ZBORNIK RADOVA
PROCEEDINGS

Editori
Dragan Urošević
Milan Dražić
Zorica Stanimirović

SYM-OP-IS 2021

XLVIII SIMPOZIJUM O OPERACIONIM ISTRAŽIVANJIMA
XLVIII INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON OPERATIONAL RESEARCH



Banja Koviljača
20–23. septembar 2021.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
XLVIII International Symposium on Operational Research

SYM-OP-IS 2021

Banja Koviljača, 20-23. septembar 2021.

ZBORNIK RADOVA
PROCEEDINGS

Editori / Editors:
Prof. dr Dragan Urošević
Prof. dr Milan Dražić
Prof. dr Zorica Stanimirović

Izdavač / Publisher:
Matematički fakultet Univerziteta u Beogradu
Studentski trg 16, Beograd, Srbija
University of Belgrade, Faculty of Mathematics
Studentski trg 16, Belgrade, Serbia

U ime izdavača / In behalf of publisher:
Prof. dr Zoran Rakić

Editori / Editors:
Prof. dr Dragan Urošević
Prof. dr Milan Dražić
Prof. dr Zorica Stanimirović

Tehnička obrada / Techical processing:
Filip Vidojević
Denis Aličić
Luka Matijević

Štampa / Printed by:
Donat graf d.o.o.

Tiraž / No. of copies:
70

Godina izdavanja / Publishing year:
2021

ISBN:

Štampanje zbornika je podržano od strane / Publishing of the Proceedings is supported by:
Ministarstvo prosvete, nauke i tehološkog razvoja Republike Srbije
Ministry of Education, Science and Technological Development
of the Government of the Republic of Serbia

IZVRŠNI ORGANIZATORI / EXECUTIVE ORGANIZERS

Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd
Matematički institut Srpske Akademije Nauka i Umetnosti, Beograd

SUORGANIZATORI / CO-CORGINIZERS

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Ministarstvo odbrane Republike Srbije

Vojska Republike Srbije

Ekonomski Fakultet, Beograd

Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd

Ekonomski institut, Beograd

Društvo operacionih istraživača Srbije

Fakultet organizacionih nauka, Beograd

Saobraćajni fakultet, Beograd

Institut Mihajlo Pupin, Beograd

Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Univerzitet u Banjoj Luci

SIMPOZIJUM PODRŽAVAJU / SYMPOSIUM SUPPORTED BY

Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije

Jugoslovensko udruženje za primenjenu i industrijsku matematiku

Akademija inženjerskih nauka Srbije

Društvo matematičara Srbije

DONATORI / DONATORS

Telekom Srbija

SVEA

PROGRAMSKI ODBOR / PROGRAMME COMMITTEE

Milan Dražić, *kopredsednik /co-chair,* MF, Beograd
Dragan Urošević, *kopredsednik /co-chair,* MI SANU, Beograd
Vule Aleksić, VGGŠ, Beograd
Mirjana Čangalović, FON, Beograd
Goran Ćirović, FTN, Novi Sad
Janko Cvijanović, EI, Beograd
Tatjana Davidović, MI SANU, Beograd
Branka Dimitrijević, SF, Beograd
Rade Doroslovački, FTN, Novi Sad
Boban Đorović, Univerzitet odbrane, Beograd
Đorđe Dugošija, Univerzitet u Novom Pazaru
Ljubomir Gigović, MO RS
Irena Janković, EF, Beograd
Jelena Kočović, EF, Beograd
Vera Kovačević-Vujčić, FON, Beograd
Jozef Kratica, MI SANU, Beograd
Đuro Kutlača, Institut Mihajlo Pupin, Beograd
Marija Kuzmanović, FON, Beograd
Duško Letić, FTN, Zrenjanin
Dragana Makajić-Nikolić, FON, Beograd
Milan Martić, FON, Beograd
Igor Miljanović, RGF, Beograd
Snežana Mitrović, VGGŠ, Beograd
Nenad Mladenović, MI SANU, Beograd
Zorica Mladenović, EF, Beograd
Feđa Netjasov, SF, Beograd
Dragan Nikolić, VGGŠ, Beograd
Dalibor Petrović, MO RS
Nataša Petrović, FON, Kragujevac
Slavica Petrović, EF, Kragujevac
Željko Praštalo, RGF, Beograd
Ljubiša Preradović, AGGF, Univerzitet u Banjoj Luci
Dragan Radojević, Institut Mihajlo Pupin, Beograd
Aleksandar Savić, MF, Beograd
Gordana Savić, FON, Beograd
Milica Šelmić, SF, Beograd
Stanko Stanić, EF, Banja Luka
Zorica Stanimirović, MF, Beograd
Milan Stanojević, FON, Beograd
Milorad Stanojević, SF, Beograd
Dušan Starčević, FON, Beograd
Dejan Stojković, MO RS
Milija Suknović, FON, Beograd
Milorad Vidović, SF, Beograd
Mirko Vujošević, FON, Beograd
Katarina Vukadinović, SF, Beograd
Daniel Aloise, Natal University, Brasil
Abdelhakim Artiba, University of Valencia, France
Emilio Carrizosa, University of Sevilla, Spain
Abraham Duarte, Universidad Rey Juan Carlos, Spain
Anton Eremeev, Omsk State University, Russia
Laureano Escudero, Universidad Miguel Hernández, Spain
Saïd Hanafi, University of Valenciennes, France
Miroslav Hudec, University of Economics, Bratislava, Slovakia
Yuri Kochetov, Novosibirsk, Russia
Martine Labbé, Free university of Brussels, Belgium
Belén Melián Batista, University La Laguna, Spain
Athanasios Migdalas, Aristotle University of Thessaloniki, Greece
José A. Moreno-Perez, University of La Laguna, Spain
Markos Papageorgiou, Technical University of Crete, Greece
Guinter Raidl, Vienna University of Technology, Austria
Said Salhi, University of Kent, United Kingdom
Marc Sevaux, University of Southern Brittany, France
Angelo Sifaleras, University of Macedonia, Greece
Kenneth Sörensen, University of Antwerp, Belgium

POČASNI PROGRAMSKI ODBOR / HONORARY PROGRAMME COMMITTEE

Marko Andrejić, VA, Beograd
Marko Backović, EF, Beograd
Vladan Batanović, IMP, Beograd
Siniša Borović, FMMSP, Beograd
Obrad Čabarkapa, MO RS
Dragoš Cvetković, SANU, Beograd
Branislav Đorđević, GF, Beograd
Slobodan Guberinić, IMP, Beograd
Aleksandar Ilić, MO RS
Mitar Kovač, MO RS
Slobodan Krčevinac, FON, Beograd
Katalin Mesaroš, Ekonomski Fakultet, Subotica
Miodrag Mihaljević, MI SANU, Beograd
Gradimir Milovanović, SANU, Niš
Spasoje Mučibabić, MO RS
Ilija Nikolić, FGM, Beograd
Zoran Ognjanović, MI SANU, Beograd
Serafim Opricović, GF, Beograd
Endre Pap, Univerzitet Singidunum, Beograd
Radivoj Petrović, IMP, AINS, Beograd
Milan Rakić, IMP, Beograd
Slobodan Vujić, RI, Beograd
Svetozar Vukadinović, SF, Beograd
Jovo Vuleta, EF, Beograd
Tomislav Zečević, EF, Beograd

ORGANIZACIONI ODBOR / ORGANIZING COMMITTEE

Zorica Stanimirović, *predsednik/chair*
MF, Beograd
Denis Aličić, MF, Beograd
Aleksandra Arsić, MI SANU, Beograd
Zorica Dražić, MF, Beograd
Dušan Džamić, FON, Beograd
Tatjana Jakšić-Kruger, MI SANU, Beograd
Kristina Kostić, MF, Beograd
Miroslav Marić, MF, Beograd
Luka Matijević, MI SANU, Beograd
Aleksandar Savić, MF, Beograd
Biljana Stojanović, MI SANU, Beograd
Jelena Tasić, MF, Beograd
Filip Vidojević, MF, Beograd

NOSIOCI POVELJE ZA ZASLUGE U RAZVOJU OPERACIONIH ISTRAŽIVANJA / ACKNOWLEDGEMENT FOR MERITS IN DEVELOPMENT OF OPERATIONAL RESEARCH

Božidar Kraut (1983)
Alojzij Vadnal (1983)
Dragoslav Marković (1983)
Branislav Ivanović (1984)
Ljubomir Martić (1984)
Radivoj Petrović (1984)
Jovan Petrić (1988)
Sanjo Zlobec (1990)
Radoslav Stanojević (1991)
Svetozar Vukadinović (1993)
Slobodan Krčevinac (1993)
Slobodan Guberinić (1993)
Jovo Vuleta (1993)
Vera Kovačević-Vujčić (1998)
Dušan Teodorović (1998)
Vlastimir Matejić (2000)
Mirko Vujošević (2000)
Siniša Borović (2001)
Tomislav Zečević (2001)
Slobodan Vujić (2003)
Dragan Radojević (2006)
Mirjana Čangalović (2010)
Nenad Mladenović (2010)
Spasoje Mučibabić (2010)
Milan Martić (2012)
Dragoš Cvetković (2013)
Đorđe Dugošija (2017)
Goran Ćirović (2017)
Milorad Vidović (2019)
Dragan Urošević (2021)

PREDGOVOR

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima - SYM-OP-IS 2021 se održava u periodu od 20. do 23. septembra 2021. godine u Banji Koviljači, jednoj od najlepših banja Srbije. SYM-OP-IS je skup sa dugom tradicijom, koji od 1974. svake godine okuplja istraživače, predstavnike privrede i stručnjake iz oblasti operacionih istraživanja. Ciljevi SYM-OP-IS-a su razmena naučnih i stručnih informacija, iskustava i prezentovanje novih rezultata u razvoju i primeni metoda, modela i tehnika operacionih istraživanja. Ove godine, glavni organizatori SYM-OP-IS-a su Matematički fakultet Univerziteta u Beogradu (www.matf.bg.ac.rs) i Matematički institut SANU (www.mi.sanu.ac.rs), u saradnji sa brojnim naučnoistraživačkim i drugim institucijama i udruženjima.

Program SYM-OP-IS-a 2021 se sastoji od plenarnih predavanja i brojnih sekcija kroz koje se podstiče saradnja između različitih oblasti optimizacije, nauke i industrije i omogućava sinteza teorijskog i praktičnog znanja iz operacionih istraživanja. Specijalna sekcija o VNS metodi i njenim primenama je posvećena 45-godišnjem naučnom radu profesora Nenada Mladenovića, kao i njegovom 70-tom rođendanu. Selektovani radovi prezentovani na Simpozijumu će moći da budu publikovani u proširenom obliku u specijalnim izdanjima sledećih časopisa: Yugoslav Journal of Operations Research – YUJOR, International Journal for Traffic and Transport Engineering – IJTTE, Military Technical Courier.

Editori
Dragan Urošević
Milan Dražić
Zorica Stanimirović

PREFACE

XLVIII Symposium on Operational Research - SYM-OP-IS 2021 takes place in Banja Koviljača, from 20 to 23 September 2021. SYM-OP-IS is an International Symposium that has been organized since 1974. It presents an annual gathering of OR researchers, both theoreticians and practitioners, in order to exchange scientific and technical information, convey experiences and present new results achieved in the development and application of OR methods. This year, main organizers of the Symposium are Faculty of Mathematics - University of Belgrade (www.matf.bg.ac.rs) and Mathematical Institute of the Serbian Academy of Sciences and Arts (www.mi.sanu.ac.rs), in cooperation with several other research, educational, and state institutions.

The programme of SYM-OP-IS 2021 comprises of plenary lectures and numerous sections that accommodate the exchange of ideas among academia and industry, both from Serbia and abroad. The main aim of the Symposium is the development and applications of new Operational Research methods, models and techniques. Various sections ensure a valuable mixture of theoretical and practical aspects of Operational Research. A special section on the VNS method and its applications is dedicated to Prof. Nenad Mladenović celebrating 45 years of his research work and his 70th birthday. Selected papers presented at SYM-OP-IS 2021 will have the opportunity to be published in extended form in special issues of the following journals: Yugoslav Journal of Operations Research, International Journal for Traffic, and Transport Engineering – IJTTE, and Military Technical Courier.

Editors
Dragan Urošević
Milan Dražić
Zorica Stanimirović

SPECIJALNA SEKCIJA O VNS METODI I NJENIM PRIMENAMA/

SPECIAL SECTION ON THE VNS METHOD AND ITS APPLICATIONS

Na sekciji su izloženi sledeći radovi iz programske oblasti HEURISTIKE:/
The following papers from the topic HEURISTICS are presented in this section:

Zorica Dražić RASPODELE SA TEŠKIM REPOVIMA ZA KONTINUALNI VNS (FAT-TAILED DISTRIBUTIONS FOR CONTINUOUS VNS)

Kristina Kostić, Zorica Stanimirović METAHEURISTIČKI PRISTUP REŠAVANJU VIŠEPERIODNOG PROBLEMA P-MEDIJANE OTPORNOG NA OTKAZE (METAHEURISTIC APPROACH TO SOLVING MULTI-PERIOD FAULT-TOLERANT P-MEDIAN PROBLEM)

Luka Matijević, Una Stanković, Tatjana Davidović GENERAL VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH FOR THE WEIGHTED SCHEDULING PROBLEM WITH DEADLINES AND RELEASE TIMES

Nenad Mladenović, Raca Todosijević, Dragan Urošević METODA PROMENLJIVIH OKOLINA ZA PROBLEM MAKSIMIZACIJE RAZNOLIKOSTI SA KAPACITETIMA (BASIC VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH FOR CAPACITATED DISPERSION PROBLEM)

Yury Kochetov, Ivan Davydov, Daniil Tolstykh HYBRID VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH FOR THE AUTOMATIC WAREHOUSE SCHEDULING

Tatiana Levanova VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH ALGORITHMS FOR SOME DISCRETE FACILITY LOCATION PROBLEMS

SADRŽAJ / TABLE OF CONTENTS

PLENARNA PREDAVANJA / PLENARY LECTURES 1

Natasha Shakhlevich
OPTIMIZATION UNDER UNCERTAINTY: A NEW TAKE ON AN OLD PROBLEM 3

Nikolaos Matsatsinis
INTELLIGENT MULTI-CRITERIA DECISION SUPPORT SYSTEMS AND THEIR APPLICATIONS 4

Nenad Mladenović
LESS IS MORE APPROACH IN OPTIMIZATION - POSSIBLE ROAD TO ARTIFICIAL INTELLIGENCE 5

ANALIZA PERFORMANSI / PERFORMANCE ANALYSIS 7

Aleksander Aristovnik, Dejan Ravšelj, Lan Umek, Ruimin Pei, Guoliang Yang
FOUR DECADES OF DATA ENVELOPMENT ANALYSIS RESEARCH: A REVIEW AND BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF TOP-CITED PAPERS 9

Milica Milošević. Gordana Savić, Milena Popović
MERENJE ISTRAŽIVAČKO-RAZVOJNIH PERFORMANSI DRŽAVA EVROPE KORIŠĆENJEM DEA METODE 15

EKOLOŠKI MENADŽMENT I UPRAVLJANJE PRIRODNIM RESURSIMA /ENVIRONMENTAL MANAGEMENT AND NATURAL RESOURCES MANAGEMENT 21

Saša Bakrač
PROCENA EKOLOŠKOG RIZIKA ZA PROJEKAT „JADAR“ SA POSEBNIM OSVRTOM NA RAZVOJ KONCEPTUALNOG MODELA 23

Milica Grujić, Aleksandar Đukić
UTICAJ PANDEMIJE COVID-19 NA CILJEVE ODRŽIVOG RAZVOJA 29

Marijana Miletić-Radić
UČEŠĆE JAVNOSTI U PROCESU DONOŠENJA PLANOVA UPRAVLJANJA VODAMA 35

Dragan Mirković, Marija Kuzmanović
KOLEKTIVNE AKCIJE U EKOLOŠKIM DILEMAMA: REZULTATI EKSPERIMENTA 41

Jelena Andreja Radaković, Borko Drašković, Dragana Makajić-Nikolić, Nataša Petrović
ULOGA NACIONALNIH PLATFORMI ZA SMANJENJE RIZIKA OD KATASTROFA U JAČANJU OTPORNOSTI NA POPLAVE I DEGRADACIJU ŽIVOTNE SREDINE 47

Kristina Stanojević, Dragana Makajić-Nikolić
PREGLED OPTIMIZACIONIH PROBLEMA U UPRAVLJANJU MEDICINSKIM OTPADOM 53

Ljiljana Stošić Mihajlović
UPRAVLJANJE ZAŠTITOM ŽIVOTNE SREDINE I ODRŽIVI RAZVOJ – OPŠTI PRISTUP 59

Burcu Yılmaz Kaya, Yeşim Ok
A MATHEMATICAL APPROACH PROPOSAL TO ANALYZE SUSTAINABLE DEVELOPMENT PERFORMANCE 65

Dmitry Gromov, Thorsten Upmann
THE STRUCTURE OF OPTIMAL SOLUTIONS FOR HARVESTING A RENEWABLE RESOURCE 71

Ekaterina Gromova, Anna Tur, Shimai Su
ON THE VALUE OF INFORMATION IN THE DIFFERENTIAL GAME OF POLLUTION CONTROL 72

EKONOMSKI MODELI I EKONOMETRIJA / ECONOMIC MODELS AND ECONOMETRICS 73

Vesna Jablanović
THE CHAOTIC AGRICULTURAL PRICE GROWTH MODEL 75

Zorica Mladenović
INFLATION CONVERGENCE IN CENTRAL AND EASTERN EUROPE TOWARD THE EU: ASYMMETRIC ADJUSTMENT MODELING 79

Jelena Stanojević
FUZZY REPREZENTACIJA I OČEKIVANA VREDNOST SLUČAJNE VELIČINE: PRIMER BINOMNE SLUČAJNE VELIČINE 85

FINANSIJE I BANKARSTVO / FINANCE AND BANKING 91

Рајко Буквић
НОВИ ПРИСТУПИ ОЦЕЊИВАЊУ СТЕПЕНА КОНЦЕНТРАЦИЈЕ И КОНКУРЕНЦИЈЕ: ПРИМЕР СЕКТОРА ОСИГУРАЊА У СРБИЈИ 93

Irena Janković
VALUTNA NEUSAGLAŠENOST U COVID-19 OKOLNOSTIMA 99

Srdjan Jelinek, Dragana Makajić-Nikolić, Pavle Milošević
SOVEREIGN CREDIT RATING TRANSITION MATRIX ESTIMATION USING DIFFERENTIAL EVOLUTION 105

Ivana Jeremić
VALUTNI SVOP IZMEĐU POSLOVNIH BANAKA I NARODNE BANKE SRBIJE 111

Željko Jović
SYSTEMIC RISKS AND STATIC INDICATORS OF BANK ASSETS QUALITY: HOW COINTEGRATION CAN BE LOST 117

Jelena Kočović, Marija Koprivica
OCENA REPNOG FAKTORA RAZVOJA ŠTETA EKSTRAPOLACIJOM TEORIJSKOG OBLIKA KRIVE 123

Nina Milenković
DISKONT ZA NEUTRŽIVOST AKCIJA: PRIMENA U SRBIJI 129

Saša Ranđelović
DRIVERS OF RISE IN PUBLIC DEBT DURING COVID-19 PANDEMIC: A DECOMPOSITION APPROACH 135

GEOINFORMACIONI SISTEMI / GEOINFORMATION SYSTEMS 141

Radoje Banković, Dragoljub Sekulović, Miloš Basarić
VAŽNOST KARATA KOD RIZIKA I UGROŽENOSTI OD POPLAVA U NADGLEDANJU PLAVNIH PODRUČJA SRBIJE 143

Stanislava Bosiočić, Zoran Srdić, Nebojša Bosiočić
АНАЛИЗА ДМТ КРЕИРАНОГ ГЛОБАЛНИМ ИНТЕРПОЛАЦИОНИМ ПОЛИНОМОМ ВИШЕГ РЕДА У ГИС АЛАТИМА 149

Ljubomir Gigović, Darko Lukić, Nenad Galjak
PRIMENA GIS - MCDA MODELA ZA IZBOR LOKACIJA KAMERA ZA NADZOR ŠUMSKOG POŽARA 155

Petar Ivetic
ФОТОГРАМЕТРИЈСКО СНИМАЊЕ ПЕЋИНЕ 161

Darko Lukić, Ljubomir Gigović, Nenad Galjak, Ivan Stojadinović
PRIMENA GIS VOJSKE SRBIJE U IZRADI KOMBINOVANE KARTE POKRIVENOSTI I ZAŠTITNOG POTENCIJALA ZONE OPERACIJE 167

Marko Stojanović, Siniša Drobnjak, Jasmina Jovanović, Dejan Đorđević, Radoje Banković
KARTOGRAFSKA GENERALIZACIJA ZA POTREBE IZRADE ZIDNE KARTE RAZMERE 1:250.000 171

Miroslav Vujasinović, Miodrag Regodić, Milorad Čičić
PRAĆENJE VREMENSKIH POJAVA NA OSNOVU SATELITSKIH SNIMANJA 177

Miroslav Vujasinović, Miodrag Regodić, Milena Milotić, Nenad Galjak
SATELITSKO SNIMANJE ZA POTREBE URBANIZMA 183

GRAFOVI I MREŽE / GRAPHS AND NETWORKS 189

Bojana Mihailović
ON SOME FAMILIES OF GRAPHS WITH SMALL SECOND LARGEST EIGENVALUE 191

HEURISTIKE / HEURISTICS 193

Zorica Dražić
RASPODELE SA TEŠKIM REPOVIMA ZA KONTINUALNI VNS 195

Kristina Kostić, Zorica Stanimirović
METAHEURISTIČKI PRISTUP REŠAVANJU VIŠEPERIODNOG PROBLEMA P-MEDIJANE OTPORNOG NA OTKAZE 201

Luka Matijević, Una Stanković, Tatjana Davidović
GENERAL VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH FOR THE WEIGHTED SCHEDULING PROBLEM WITH DEADLINES AND RELEASE TIMES 207

Nenad Mladenović, Raca Todosijević, Dragan Urošević
METODA PROMENLJIVIH OKOLINA ZA PROBLEM MAKSIMIZACIJE RAZNOLIKOSTI SA KAPACITETIMA 213

Lazar Mrkela, Zorica Stanimirović
DVOKRITERIJUMSKI DINAMIČKI PROBLEM MAKSIMALNOG POKRIVANJA LOKACIJA 219

Maja Ristić, Zorica Dražić
REŠAVANJE PROBLEMA RASPOREĐIVANJA POSLOVA NA JEDNOJ MAŠINI SA PERIODIČNIM RESURSNIM OGRANIČENJIMA 225

Zorica Stanimirović, Olivera Stančić
HIBRIDNA METAHEURISTIKA ZA REŠAVANJE PROBLEMA p-HAB MAKSIMALNOG POKRIVANJA NEOGRANIČENIH KAPACITETA SA r-ALOKACIJSKOM ŠEMOM 231

Yury Kochetov, Ivan Davydov, Daniil Tolstykh
HYBRID VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH FOR THE AUTOMATIC WAREHOUSE SCHEDULING 237

Tatiana Levanova
VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH ALGORITHMS FOR SOME DISCRETE FACILITY LOCATION PROBLEMS 238

Filip Vidojević, Denis Aličić, Miroslav Marić, Dušan Džamić
OCENE KVALITETA ZA FAZI KLASTEROVANJE NA KOMPLEKSNIM MREŽAMA 239

INFORMACIONI SISTEMI I TEHNOLOGIJE / INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES 241

Danijel Horvat, Rajko Ivanišević
UNAPREĐENJE POSLOVNIH PROCESA POMOĆU ROBOTSKE AUTOMATIZACIJE PROCESA 243

Tijana Milošević, Saša Lazarević, Tatjana Stojanović
TESTIRANJE PREZENTACIONOG SLOJA .NET VEB APLIKACIJA 249

Nikola Popović, Goran Bjelobaba, Hana Stefanović
PRIMENA ZAŠTITNOG KODOVANJA I KODOVA ZA KONTROLU GREŠAKA U SISTEMU ZA VREDNOVANJE ZNANJA 255

Nemanja Radulović, Saša D. Lazarević, Tatjana Stojanović
NAJBOLJE PRAKSE U PISANJU UNIT TESTOVA ZA .NET OKVIRU 261

Dušan Ramljak, Tatjana Davidovic, Dragan Urošević, Tatjana Jakšić Kruger, Luka Matijević, Milan Todorović, Đorđe Jovanović
COMBINATORIAL OPTIMIZATION FOR SELF CONTAINED BLOCKCHAIN: AN EXAMPLE OF USEFUL SYNERGY 267

Katarina Simić, Aleksa Pavlović, Tatjana D. Stojanović, Saša D. Lazarević
PREGLED OKVIRA ZA TESTIRANJE ANGULAR APLIKACIJA 273

Srđan Tripković, Dejan Simić
PRIMENA ISO 8583 PROTOKOLA U APLIKACIJAMA ZA ELEKTRONSKO PLAĆANJE 279

Predrag Veličković, Miloš Milovanović
MODEL INTERAKCIJE ČOVEKA I RAČUNARA KAO OSNOVA ZA UMANJENJE NEGATIVNIH EFEKATA APLIKACIJA SA VIRTUELNOM REALNOŠĆU 285

ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ / RESEARCH AND DEVELOPMENT 291

Teodora Ivanović
PROMENE U POSLOVNOM MODELU I NAČINU ZADOVOLJENJA NOVIH POTREBA KUPACA UZROKOVANE NOVOM DIGITALNOM EROM 293

Dijana Štrbac, Lazar Živković, Djuro Kutlača
MERE POLITIKE ISTRAŽIVANJA I INOVACIJA EVROPSKE UNIJE TOKOM COVID-19 PANDEMIJE 299

Nikola Vasilić, Đuro Kutlača
POVEZANOST INVESTICIJA U ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ I REZULTATA ISTRAŽIVAČKORAZVOJNOG PROCESA U REPUBLICI SRBIJI – ANALIZA VREMENSKIH SERIJA 305

Lazar Živković, Dijana Štrbac, Djuro Kutlača
MODEL OTVORENIH INOVACIJA U KOMPANIJAMA U REPUBLICI SRBIJI 311

Jovanka Vukmirović, Aleksandra Vukmirović, Sofija Vukmirović
ISTRAŽIVANJE JAVNOG MNJENJA U FUNKCIJI SAGLEDAVANJA UTICAJA RAZLIČITIH DRUŠTVENO-EKONOMSKIH FAKTORA NA PONAŠANJE U PANDEMIJI 317

KOMBINATORNA OPTIMIZACIJA / COMBINATORIAL OPTIMIZATION 319

Dragoš Cvetković, Zorica Dražić, Vera Kovačević-Vujčić
SOME REMARKS ON THE EFFICIENCY OF COMPLEXITY INDICES FOR THE TRAVELING SALESMAN PROBLEM 321

Una Stanković, Luka Matijević, Tatjana Davidović
MATHEMATICAL MODELS FOR THE WEIGHTED SCHEDULING PROBLEM WITH DEADLINES AND RELEASE TIMES 327

Hamidi Imane, Chaabane Djamal
BRANCH AND BOUND ALGORITHM FOR BI-OBJECTIVE SET COVERING PROBLEM 333

LOGISTIKA I LANCI SNABDEVANJA / LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT 335

Nenad Bjelić, Milorad Vidović, Branislava Ratković
VREMENSKO RASPOREĐIVANJE VOZILA NA CROSS DOCK TERMINALIMA ZA PRETOVAR LAKO KVARLJIVE ROBE: LINERANA FORMULACIJA 337

Nemanja Jevtić, Biljana Panić
UNAPREĐENJE FUNKCIONISANJA LANCA SNABDEVANJA U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI PRIMENOM KOOPETITIVNIH IGARA 343

Jelena Končar, Sonja Vučenović, Radenko Marić, Goran Vukmirović
ODREĐIVANJE OPTIMALNE MULTIKANALNE STRATEGIJE U USLOVIMA PANDEMIJE COVID-19 349

Milica Mitrović, Gordana Radivojević, Dražen Popović
FAZI MODEL ZA IZBOR SNABDEVAČA 355

Vukašin Pajić, Milan Andrejić, Milorad Kilibarda
EVALUATION AND SELECTION OF FREIGHT FORWARDING COMPANY USING SWARA-COCOSO APPROACH 361

Gordana Radivojević, Milica Mitrović, Dražen Popović
IZBOR SNABDEVAČA PRIMENOM METODA AHP I FAHP 367

Branislava Ratković, Branka Dimitrijević, Lazar Marković
LOCIRANJE OBJEKATA ZA TRETMAN INFEKTIVNOG MEDICINSKOG OTPADA 373

Snežana Tadić, Mladen Krstić, Miloš Veljović
DETERMINING DELIVERY DURATION IN URBAN AREAS USING FUZZY SYSTEM 379

Milorad Vidović, Slađana Jovanović
MULTI LEVEL FACILITY LOCATION MODEL AND SUCCESSIVE SET COVERING AND P-MEDIAN HEURISTICS APPLICATION TO ESTABLISH RECYCLING NETWORK 385

MATEMATIČKO PROGRAMIRANJE / MATHEMATICAL PROGRAMMING 391

Aleksandar Jović
SUFFICIENCY CRITERIA IN CONTINUOUS-TIME PROGRAMMING PROBLEMS OF VECTOR OPTIMIZATION 393

Badri Toppur
SOLVING A REAL WORLD NON-CONVEX QUADRATIC ASSIGNMENT PROBLEM 399

MEKO RAČUNARSTVO / SOFT COMPUTING 405

Denis Aličić, Filip Vidojević, Dušan Džamić, Miroslav Marić
GENERIČKI ALGORITAM KLASTEROVANJA ZASNOVAN NA OPTIMIZACIJI ROJEM ČESTICA 407

Pavle Miloševic, Arso M. Vukićević, Miloš Milovanović
PRIMENA TEHNIKA RAČUNARSKE INTELIGENCIJE ZA BEZBEDNOST NA RADNOM MESTU – PREGLED LITERATURE 413

Dragan Pamučar, Goran Ćirović, Nataša Popović-Miletić
PRIMENA HIBRIDNIH NEUTROSOFNIH RASPLINUTIH BROJEVA ZA MODELIRANJE NEIZVESNOSTI U ODLUČIVANJU 419

Aleksandra Vučićević, Pavle Milošević, Ana Poledica
PRIMENA ALGORITMA FAZI C-SREDNJIH VREDNOSTI PRI SELEKCIJI ČLANOVA STUDENTSKE ORGANIZACIJE CASE STUDY CLUB 425

MENADŽMENT / MANAGEMENT 431

Aleksa Dokić, Mladen Stamenković, Dragan Stojković
MALOPRODAJA I OPERACIONA ISTRAŽIVANJA: ISTRAŽIVAČKE PERSPEKTIVE 433

Dušan Marković
MEĐUNARODNE AKVIZICIJE I KONKURETNOST KINESKIH MULTINACIONALNIH KOMPANIJA 439

Milena Popović, Bisera Andric Gušavac, Minja Marinovic, Dragan Pamučar
ODREĐIVANJE VAŽNOSTI KRITERIJUMA PRI IZBORU FAKULTETA PRIMENOM MACBETH METODE 445

Stefan Zdravković, Jelena Peković
UTICAJ POTROŠAČKOG KOSMOPOLITIZMA I KSENOCENTRIZMA NA PRIHVATANJE STRANIH BRENDOVA- MODERATORSKI EFEKAT IMIDŽA ZEMLJE POREKLA 451

Milena Senjak, Igor Peško, Vladimir Mučenski, Mirjana Terzić
CIRCULAR ECONOMY IN CONSTRUCTION 457

NAUKA O PODACIMA / DATA SCIENCE 463

Danijel Aleksić
IMPUTACIJA NEDOSTAJUĆIH PODATAKA U JEDNODIMENZIONIM VREMENSKIM SERIJAMA 465

Miroslav Andjelković, Slobodan Maletić
SIGNATURES OF BUILT-IN MESOSTRUCTURE CONNECTIVITY IN A COMPLEX TRANSPORTATION NETWORK 471

Sara Gračić
DISEASE PREVENTION AND/OR IMPROVEMENT OF PATIENTS' OUTCOMES THROUGH

HIGHER ACCURACY OF PREDICITVE MODELS IN DIFFERENT AREAS OF MEDICINE IN THE ERA OF (MOBILE) MEDICAL DEVICES AND APPS - A LITERATURE REVIEW 477

Yeşim Ok, Burcu Yılmaz Kaya
CLUSTERING ANALYSIS OF TURKEY AND EU COUNTRIES ON THE AXIS OF GREEN GROWTH HEADLINE INDICATORS 483

POSLOVNA ANALITIKA / BUSINESS ANALYTICS 489

Milan Radojičić, Ivana Milićev
ANALIZA STAVOVA STUDENATA PREMA ONLINE NASTAVI 491

PRIMENE OI U GRAĐEVINARSTVU / OR APPLICATIONS IN CIVIL ENGINEERING 493

Ljubo Marković, Ljiljana Milić Marković
PRIMENA BIM TEHNOLOGIJA U PROCESU PLANIRANJA I PROJEKTOVANJA OBJEKATA 495

Ljubiša Preradović, Snježana Maksimović, Sandra Kosić-Jeremić
PREDIKTORI AKADEMSKOG USPJEHA STUDENATA GRAĐEVINARSTVA 501

Dragana Veselinović, Igor Peško, Vladimir Mučenski
APPLICATION OF ROBOTICS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE IMPLEMENTATION OF CONSTRUCTION PROJECTS 507

PRIMENE OI U ODBRANI / OR APPLICATIONS IN MILITARY DEFENCE 513

Zoran Bajić, Dušan Jevremović, Jovica Bogdanov, Zlate Veličković
PROCENA RIZIKA RADNIH MESTA TOKOM PROCESA DELABORACIJE UBOJNIH SREDSTAVA 515

Jovica Bogdanov, Anas Chabane, Dragan Pamučar, Zoran Bajić
ANALIZA SISTEMA AKTIVNE ZAŠTITE BORBENIH VOZILA 521

Srdjan Dimić, Milan Kankaraš, Srdjan Ljubojević
UNAPREĐENJE BEZBEDNOSTI KOMERCIJALNIH VOZILA U SAOBRAĆAJU 527

Radomir Janković
KONCEPT PARALAKSE NESAVRŠENOG KOMANDNO-INFORMACIONOG SISTEMA ZA SIMULATORE VOJNIH SISTEMA ROJENJA 533

Nebojša Nikolić
STRUCTURING QUEUEING MODEL FOR MOBILIZATION OF VEHICLES FOR WARTIME MILITARY UNITS 539

Dalibor Petrović, Vladimir Stanković, Momir Drakulić
ODREĐIVANJE BORBENIH MOGUĆNOSTI I EFIKASNOSTI HIBRIDNOG PVO SISTEMA U ODBRANI OD NAPADA DRONOVA KAMIKAZA 545

RUDARSTVO, GEOLOGIJA I ENERGETIKA / MINING, GEOLOGY AND ENERGETICS 551

Dejan Bogdanović, Ivan Jovanović
OPTIMIZACIJA FUNKCIONISANJA RUDARSKIH KOMPANIJA TOKOM COVID-19 PANDEMIJE 553

Vladan Čanović, Violeta Čolaković, Željko Praštalo, Rade Šarac
ANALIZA HIDROGEOLOŠKOG UTICAJA EKSPLOATACIJE OPEKARSKIH SIROVINA U LEŽIŠTU "SREDNJA STRANA" NA SPECIJALNI REZERVAT PRIRODE "SLANO KOPOVO" KOD NOVOG BEČEJA 559

Branka Jovanović, Dragan Milošević, Željko Praštalo, Rade Šarac
KLIZIŠTA NA UNUTRAŠNJIM ODLAGALIŠTIMA POVRŠINSKIH KOPOVA LIGNITA 565

SAOBRAĆAJ, TRANSPORT I KOMUNIKACIJE / TRAFFIC, TRANSPORTATION AND COMMUNICATION 571

Predrag Grozdanović, Miloš Nikolić, Katarina Vukadinović
REŠAVANJE PROBLEMA RUTIRANJA VOZILA SA VREMENSKIM INTERVALIMA I OPTIMIZACIJOM POTROŠNJE GORIVA PRIMENOM HEURISTIČKIH ALGORITAMA 573

Sreten Jevremović, Ana Trpković, Milica Šelmić
IZBOR OPTIMALNOG PUTA NA BICIKLISTIČKOJ MREŽI PRIMENOM MODIFIKOVANOG DIJKSTRINOG ALGORITMA 579

Ivana Jovanović, Milica Šelmić, Miloš Nikolić
PREGLED PRIMENA METAHEURISTIKE OPTIMIZACIJA KOLONIJOM PČELA NA PROBLEME U SAOBRAĆAJU I TRANSPORTU 585

Katarina Kukić, Slavica Dožić, Danica Babić, Milica Kalić
DELPHI SURVEY: THE FUTURE OF AIR TRANSPORT IN SERBIA 591

Branka Mikavica, Aleksandra Kostić-Ljubisavljević
DOUBLE AUCTION-BASED MECHANISM FOR SECURITY-AWARE CLOUD RESOURCE PRICING AND ALLOCATION 597

Jovana Sekulić, Fedja Netjasov
MODELIRANJE UZROKA IZLETANJA SA POLETNO-SLETNIH STAZA PRIMENOM ANALIZE STABLA OTKAZA 603

Marko Stokić, Branka Dimitrijević, Miloš Nikolić
ODREĐIVANJE LOKACIJA SUPER-PUNJAČA ZA SNABDEVANJE SISTEMA ELEKTRO AUTOBUSA 609

Doroteja Timotić, Milica Kalić
COMPLEX NETWORK THEORY AND ITS APPLICATIONS IN AIR TRANSPORT 615

Doroteja Timotić, Katarina Halaj, Mira Paskota, Fedja Netjasov
ANALIZA UTICAJNIH FAKTORA NEBEZBEDNIH DOGAĐAJA NA AERODROMIMA PRIMENOM METODA MULTIVARIJACIONE STATISTIČKE ANALIZE 621

Sara Zoraja, Fedja Netjasov
KONCEPT OPERACIJA BESPILOTNIH VAZDUHOPLOVA U URBANIM PODRUČJIMA: RAZVOJ I TESTIRANJE 627

SIMULACIJA I STOHASTIČKI MODELI / SIMULATION AND STOCHASTIC MODELS 633

Jelena Belić, Bojana Mirković, Marko Djogatović, Tatjana Krstić Simić
SIMULACIONI MODEL ZA PRORAČUN EMISIJE ŠTETNIH GASOVA NA AERODROMU BEOGRAD 635

Jerzy Michnik
ALGEBRAIC MODELING OF SOCIAL SYSTEMS EVOLUTION – ALMODES 641

Goran Pavlović, Bojana Mirković, Marko Djogatović
SIMULATION MODELLING OF AIRSIDE OPERATIONS AT NIS AIRPORT AND VALIDATION BY MODELS COMPARISON 647

Jelena Jocković, Bojana Todić
STOCHASTIC MODELS FOR A SIMPLE LOTTERY GAME 653

Žikica Lukić, Bojana Milošević, Marko Obradović
O RASPODELI VEROVANJA PARAMETARA POUZDANOSTI DVOKOMPONENTNOG SISTEMA SA NEZAVISNIM EKSPONENCIJALNIM RASPODELAMA 654

STATISTIČKI MODELI / STATISTICAL MODELS 655

Isidora Albijanić, Strahinja Radaković, Milica Maričić, Veljko Jeremić
ISTRAŽIVANJE FAKTORA KOJI UTIČU NA POTENCIJALNE MIGRACIJE STUDENATA 657

Dana Bucalo Jelić
VIŠESTRUKA ANALIZA KORESPODENCIJE: VIZUELIZACIJA POVEZANOSTI KATEGORIJSKIH PROMENLJIVIH IZ UPITNIKA 663

VIŠEKRITERIJUMSKA ANALIZA I OPTIMIZACIJA / MULTICRITERIA ANALYSIS AND OPTIMIZATION 669

Miruna-Mihaela Beldiman, Andrei-Dan Halanay, Andreea-Madalina Stancu-Rusu
A NEW CLASS OF WEIGHTED EQUILIBRIUM PROBLEMS 671

Ana Kovačević, Milan Vukićević, Sandro Radovanović, Milija Suknović, Boris Delibašić
FER I TAČNA LOGISTIČKA REGRESIJA SA VIŠEKRITERIJUMSKOM METAHEURISTIČKOM OPTIMIZACIJOM 677

Magdalena Minić
MOGUĆNOSTI PRIMENE METODE ANALITIČKOG HIJERARHIJSKOG PROCESA U POSTUPKU JAVNIH NABAVKI 683

Milan Stanojević, Bogdana Stanojević
AN ALGORITHM BASED ON BRANCH AND BOUND METHOD FOR FINDING ALL NON-DOMINATED POINTS OF MOCO PROBLEM 689

Mališa Žižović, Dragan Pamučar, Miomir Stanković, Dragan Đurčić, Miodrag Žižović
KONCEPT ZA ODREĐIVANJE TEŽINSKIH KOEFICIJENATA KRITERIJUMA BAZIRAN NA METODI ENTROPIJE 695

Plenarna predavanja

Plenary lectures

OPTIMIZATION UNDER UNCERTAINTY: A NEW TAKE ON AN OLD PROBLEM

NATASHA SHAKHLEVICH

School of Computing, University of Leeds, UK, N.Shakhlevich@leeds.ac.uk.

Abstract: *The talk will focus on the efficient methodology for finding solutions to combinatorial optimization problems which are immune to variability in input data, but do not rely on probabilistic characteristics of problem parameters needed for Stochastic Programming, overly pessimistic worst-case scenarios typical for Robust Optimization, or optimality requirements of Stability Analysis. Our goal is to develop fast algorithms for finding most resilient solutions among acceptable ones, which are not necessarily optimal, but keep quality guarantees for the widest range of problem parameters. We present the key steps of the approach and illustrate it on popular examples of 0/1 combinatorial optimization problems and on scheduling problems.*

INTELLIGENT MULTI-CRITERIA DECISION SUPPORT SYSTEMS AND THEIR APPLICATIONS

NIKOLAOS MATSATSINIS

School of Production Engineering and Management of the Technical University of Crete, Greece,
nikos@ergasya.tuc.gr.

Abstract: *Multiple Criteria Decision Analysis/Making (MCDA/MCDM) is constantly increasing its presence in various scientific fields but also in new fields of its application. This expansion became possible mainly due to the integration and implementation of its methodologies in the Decision Support Systems (DSS). This enabled their successful applications in many new fields resulting in their further expansion as Multi-Criteria Decision Support Systems (MCDSS). Their combination with Artificial Intelligence in general and especially in recent years with the field of Machine Learning and Data Mining has led to the development of Intelligent Multi-Criteria Decision Support Systems (IMCDSS) with enormous application in analytics. At the same time, MCDA was used to solve various problems and to develop new methodologies in the field of Machine Learning. The aim of this presentation is to focus on the basic theoretical issues of the Multi-Criteria DSS that utilize Artificial Intelligence or are utilized by it and on the other hand to present a number of their applications in decision making in various fields such as marketing, health, etc.*

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

LESS IS MORE APPROACH IN OPTIMIZATION - POSSIBLE ROAD TO ARTIFICIAL INTELLIGENCE

NENAD MLADENOVIĆ

Department of Industrial and Systems Engineering, at Khalifa University, Abu Dhabi, UAE,
nenad.mladenovic@ku.ac.ae.

Abstract: *In this talk, we study a recently proposed philosophy for heuristic design known as the Less is more approach (LIMA). To date, more than a dozen papers in the optimization literature have applied this philosophy with surprising success. They show that the popular trend to implement more and more complex algorithms can be counter-productive, and actually produce inferior results. LIMA algorithms with fewer ingredients may not only find better solutions, but tend also to be more user friendly and easier to understand. We will present general LIMA algorithm and show how it can be possibly used as as bridge between Optimization on one side and Artificial Intelligence and Machine Learning, on another.*

Analiza performansi

Performance Analysis

XLVIII Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23. September 2021.

FOUR DECADES OF DATA ENVELOPMENT ANALYSIS RESEARCH: A REVIEW AND BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF TOP-CITED PAPERS

ALEKSANDER ARISTOVNIK[1], DEJAN RAVŠELJ[1], LAN UMEK[1], RUIMIN PEI[2], GUOLIANG YANG[2]

[1] Faculty of Public Administration, University of Ljubljana, Slovenia, aleksander.aristovnik@fu.uni-lj.si, dejan.ravselj@fu.uni-lj.si, lan.umek@fu.uni-lj.si
[2] Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, peiruimin@casisd.cn, glyang@casipm.ac.cn

Abstract: *Data Envelopment Analysis (DEA) was developed and introduced in 1978 as a non-parametric method for measuring efficiency and productivity of multiple decision-making units. Recently, DEA has been widely recognized as a modern and powerful quantitative tool for measuring performance, which has increased its popularity in various research fields. Accordingly, the main aim of this paper is to provide an extensive bibliometric analysis of the evolution of DEA research. The general results reveal the apparent growth of DEA research in the last 40 years. Further examination of top-cited DEA papers show that the United States and China are the most productive countries, European journal of operational research and Management science are the most relevant journals and Cooper, WW and Charnes, A are the most productive authors in DEA research. Considering thematic trends, undesirable outputs, banking, efficiency analysis, data, energy efficiency and supplier selection are identified as motor themes in DEA research.*

Keywords: *Data Envelopment Analysis, Efficiency and Productivity, Bibliometric Analysis*

1. INTRODUCTION

Data Envelopment Analysis (DEA) was developed and introduced in 1978 by Charnes et al. [3] as a non-parametric method for measuring efficiency and productivity of multiple decision-making units. After continuous development, DEA has been widely recognized as a modern and powerful quantitative tool for measuring performance, which has increased its popularity in various research fields. This is consequently reflected in a growing number of scientific papers using DEA as a leading research method. Initially, the DEA model was introduced to measure the relative efficiency of a decision-making unit (DMU) under the constant returns to scale assumption. Then, Banker et al. [1] introduce the BCC model, which is under the variable returns to scale assumption. Nowadays, various DEA efficiency models (such as the additive model, the slacks-based measures, the two-stage DEA, and the free disposal hull model, etc.) are used in the literature and statistical inference can even improve the quality of the results.

As the fast growth of DEA literature, the dynamic of the DEA models and the expanded applications fields of DEA theory, some scholars tried to illustrate the profile and the evolution of the DEA theory, models, and its applications. For example, Gattoufi et al. [8] identify 490 journals having published at least one paper in the field. Emrouznejad and Yang [6] register more than 7,000 works and 2,500 authors using DEA between 1978 and 2006. They note that about 360 articles per year were published after 2004 and conclude that DEA reaches its maturity phase. Liu et al. [10] count 4,936 papers on DEA published between 1978 and 2010 in the ISI Web of Science database. Most recently, Lampe and Hilgers [9] survey the literature of DEA and SFA in Operations Research from 1978 to 2012 and identify seminal papers in DEA and SFA development.

Accordingly, the main aim of this paper is to provide an extensive bibliometric analysis of the evolution of DEA research. Although there already exist several papers analysing DEA bibliographic collections, several research gaps are identified, which are carefully tackled by this paper. First, this paper covers a comprehensive timespan (1978 – 2018) of relevant research papers in the field of DEA. Second, the studied DEA papers are identified from a compendium of multiple data sources (Web of Science, Scopus, and Google scholar) rather than focusing on a single one. Third, in the presented paper several approaches to bibliometric analysis are applied.

To achieve the main aim of this paper, the following research questions are addressed:

1) What are the trends of publications and citations in DEA research over recent four decades?
2) What are the most productive or relevant countries, journals, and authors in DEA research?
3) What are the thematic trends in DEA research?

The findings of this paper will be beneficial especially for academic community as they provide an unprecedented in-depth examination of the evolution of DEA research, while at the same time also serving as an important source for the identification of related research gaps. The reminder of this paper is structured as follows. The next section presents materials and methods followed by the section presenting the results. Finally, the paper ends with the conclusion.

2. MATERIALS AND METHODS

This bibliometric analysis is based on the most influential literature on DEA research. Accordingly, the identification of relevant literature was based on three bibliographic databases, namely Web of Science (WoS), Scopus and Google Scholar. The applied search query involved all DEA-related keywords, i.e., "DEA" and "data envelopment analysis". Since these sources have different citation metrics, the bibliometric data utilized in this analysis were retrieved only from WoS, which is one of the world-leading bibliographic databases of peer-reviewed literature [7]. Moreover, this database was used because its citations on average have a much higher scientific impact than citations from other competitive databases [11]. The initial search in these databases retrieved 13,264 documents published in a period from 1978 to 2018. Further, the identification of relevant literature involves narrowing down the extensive dataset of documents into 447 most influential ones as indicated by the number of identified WoS citations. This was done by identifying the papers having at least 100 citations or 10 citations by year, allowing to cover initial as well as recent important papers in DEA research. This bibliometric analysis adopted several bibliometric approaches. First, the descriptive overview entails indicators on the publication frequency trends within the whole set of papers (N = 13,264) and the subset of most relevant highly cited papers (N = 447). The latter further enables identification of the most productive or relevant countries, journals, and authors. Finally, thematic trends analysis is examined with the Biblioshiny application [12] utilized for construction and visualization of strategic diagram.

3. RESULTS

3.1. Descriptive overview of DEA research

Figure 1 presents the overview of DEA research publications during the observed period. The overview in time reveals that there was exponential growth in the number of DEA-related papers since the seminal work of Charnes et al. published in 1978.

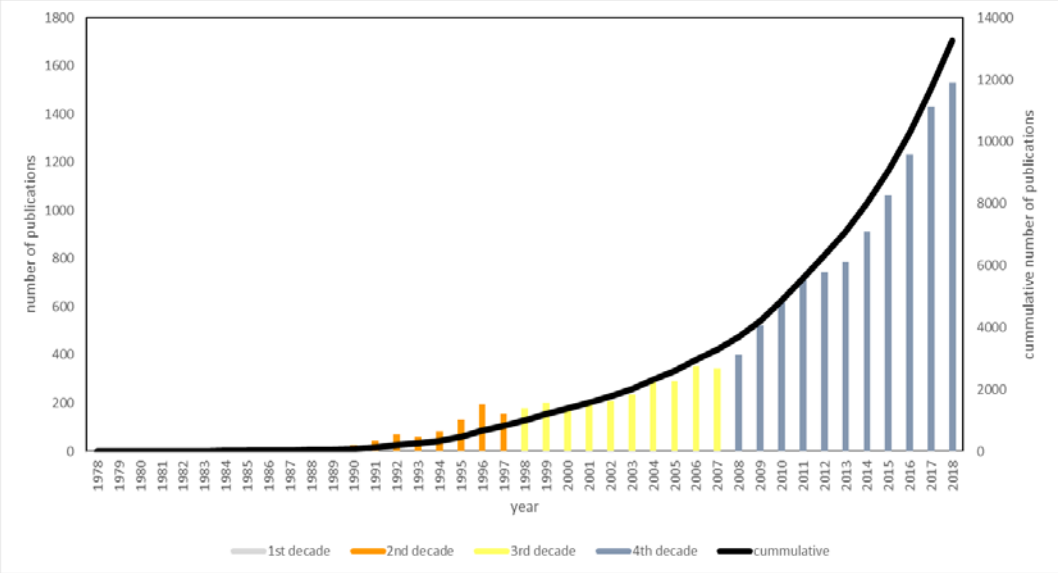


Figure 1: Distribution of publications by year (1978–2018; N = 13,264)

In the observed four decades (1978-2018), there are totally 13,264 DEA related papers in the literature. Similarly, as suggested by Emrouznejad and Yang [6], the breakdown by decades reveals different stages of the development status of DEA research. During the first decade (1978-1987) the growth of DEA-related papers is relatively slow with the average growth of 4 documents per year. Later, during the second decade (1988-1997) the growth of DEA-related papers became more noticeable (78 documents per year) with increased intensity (248 documents per year) in the third decade (1998-2007). Finally, the trend during the last decade (2008-2018) showed an obvious exponential growth of DEA-related papers (906 documents per year), with the latest years (from 2015 onwards) having more than 1000 papers published by year.

Although only 447 or 3.4% of all DEA papers are identified as top-cited, they represent the crucial scientific literature and thus have an important role in the general DEA research development. Also, top-cited DEA papers appear throughout all the observed four decades, whereby their exponential growth make them comparable in structure to the general DEA research. Accordingly, there are 3.6% of top-cited papers published in the first decade, followed by 16.6% in the second decade and 29.3% in the third decade, while about half of top-cited papers (50.6%) are published during the last decade. Thus, the top-cited DEA papers presents the relevant basis for examining scientific production and identifying thematic trends in DEA research.

3.2. Scientific production in DEA research

Table 1 presents the most productive countries by number of citations in DEA research. The most relevant country is the United States, having the largest number of total citations in the observed four decades. However, a significant increase of citations can be observed for China in the last decade, implying that it is becoming an important country in DEA research. Together, the United States and China, have 50,507 total citations in the observed period, which is higher than the number of total citations the remaining most productive countries. Moreover, the United Kingdom and Belgium seem to be important countries in DEA research in the European context, followed by Japan, having slightly less than 3,000 total citations. The presented country-level results correspond to the author-level results, implying that the productivity of individual authors is consequently reflected in the productivity of individual country.

Table 1: Most productive (top 20) countries within highly cited papers (1978–2018; N = 447)

Country	Citations				
	Decade 1	Decade 2	Decade 3	Decade 4	Total
United States	20958	5620	7777	4548	38903
China	0	219	2249	9136	11604
United Kingdom	0	1977	1769	1063	4809
Belgium	0	416	2238	393	3047
Japan	0	0	2004	952	2956
Denmark	0	1715	197	160	2072
Spain	0	105	873	1074	2052
Australia	0	0	1133	892	2025
Canada	0	590	418	557	1565
Israel	0	997	321	210	1528
Singapore	0	0	742	509	1251
Iran	0	0	84	959	1043
Netherlands	0	0	651	277	928
Finland	0	0	660	257	917
Italy	0	293	231	371	895
Germany	0	153	577	117	847
Greece	0	67	554	83	704
India	0	0	273	406	679
France	0	0	419	250	669
Korea	0	130	0	505	635

Table 2 presents most relevant journals in DEA research with at least 1,000 citations. These journals play an important role in DEA research as they altogether cover around 2/3 of total highly cited papers. The general overview reveals that most of these journals are from Netherlands and England. There is only one journal from the United States. The journal with the highest number of citations is European journal of operational research having 93 research papers resulting in 27,178 total citations. The second most influential journal is

Management science having 17 research papers with 11,597 total citations. These two journals have in total 38,775, which significantly exceeds the sum of total citations of the remaining most relevant journals, having at least 1,000 citations.

Table 2: Most relevant journals within highly cited papers (1978–2018; N=447; threshold 1,000 citations)

Journal	Country	Impact factor (2018)	5-Year impact factor	Number of publications	Number of citations
European journal of operational research	Netherlands	3.806	4.283	93	27178
Management science	United States	4.219	5.555	17	11597
Omega – International journal of management science	England	5.341	6.318	31	3628
Energy policy	England	4.880	5.458	24	3571
Journal of the operational research society	England	1.754	1.921	19	2859
Journal of productivity analysis	Netherlands	1.603	1.991	20	2829
Journal of econometrics	Netherlands	1.949	2.668	6	2749
Journal of banking & finance	Netherlands	2.205	3.527	9	1481
International journal of production economics	Netherlands	4.998	5.631	13	1479
Energy economics	Netherlands	4.151	5.212	14	1421
Computers & operations research	England	3.002	3.433	10	1324
Applied energy	England	8.426	8.558	9	1247
Ecological economics	Netherlands	4.281	5.207	8	1178
Expert systems with applications	England	4.292	4.577	14	1166

Table 3 shows the most productive authors by number of citations in DEA research. According to the number of total citations, it is evident that Cooper, WW (University of Texas, United States) and Charnes, A (University of Texas, United States) are the most important authors involved in DEA research because the first has a little more than 20,000 total citations while the latter has a little less than 20,000 total citations in the observed period. These two authors were especially active in the first two decades (1978-1997) as almost all their papers were published in this period.

Table 3: Most productive (top 20) authors within highly cited papers (1978–2018; N = 447)

Author	Papers					H-index	Total citations
	Decade 1	Decade 2	Decade 4	Decade 4	Total		
Cooper, WW	6	4	4	2	16	39	20468
Charnes, A	6	5	0	0	11	39	19616
Rhodes, E	3	0	0	0	3	6	11963
Banker, RD	5	3	1	1	10	51	8618
Zhu, J	0	2	13	12	27	46	4392
Simar, L	0	0	8	6	14	41	3225
Seiford, LM	0	4	8	1	13	20	3107
Tone, K	0	0	3	4	7	28	2782
Zhou, P	0	0	2	12	14	41	2722
Cook, WD	0	4	2	9	15	41	2394
Wilson, PW	0	2	4	4	10	30	2349
Golany, B	1	5	3	1	10	33	2328
Thrall, RM	0	4	2	0	6	20	1843
Ang, BW	0	0	2	6	8	59	1792
Petersen, NC	0	3	0	0	3	39	1710
Andersen, P	0	1	0	0	1	3	1466
Kao, C	0	0	2	5	7	32	1356
Liang, L	0	0	2	9	11	40	1321
Dyson, RG	0	4	2	0	6	25	1249
Lovell, CAK	0	3	3	0	6	39	1249

Moreover, in terms of h-index, the most the most productive and influential authors in DEA research are Ang, BW (National University of Singapore, Singapore) and Banker, RD (Temple University, United States) both having h-index above 50. Finally, although being on the 5th place among most productive authors in DEA research, Zhu, J (Worcester Polytechnic Institute, United States) seem to be the most productive in terms of number of papers, whereby his research activity can be observed especially in the last two decades (1998-2018).

3.3. Thematic trends analysis in DEA research

Keywords have a high conceptual level of abstraction. Therefore, they are often used to identify the thematic trends in a research area (see Figure 2) [4]. Accordingly, the highly relevant keywords are grouped into clusters and the theme is named by the keyword with the maximum degree, whereby the volume of the spheres is proportional to the number of documents associated with each cluster or theme. According to the Callon's centrality and density [2], the identified core themes in DEA research can be classified into four quadrants, representing different types of themes [5, 13]. The first (upper-right) quadrant covers themes having high centrality and high density, suggesting that the themes have well developed internal and external ties. They are considered as motor themes. The second (upper-left) quadrant covers themes having low centrality and high density, suggesting that the themes have well developed internal ties but marginally important external ties. They are considered as highly developed and isolated themes. The third (lower-left) quadrant covers themes having low centrality and low density, suggesting that the themes have weakly developed internal and external ties. They are considered as emerging or declining themes. The fourth (lower-right) quadrant covers themes having high centrality and low density, suggesting that the themes have weakly developed internal ties but important external ties. They are considered as basic and transversal themes.

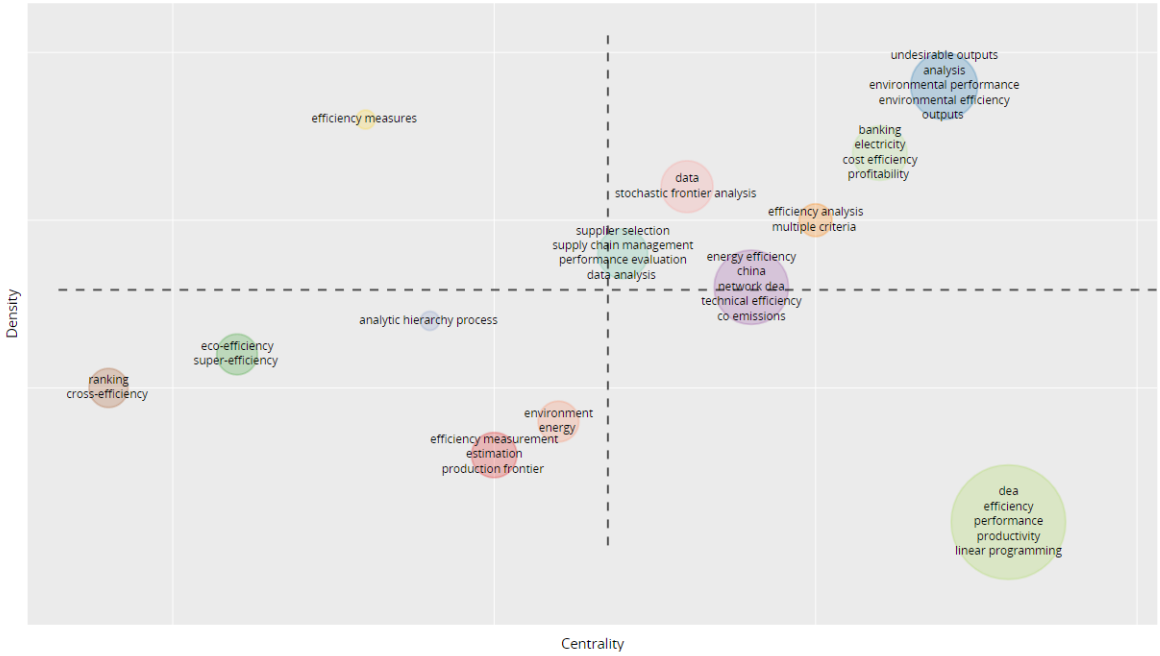


Figure 2: Thematic map (1978–2018; N = 447)

According to the strategic diagram, central and developed (motor) themes are undesirable outputs, banking, efficiency analysis, data, energy efficiency and supplier selection, while efficiency measures is identified as highly developed and isolated theme. Further, ranking, eco-efficiency, analytic hierarchy process, efficiency measurement and environment are identified as emerging or declining themes. Finally, DEA and its related keywords is identified as basic and transversal theme.

4. CONCLUSION

DEA has been widely recognized as a modern and powerful quantitative tool for measuring performance, which has increased its popularity in various research fields. Accordingly, a bibliometric study is required to

ensure better understanding of the evolution of DEA research over time. Therefore, this paper applied several bibliometric approaches, allowing to overview DEA research over the past four decades, including descriptive overview, scientific production, and thematic trends. The general results reveal the apparent growth of DEA research in the last 40 years. Further examination of top-cited DEA papers show that the United States and China are the most productive countries, European journal of operational research and Management science are the most relevant journals and Cooper, WW and Charnes, A are the most productive authors in DEA research. Considering thematic trends, undesirable outputs, banking, efficiency analysis, data, energy efficiency and supplier selection are identified as motor themes in DEA research. A limitation of this paper is that only titles, abstracts and keywords in the English language were included in this study, which might cause some publication bias. Yet, one might also argue that English is the language commonly and widely used for publishing research internationally, implying that all important scientific contributions should be visible in databases. Nevertheless, opportunity remains for future studies to address this issue. Notwithstanding the above limitations, the findings of the paper may be of benefit for the scientific community and serve as an important source for detecting associated research gaps.

Acknowledgement

The authors acknowledge the financial support from the Slovenian Research Agency (research core funding No. (P5-0093).

REFERENCES

[1] Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. Management science, 30(9), 1078-1092.

[2] Callon, M., Courtial, J. P., & Laville, F. (1991). Co-word analysis as a tool for describing the network of interactions between basic and technological research: The case of polymer chemsitry. Scientometrics, 22(1), 155-205.

[3] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. European journal of operational research, 2(6), 429-444.

[4] Chen, C., Song, I. Y., Yuan, X., & Zhang, J. (2008). The thematic and citation landscape of data and knowledge engineering (1985–2007). Data & Knowledge Engineering, 67(2), 234-259.

[5] Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2011). An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the fuzzy sets theory field. Journal of informetrics, 5(1), 146-166.

[6] Emrouznejad, A., & Yang, G. L. (2018). A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016. Socio-economic planning sciences, 61, 4-8.

[7] Falagas, M. E., Pitsouni, E. I., Malietzis, G. A., & Pappas, G. (2008). Comparison of PubMed, Scopus, web of science, and Google scholar: strengths and weaknesses. The FASEB journal, 22(2), 338-342.

[8] Gattoufi, S., Oral, M., & Reisman, A. (2004). Data envelopment analysis literature: A bibliography update (1951–2001). Journal of Socio-Economic Planning Sciences, 38(2-3), 159-229.

[9] Lampe, H. W., & Hilgers, D. (2015). Trajectories of efficiency measurement: A bibliometric analysis of DEA and SFA. European journal of operational research, 240(1), 1-21.

[10] Liu, J. S., Lu, L. Y., Lu, W. M., & Lin, B. J. (2013). Data envelopment analysis 1978–2010: A citation-based literature survey. Omega, 41(1), 3-15.

[11] Martín-Martín, A., Orduna-Malea, E., Thelwall, M., & López-Cózar, E. D. (2018). Google Scholar, Web of Science, and Scopus: A systematic comparison of citations in 252 subject categories. Journal of informetrics, 12(4), 1160-1177.

[12] Moral-Muñoz, J. A., Herrera-Viedma, E., Santisteban-Espejo, A., & Cobo, M. J. (2020). Software tools for conducting bibliometric analysis in science: An up-to-date review. El profesional de la información, 29(1).

[13] Wang, C., Lim, M. K., Zhao, L., Tseng, M. L., Chien, C. F., & Lev, B. (2020). The evolution of Omega-The International Journal of Management Science over the past 40 years: A bibliometric overview. Omega, 93, 102098.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

MERENJE ISTRAŽIVAČKO-RAZVOJNIH PERFORMANSI DRŽAVA EVROPE KORIŠĆENJEM DEA METODE

MEASURING RESEARCH AND DEVELOPMENT PERFORMANCES OF EUROPEAN COUNTRIES USING DEA METHOD

MILICA MILOŠEVIĆ[1], GORDANA SAVIĆ[1], MILENA POPOVIĆ[1]

[1]Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, Beograd, milica.milosevic.milica@gmail.com; gordana.savic@fon.bg.ac.rs; milena.popovic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *S obzirom da važnost indikatora za istraživanje, razvoj i inovacije i njihov uticaj na rast i povećanje konkurentnosti svake države, od izuzetnog značaja je pratiti njihove tokove ravoja i porediti efikasnost jedne u odnosu na drugu na globalnom nivou. U ovom radu korišćena je DEA metoda za ocenu efikasnosti 22 države Evrope na osnovu njihovihistraživačko-razvojnihaktivnosti u periodu od 2011-2017. godine. Kao ulazni indikatori uzeti su: ukupan broj osoblja koje se bavi istraživanjem i razvojem, bruto domaća potrošnja na istraživanje i razvoj i troškovi visokog obrazovanja na istraživanje i razvoj. Kao izlazni kriterijumi uzeti su izvoz visoke tehnologije i prijava patenata. Na osnovu rezultata, identifikovane su relativno efikasne države: Mađarska, Nemačka i Nizozemska u svim posmatranim godinama, kao i relativno neefikasne države: Španija, Portugalija, Finska, Grčka i Danska. Za pojedine države otkriveni su uzroci skoka, odnosno pada indeksa efikasnosti.*

Ključne reči: *DEA metoda, istraživačko-razvojni (IR) indikatori, empirijska studija.*

Abstract: *Considering that research and development activities together with innovation have a substantial impact on the growth and competitiveness of each country, it is essential to monitor development trends and compare the efficiency with others at a global level. In this paper, the DEA method was used to evaluate the efficiency of 22 European countries based on their research and development indicators from 2011 to 2017. As input indicators were taken: the total research and development personnel, GERD and HERD. Global high-tech exports and patent applications were taken as outputs. Based on the results, relatively efficient countries were identified: Hungary, Germany and Netherlands in all observed years, as well as relatively inefficient countries: Spain, Portugal, Finland, Greece and Denmark. For some countries, the causes of the jump or drop in the efficiency index have been discovered.*

Keywords: *Data envelopment analysis, research and development indicators, empirical study.*

1. UVOD

Uticaj istraživanja i razvoja na rast i razvoj privrede polovinom dvadesetog veka prepoznat je u ekonomskoj teoriji. Nauka i tehnologija obezbeđuju plodno tle za razvoj čovečanstva. Na primer, primena informaciono-komunikacionih tehnologija su učinili Zemlju "globalnim selom"(Kecman, 2016). U razvijenim državama, oslonac je na vlastitoj istraživačko-razvojnoj aktivnosti, a nerazvijene se vode aktivnostima onih zemalja koje su već postigle visok nivo razvijenosti (Tošović-Stevanović, 2016). Inovacije i porast investicija se mogu posmatrati kao preduslov za rast države (Chulitskaya i dr., 2017). Rast i razvoj treba da se zasnivaju na tehnološkoj modernizaciji ključnih industrija i na uvođenju naučno zasnovanih tehnologija.

Istraživanje, razvoj i inovacije treba da kroz stvaranje novih proizvoda i usluga obezbede rast zaposlenosti, energetsku sigurnost i efikasnost, smanjenje zagađenja životne sredine i negativnih efekata klimatskih promena i unaprede konkurentnost preduzeća na globalnom nivou (Kecman, 2016).Juna 1963. organizacija za ekonomsku saradnju i razvoj (OECD) je organizovala skup eksperata u oblasti istraživanja i razvoja (IR) i kao rezultat tog sastanka kreirana je prva verzija Priručnika iz Fraskatija – Predložene standardne prakse za istraživanje istraživačkog i eksperementalnog razvoja (OECD, 2002).

Prema definiciji iz priručnika iz Fraskatija "istraživanje i eksperemantalni razvoj obuhvataju kreativni rad koji se preduzima na sistematičnoj osnovi kako bi se povećao fond znanja, koji uključuje saznanja o ljudskoj vrsti, kulturi i društvu, kao i korišćenja ovog fonda znanja radi razvoja novih saznanja".U priručniku se vrši podela na tri vrste aktivnosti: (1) Osnovno istraživanje je eksperimentalan ili teoretski rad radi sticanja novih

znanja ili dopunom postojećih, bez cilja primene tih znanja; (2) Primenjeno istraživanje pretstavlja takođe ekperimentalan ili teoretski rad radi sticanja novih znanja ili dopunom postojećih, ali ovde je cilj praktična primena novih saznanja; (3) Eksperimentalni razvoj predstavlja proizvodnju novih materijala/prioizvoda/procesa ili usavršavanje već postojećih uz pomoć osnovnih i primenjenih istraživanja, ali i iskustva iz prakse.

Uobičajeni pokazatelji istraživanja i razvoja su broj istraživača u odnosu na broj stanovnika ili zaposlenih, kao i troškova koji se odnose na istraživanje i razvoj (OECD, 2002).Strategija Evropa 2020 definiše pet ispripletanih ciljeva koji se odnose na zapošljavanje, istraživanje i razvoj, klimatske promene i energiju, obrazovanje i smanjenje siromaštva (Gavurová i dr., 2019). Istraživanje i razvoj igraju ključnu ulogu u stvaranju novih znanja, proizvoda i tehnoloških procesa koji su preduslov za održiv ekonomski rast društva.

Cilj ovog rada je merenje efikasnosti istraživačko-razvojnih performansi22 države Evrope za koje su bili dostupni svi potrebni podaci u periodu od 2011. do 2017. godine. Merenje se vrši uz pomoć DEA metode. Pod pretpostavkom da se ulazi, odnosno broj osoblja koje se bavi IR aktivnostima, bruto domaća potrrošnja na IR i troškovi visokog obrazovanja na IR ne mogu dodatno poboljšati, biće korišćen izlazno orijentisan CCR DEA model (*Super radial*) koji za cilj ima maksimizaciju izlaza pri zadatom nivou ulaza, a neefikasna jedinica postaje efikasna kroz povećanje svojih izlaza.

Rad je organizovan na sledeći način: u drugom poglavlju dat je CCR DEA model. U trećem poglavlju urađen je pregled dosadašnje primene ocenjivanja efikasnosti država na osnovu njihovih istraživačko-razvojnih aktivnosti. U četvrtom poglavlju prikazana je studija slučaja u okviru koje su definisani indikatori i dat prikaz rezultata. U poslednjem poglavlju izložena su zaključna razmatranja.

2. CCR DEA MODELZA OCENU SUPEREFIKASNOSTI

Kada se primenjuju osnovni DEA modeli sve efikasne jedinice imaju relativnu efikasnost 1 i prema tome nije moguće napraviti njihov rang. Uzimajući u obzir činjenicu da je u uslovima ubrzanog razvoja i sve jače konkurencije često potrebno porediti i efikasne organizacije međusobno Anderesen i Petersen (Andersen & Petersen, 1993) su predložili modifikovani CCR DEA model (1) kojim je omogućeno rangiranje efikasnih jedinica tj. ocena superefikasnosti:

$$
\begin{aligned}
&(\text{Max}) \quad h_k = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rk} \\
&p.o. \\
&\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik} = 1 \\
&\sum_{r=1}^{s} \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \le 0, \; j = 1,2 \ldots, \; n, \; j \ne k \qquad (1) \\
&u_r \ge \varepsilon, r = 1,2,\ldots, \; s \quad v_i \ge \varepsilon, i = 1,2,\ldots, \; m
\end{aligned}
$$

gde su:

- x_{ij}– iznos ulaza *i*-te vrste, za *j*-tu DMU;
- y_{rj}– iznos izlaza *r*-te vrste, za *j*-tu DMU.
- h_k – relativna efikasnost *k*-te DMU;
- n - broj DMU koje treba porediti;
- m - broj ulaza;
- s - broj izlaza;
- u_r - težinski koeficijent za izlaz *r*;
- v_i – težinski koeficijent za ulaz *i*.

3. PREGLED PRIMENE DEA METODE ZA OCENU EFIKASNOSTI DRŽAVA NA OSNOVU ISTRAŽIVAČKO-RAZVOJNIH AKTIVNOSTI

Ocenjivanje efikasnostidržava na osnovunjihovih istraživačko-razvojnih aktivnosti u svom radu prikazali su Huang i Vang (Huang & Wang, 2007). Oni su analizirali 30 zemalja.Kao ulazne indikatore koristili su istraživačko-razvojni kapital i broj osoblja koje se bavi istraživanjem i razvojem, dok su kao izlazne parametre koristili broj patenata i broj akademskih publikacija. Istraživanje je rađeno nad podacima iz tri

perioda i rezultati su pokazali da je više od polovine posmatranih zemalja efikasno (u prvom i drugom periodu broj efikasnih zemalja je bio 16, a u trećem 17).

Autori Li i Park(Lee & Park, 2005) su merili efikasnost 27 zamalja uz pomoć DEA metode.Kao ulazne indikatore su odabrali potrošnju koja se izdvaja za istraživanje i razvoj (prosek u svakoj državi za period 1994.-1998.) i broj istraživača (prosek u svakoj državi za period 1994.-1998.). Kao izlazne indikatore su koristili broj patenata objavljenih 1999., broj artikala objavljenih 1999. i saldo tehnoloških računa (*Technology balance of receipts – TBS*) u 1999. godini. Pored urađene analize nad svim ovim indikatorima, autori su napravili pet novih modela, na osnovu prvog modela, kombinujući pojedinačne ulaze sa izlazima, i kombinujući pojedinačne izlaze sa svim ulazima kako bi izmerili specifičnu IR efikasnost koja se odnosi na pojedine kriterijume i kako bi tačnije odredili šta određenimdržavama nedostaje. Takođe su ovih 27 zemalja klasifikovali na osnovu posebnih izlaznih IR analiza na sledeće: države pronalazače (one koje imaju visoku efikasnost koja je usmerena na patente: Finska, Francuska, Nemačka, Japan i SAD.), trgovce (za njih je karatkeristično da uspešno prodaju svoje IR proizvode. Ove države imaju visoku efikasnost kod kriterijuma tehnoloških računa (TBR), nisku efikasnost koja se odnosi na broj objavljenih artikala i srednju efikasnost koja se odnosi na broj objavljenih patenata. Ovom klasteru pripadaju: Austrija, Irska, Norveška i Singapur), akademike (ove zemaljesu imale visoku efikasnost koja se odnosi na objavljivanje artikala: Australija, Kanada, Mađarska, Italija, Novi Zeland, Španija i Ujedinjeno kraljevstvo) i kicoše (ove države nemaju dobru efikasnost vezanu za izlane kriterijume. U ovaom klasteru se nalazi najviše posmatranih zemalja: Kina, Češka, Južna Korea, Meksiko, Poljska, Portugal, Rumunija, Rusija, Slovačka, Slovenija i Tajvan.). Utvrdili su da Singapur ima najveći indeks efikasnosti u glavnom modelu, dok se Japan nalazio na prvom mestu kada se merila efikasnost koja je bila usmerena na patente.

Autori Karadaj i Ekinci (Karadayi & Ekinci, 2018) su ispitivali IR performanse zemalja članica Evropske Unije koristeći DEA metodu za period 2011.-2013. Istraživanje je dovelo do zaključka da povećanje ulaza nužno ne dovodi do povećanja izlaza, što dovodi do zaključka da je bitno da se ulazi koriste efikasno i samo na osnovu ovoga će se povećati efikasnost. Još jedan zaključak do kojeg su došli autoru je da države koje imaju političku stabilnost i kvalitetno regulatorno okruženje imaju i visoku IR efikasnost.

Gavurova i koautori(Gavurová i dr.,2019) su takođe ispitivali IR performanse zemalja članica Evropske Unije uz pomoć DEA metode.Ovi autori su poredili rezultate koje su države imale 2010.i 2015.godine.

3. EMPIRIJSKA STUDIJA

Analiza je urađena za 22 države Evrope (Tabela 1.) na osnovu njihovih istraživačko-razvojnih aktivnosti. One su odabrane zbog dostupnosti podataka za sve godine koje se ovde obrađuju i zbog njihove sličnosti (naime, sve one se nalaze na evropskom kontinentu i nema drastične razlike po pitanju standarda u ovim državama). Posmatrani su podaci iz perioda od 2011-2017. godine. Za ocenu efikasnosti korišćen je klasičan izlazno orjentisan CCR DEA model (*Super radial*), a parametri su:

Ulazi(OECD, 2011-2017):

- Ukupan broj osoblja koje se bavi IR aktivnostima (*Total R&D personnel*);
- GERD - bruto domaća potrošnja na IR (miliona US$);
- HERD - troškovi visokog obrazovanja na IR (miliona US$);

Izlazi(World Bank, 2011-2017):

- Izvoz visoke tehnologije (US$) ;
- Broj prijavljenih patenata.

Pre analize rezultata potvrđeno je da posamtrani podaci zadovoljavaju uslove za primenu DEA metode:

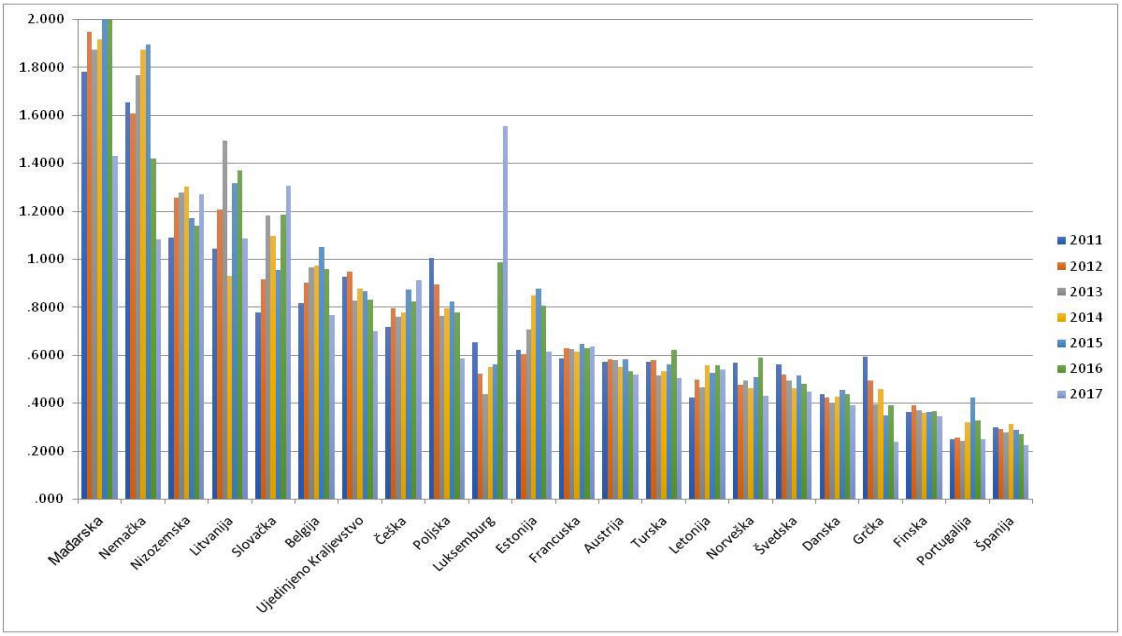
- homogenost – sve državekoje se posmatraju u analizi se nalaze na Evropskom kontinentu i među njima nema velikih i drastičnih razlika.
- pozitivnost – za svaku državu vrednosti kriterijuma su nenegativna.
- izotonost – povećanjem ulaza dolazi do povećanja izlaza bez smanjenja nekog drugog izlaza. Proverom korelacija utvrđena je visoka korelacija između svakog izlaza i ulaza (npr. za 2017. >0.9).
- broj DMU jedinica – potrebno je da broj državabude tri puta veći odzbira svih ulaza i izlaza (Paradi i dr., 2011), što je za ovu analizu i ispunjeno.

Dobijene vrednosti indeksa super-efikasnost, koji omogućava i rangiranje pored ocene efikasnosti, za svaku državu u periodu od 2011-2017. godine date su u Tabeli 1., a radi bolje preglednosti i na Grafiku 1.

Tabela 1: Vrednosti indeksa efikasnosti država za period 2011.-2017.

RB	Države	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Rang 2011	Rang 2017	Razlika u rangu
1	Mađarska	1,78	1,95	1,88	1,92	2,23	2,15	1,43	1	2	-1
2	Nemačka	1,65	1,61	1,77	1,87	1,90	1,42	1,08	2	6	-4
3	Nizozemska	1,09	1,26	1,28	1,30	1,17	1,14	1,27	3	4	-1
4	Litvanija	1,04	1,21	1,49	0,93	1,32	1,37	1,09	4	5	-1
5	Slovačka	0,78	0,91	1,18	1,10	0,95	1,18	1,31	8	3	5
6	Belgija	0,82	0,90	0,97	0,97	1,05	0,96	0,77	7	8	-1
7	Ujedinjeno Kraljevstvo	0,93	0,95	0,83	0,88	0,87	0,83	0,70	6	9	-3
8	Češka	0,72	0,80	0,76	0,78	0,87	0,82	0,91	9	7	2
9	Poljska	1,00	0,89	0,76	0,80	0,82	0,78	0,59	5	12	-7
10	Luksemburg	0,65	0,52	0,44	0,55	0,56	0,99	1,55	10	1	9
11	Estonija	0,62	0,60	0,71	0,85	0,88	0,81	0,61	11	11	0
12	Francuska	0,59	0,63	0,63	0,61	0,65	0,63	0,63	12	10	2
13	Austrija	0,57	0,58	0,58	0,55	0,58	0,53	0,52	14	14	0
14	Turska	0,57	0,58	0,52	0,53	0,56	0,62	0,50	14	15	-1
15	Letonija	0,42	0,50	0,46	0,56	0,53	0,56	0,54	19	13	6
16	Norveška	0,57	0,47	0,49	0,46	0,51	0,59	0,43	14	17	-3
17	Švedska	0,56	0,52	0,50	0,46	0,52	0,48	0,45	17	16	1
18	Danska	0,44	0,42	0,40	0,43	0,45	0,44	0,39	18	18	0
19	Grčka	0,59	0,49	0,39	0,46	0,35	0,39	0,24	12	21	-9
20	Finska	0,36	0,39	0,37	0,36	0,36	0,37	0,34	20	19	1
21	Portugalija	0,25	0,26	0,24	0,32	0,42	0,33	0,25	22	20	2
22	Španija	0,30	0,29	0,28	0,31	0,29	0,27	0,23	21	22	-1

Može se videti da su Mađarska, Nemačka i Nizozemska u svim posmatranim godinama efikasne. Interesantno je da se Mađarska prvorangirana u skoro svim posmatranim godinama (osim 2017. godine kada je bila na drugom mestu).Litvanija nije efikasna samo u 2014.godini. Slovačka nije efikasna u 2011., 2013. i 2015. godini, dok je Belgija efikasna samo u 2015. godini. Sve ostale države su neefikasne u posmatranom periodu.Najmanje efikasne države su Španija, Portugalija, Finska, Grčka i Danska.



Grafik 1: Vrednosti indeksa efikasnosti za svaku posmatranu državu u periodu od 2011.-2017. godine

Za dalju analizu i diskusiju rezultata u Tabeli 2.date su vrednosti indikatora za Mađarsku kao relativno efikasnu, za Portugaliju i Španiju kao relativno neefikasne države i za Luksemburg kog koga se vidi drastičan skok indeksa efikasnosti u 2017oj godini.

Tabela 2: Vrednosti indikatora za Mađarsku, Portugaliju, Španiju (2011-2017.) i Luksemburg (2011.i 2017.)

Države		Ukupan broj osoblja	Bruto domaća potrošnja na IR	Troškovi visokog obrazovanja	Izvoz visoke tehnologije	Broj prijavljenih patenata
Mađarska	2011	33.960	2.708	547	22.847.603.000	698
	2012	35.732	2.895	533	17.580.685.760	758
	2013	38.163	3.361	484	17.144.182.548	708
	2014	37.329	3.408	460	15.686.910.823	619
	2015	36.847	3.535	428	14.668.166.894	633
	2016	35.757	3.235	361	15.711.598.927	665
	2017	40.432	3.850	512	16.903.987.958	532
Portugalija	2011	49.599	4.119	1.499	1.834.211.630	646
	2012	47.554	3.832	1.397	1.919.330.026	647
	2013	46.711	3.870	1.728	2.135.760.004	669
	2014	46.878	3.856	1.759	2.315.726.875	740
	2015	47.999	3.821	1.740	2.096.407.037	945
	2016	50.406	4.179	1.869	2.457.329.643	751
	2017	54.995	4.496	1.913	2.816.236.487	680
Španija	2011	215.079	19.862	5.604	14.103.345.764	3.626
	2012	208.831	19.269	5.346	14.087.892.034	3.475
	2013	203.302	19.282	5.405	17.222.929.747	3.244
	2014	200.233	19.356	5.444	16.348.267.049	3.178
	2015	200.866	19.821	5.574	15.107.967.025	3.020
	2016	205.873	20.631	5.678	15.160.598.549	2.922
	2017	215.744	22.319	6.045	17.094.347.468	2.343
Lukse -mburg	2011	5.191	698	75	1.135.855.717	128
	2017	5.545	853	174	786.641.158	668

Kao što se može videti iz Tabele 2. vrednosti ulaza za Portugaliju i Španiju su daleko veće nego kod Mađarske, dok je na strani izlaza vrednost izvoza visoke tehnologije veća kod Mađarske nego u druge dve posmatrane države. Ovo je posledica toga što je Mađarska dodelila vrednostima težinskih koeficijenata za osoblje i bruto domaću potrošnju vrednosti nula. To znači da su za Mađarsku pri određivanju vrednosti indeksa efikasnosti isključeni ti ulazni indikatori, što joj je omogućilo da samo na osnovu veoma malih vrednosti troškova visokog obrazovanja, i srazmerno tome velikih vrednosti za oba izlaza bude najefikasnija država u skoro celom posmatranom periodu.

Posledica prethodno opisane pojave je primećena i u slučaju Luksemburga. Luksemburg je imao neočekivano velik rast koeficijenta efikasnosti u 2017. godini, u odnosu na prethodne godine. U toj godini vrednosti težinskih koeficijenta su bili jednaki nuli za broj ljudi koji se bave IR, za troškove visokog obrazovanja i izvoza visoke tehnologije. To znači da je kod Luksemburga kreiran koeficijent efikasnosti na osnovu uticaja samo izlaza odnosno bruto domaće potrošnje za IR aktivnostima i broja prijave patenata.

Prikazani rezultati se razlikuju u odnosu na rangove dobijene u radu (Gavurová i dr., 2019) gde je veći fokus na istraživanju (kao su ulazni parametri tri vrste troškova i dva parametra radne snage, a kao izlazi se koriste izvoz visoke tehnologije i broj objavljenih radova). Prema rezultatima ovog rada, države koje su imale visok indeks efikasnost u oba perioda su Bugarska, Rumunija, Kipar i Ujedinjeno Kraljevstvo.U našem radu, fokus je na razvojnoj komponenti i Ujedinjeno Kraljevstvo ima rang između 6. i 9. mesta.

Ukoliko uporedimo rezultate iz 2011.sa 2017. godinom (Tabela 1) najveći pad u rangu su imale Grčka (pala je sa 12. mesta 2011. godine na 21. mesto 2017. godine) i Poljska (sa 5. na 12. mesto). Prema analizama u radu (Gavurová i dr., 2019) Portugal, Malta, Poljska, Luksemburg i Nizozemska su pogoršalje svoj indeks efikasnosti u 2015.godini.

Najveći skok pored Luksemburga (sa 10. mesta u 2011. godini se popeo na 1. mesto u 2017. godini) ostvarila i Letonija (sa 19. na 13. mesto) zahvaljujući relativnom rastu izvoza visokih tehnologija (učešće u virtulenom izlazu se povećalo sa 0,17 na 0,65 za Luksemburg i sa 0,47 na 0,42 za Litvaniju). Interesantno je da su Nemačka i Italija prema istraživačkoj komponenti popravile svoj indeks efikasnosti u 2015. godini u odnosu na 2010. godinu (Gavurová i dr., 2019), dok je u našim analizama Nemačka efikasna, pa se može zaključiti da je Nemačke ekspeditivna u realizaciji patenta (virtuelni izlaz se formira sa učešćem od 0,45 za izvoz i 0,55 za broj prijavljenih papatenata).

5. ZAKLJUČAK

Veoma je teško precizno izdvojiti indikatore za ocenu efikasnosti zemalja na osnovu njihovih istraživačko-razvojnih aktivnosti. DEA metoda omogućava korišćenje većeg broja parametara i daje jednostavnu interpretaciju dobijenih rezultata. Stoga se pokazala kao veoma dobra u rešavanju problema ocene efikasnosti evropskih država na osnovu istraživačko-razvojnih aktivnosti. U ovom radu je upoređivana relativna efikasnost 22 evropske države za period od 2011. do 2017, sa posebnim naglaskom na razvojnu komponentu s obzirom da su kao izlazni paprametri korišćeni ukupan izvoz visokih tehnologija i broj prijavljenih patenata. Samo tri države (Mađarska, Nemačka i Nizozemska) su bile relativno efikasna u svim posmatranim periodima, dok se Litvanija, Slovačka, Belgija i Ujedinjeno Kraljevstvo mogu smatrati skoro efikasnim državama. Skoro 80% država, ima indeks efikasnosti manji od 1. Preporuka za ove zemlje je povećanje izvoza visoke tehnologije, ako se uzme u obzir da su Luksembur i Letonija ostvarila veliki skok u rangu prema indeksu efikasnosti upravo zahvaljujući povećanju izvoza. U 2017. se zahteva prosečno povećanje izvoza na nivou celog skupa posmatranih zemalja za 111,94%, dok se pokazuje da bi bilo značajno i povećanje broja patenata od prosećno 95,1%.

Ova studija može biti o velikog značaja za kopampativnu analizu i povećanje efikasnosti posmatranih država kao i za definisanje smernica za budući razvoj. Budući pravci istraživanja obuhvatiće veći broj jedinica odlučivanja odnosno i druge države sveta kao što je rađeno u studijama (Gavurová i dr., 2019) i (Karadayi & Ekinci, 2018), a pored toga biće uvedena ograničenja za težinske koeficijente kojima se obezbeđuje da svaki parametar ima uticaj na indeks efikasnosti.

LITERATURA

[1] Andersen, P., and Petersen N.C., (1993): A Procedure for Ranking Efficient Unit in Data Envelopment Analysis, Management Science, 39, 1261-64.

[2] Chulitskaya, T., Mazepus, H., Ramasheuskaya, I., & Toshkov, D. (2017). Science Policies and International Cooperation in the Eastern Neighbourhood of the European Union: An Overview. EU-STRAT Working Paper.

[3] Gavurová, B., Haláskova, M., & Korony, S. (2019). Research and Development Indicators of EU28 Countries from Viewpoint of Super efficiency DEA Analysis. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, LXVII, 225-242.

[4] https://data.worldbank.org/indicator/IP.PAT.RESD?view=chart

[5] https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=MSTI_PUB#

[6] Huang, W., & Wang, E. C. (2007). Relative efficiency of R&D activities: A cross-country study accounting for environmental factors in the DEA approach. Research Policy, XXXVI(2), 260-273.

[7] Karadayi, M. A., & Ekinci, Y. (2018). Evaluating R&D performance of EU countries using categorical DEA. Technology Analysis & Strategic Management.

[8] Kecman, N. Đ. (2016).Modeli ulaganja u istraživanje i razvoj i efekti na ekonomski razvoj Srbije. (Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu-Ekonomski fakultet)

[9] Lee, H.-Y., & Park, Y.-T. (2005). An international comparison of R&D efficiency: DEA approach. Asian Journal of Technology Innovation, 207-222.

[10] OECD. (2002). Frascati Manual - Proposed Standard Practice for Surveys on Research and Experimental Development. Paris.

[11] Paradi, J. C., Yang, Z., & Zhu, H. (2011). Assessing bank and bank branch performance. In Handbook on data envelopment analysis (pp. 315-361). Springer, Boston, MA

[12] Tošović-Stevanović, A. (2016). Visoke tehnologije kao izvor konkurentskih prednosti. Management.

Ekološki menadžment i upravljanje prirodnim resursima

Environmental Management and Natural Resources Management

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

PROCENA EKOLOŠKOG RIZIKA ZA PROJEKAT „JADAR“ SA POSEBNIM OSVRTOM NA RAZVOJ KONCEPTUALNOG MODELA

ECOLOGICAL RISK ASSESSMENT FOR THE "JADAR" PROJECT WITH SPECIAL REFERENCE TO THE DEVELOPMENT OF THE CONCEPTUAL MODEL

SAŠA BAKRAČ[1,2]

[1] Vojnogeografski institut, Beograd, sasa.bakrac@vs.rs
[2] Univerzitet odbrane, Vojna akademija, Beograd

Rezime: *U radu se daje uopšten okvir procene ekološkog rizika za projekat „Jadar“- eksploatacija i prerada minerala „Jadarit“. S obzirom na složenost procesa procene ekološkog rizika to zahteva potrebu širokog pristupa i zasnovanog na načelu naučnosti. Rad pruža detaljniji uvid u razvoj konceptualnog modela procene ekološkog rizika. Konceptualni model je jedan od važnih i početnih elemenata naučnog dela procene i Formulacije problema kao prve faze procene. Dati konceptualni model je baziran je na tri potencijalna izvora rizika: rudarske aktivnosti, proizvodno-industrijske aktivnosti i nastanak industrijskog otpada. Hipoteze koje proizilaze iz ovog konceptualnog modela ukazuju na činjenicu da bi realizacijom projekta „Jadar“ ekosistemi, staništa i životna sredina uopšte trpeli posledice. Od rada se očekuje da podstakne diskusiju i da ponudi predlog za rešavanje ovog pitanja/problema.*

Ključne reči: *životna sredina, procena ekološkog rizika, Pojekat Jadar, Konceptualni model.*

Abstract: *The paper provides a general framework for environmental risk assessment for the project "Jadar" - exploitation and processing of minerals "Jadarit". Given the complexity of the environmental risk assessment process, this requires the need for a broad approach and based on the principle of science. The paper provides a more detailed insight into the development of a conceptual model of environmental risk assessment. The conceptual model is one of the important and initial elements of the scientific part of assessment and problem formulation as the first phase of assessment. The given conceptual model is based on three potential sources of risk: mining activities, production-industrial activities and the generation of industrial waste. Hypotheses arising from this conceptual model indicate the fact that the implementation of the project "Jadar" ecosystems, habitats and the environment in general would suffer consequences. The paper is expected to stimulate discussion and offer a proposal to address this issue / problem.*

Keywords: *environment, ecological risk assessment, Project Jadar, Conceptual model.*

1. UVOD

U radu se pretpostavlja da realizacijom projekta „Jadar“ (u daljem tekstu Projekat) postoji izvesna verovatnoća za pogoršanje stanja životnja sredine predmetng prostora. Kao najbolje rešenje utvrđivanja potencialnih posledica koje mogu nastati tokom i nakon realizacije Projekta, nameće se primena nekog od postojećih modela procene ekološkog rizika. Drugi pristupi i pokušaji, uključujući i stratešku procenu uticaja na životnu sredinu zasnovanu na zakonskim odredbama, nemaju uslova za obezbeđivanje naučnosti, kao najvažnijeg potrebnog uslova objektivnosti-kvaliteta procene, videti (Vlada R.S., 2010). Jedan od metodološki najsavršenijih modela je model koji je razvila američka agencija za zaštitu životne sredine - US EPA (u daljem tekstu Model procene). Ovaj Model procene je zasnovan naučnoj osnovi i proveren je na brojnim istraživanjima i primerima. On daje objektivan odgovor za brojna pitanja zagađenja i probleme životne sredine.

Uopšteno, procena ekološkog rizika može se definisati na način da je to proces: sakupljanja, organizovanja, analiziranja i prezentovanja naučnih podataka u cilju donošenja odluka kojima se obezbeđuje zaštita i poboljšanje ekološkog stanja nekog prostora (U.S.EPA, 1998). Ovako definisana, procena ekološkog rizika predstavlja jedinstven oblik procene koji uključuje termin rizik i kojim se pretpostavlja uzročno-posledična veza (odnos) stresor - odgovor. Pod pojmom ekološki rizik podrazumeva se funkcija verovatnoće datog izvora pretnje - stresora, koja koristi određenu potencijalnu osetljivost nekog ekološkog sistema, i odgovarajući odgovor istog na dati događaj (Bakrač, 2012; Makajić-Nikolić, 2020b). Pod pojmom stresor

podrazumeva se bilo koji fizički, hemijski ili biološki entitet koji može da izazove, indukuje negativnu reakciju (Ericson, 2005; Suter, 2006).

Cilj ovog rada je prikaz uopštenog okvira Modela procene sa istaknutim definisanjem Konceptualnog modela. To je prvenstveno zbog obimnosti i složenosti realizacije procene ekološkog rizika za Projekat. Zato, u radu se prikazuje konceptualni model, kao jedan početnih osnova naučnog dela procene. Dijagramom konceptualnog modela opisuju se: izvori zagađenja i putevi njihovog delovanja, stresori i njihovo delovanje, potencijalni efekati zagađenja i ključne tačke procene.

Predmet rada je prostorno određen teritorijom realizacije Projekta, a vremensko određenje predmeta rada obuhvata planirani period od početka do završetka realizacije Projekta (najmanje 50 godina). Smatra se da bi se primenom datog Modela procene dobili jasni odgovori o potencijalu ekoloških rizika na zahvaćenom prostoru, kao i predlozi za prevazilaženje potencijalnih ekoloških problema (Makajić-Nikolić, 2020a).

2. OKVIR PROCENE

U teoriji i praksi prednjače tri koncepta za procenu ekološkog rizika: američki, evropski i kanadski.
Američki koncept, koji se primenjuje u ovom radu (Slika 1), je proces koji bi se sprovodi po fazama na sledeći način:

- Planiranje procene
- Formulacija problema
  - uspostavljanje jasnih ciljeva i odrednica upravljanja,
  - određivanje stresora,
  - izbor i definisanje ključnih tačaka procene,
  - izrada konceptualnog modela,
  - izrada plana analize.
- Sprovođenje faze Analize rizika
  - procena podataka i modela za Analizu,
  - karakterizacija izloženosti i ekoloških efekata.
- Sprovođenje faze Karakterizacije rizika
  - ocena rizika,
  - opis rizika,
  - povezivanje dobijenih informacija sa odlukama menadžmenta.

Zbog kompleksnosti primene ovog koncepta, daće se samo okvirna upustva za sprovođenje napred navedenog toka procene, sa naglašenim osvrtom na izradu "konceptualnog modela", kao jednog od osnovnih elemenata ukupnog procesa.

2.1. Planiranje procene

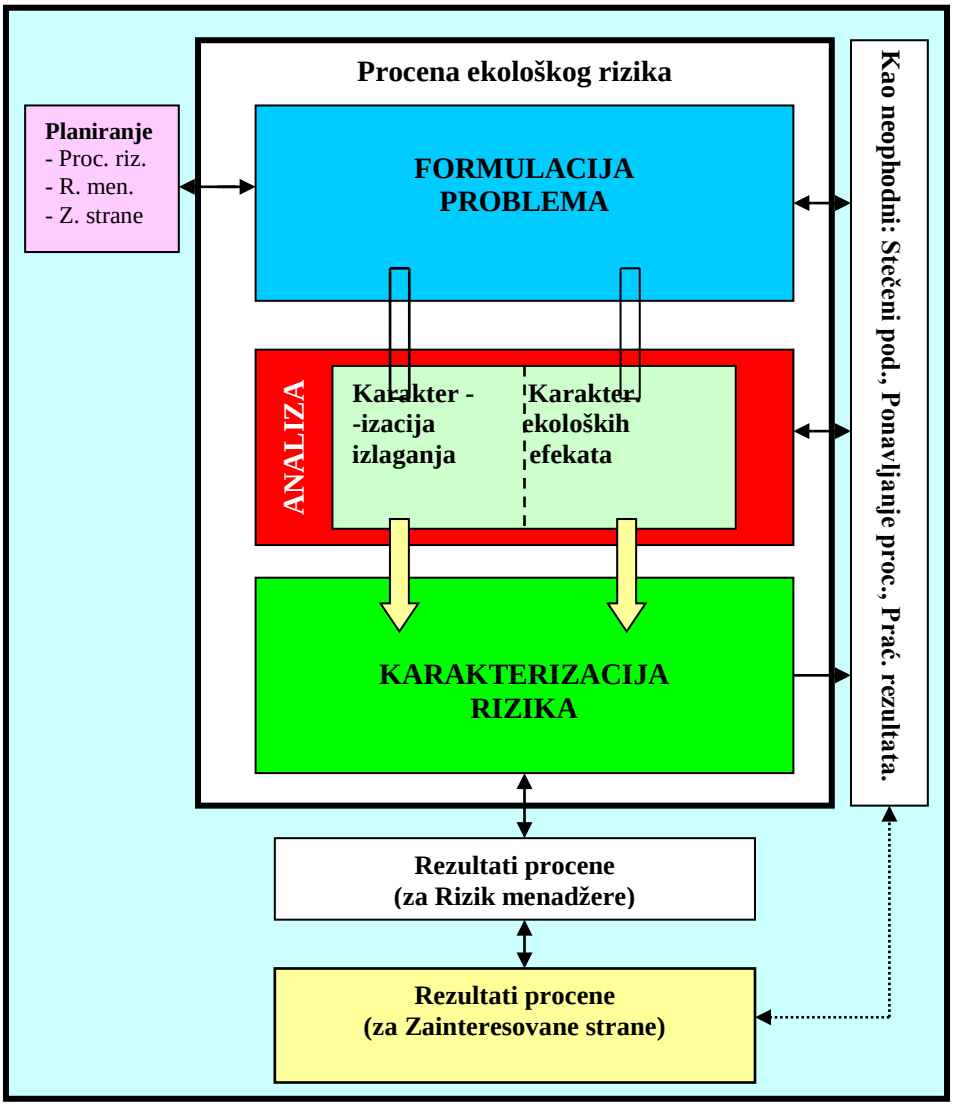
Planiranje procene ekološkog rizika mora biti odvojeno od naučnog dela procene (U.S. EPA, 1992a) i u konkretnom slučaju obuhvatalo bi:

- formiranje radne grupe za procenu, u koju bi činile eminentne ličnosti iz nauke, menadžmenta, i drugih oblasti potrebnih da bi se procena uspešno sprovela,
- jasno ustanovljen i artikulisan cilj/ciljeve i zadaci upravljanja,
- opcije upravljanja u kontekstu ostvarenja postavljenog cilja/ciljeva,
- sporazum o delokrugu, kompleksnosti i fokusiranju procene rizika uključujući očekivani rezultat i
- tehničku i finansijsku pomoć potrebnu za ostvarenje postavljenog cilja/ciljeva.

Jedan od najvažnijih proizvoda planiranja je vezan za uspostavljanje cilja/ciljeva i zadataka upravljanja. U tom smislu g*lavni cilj bi mogao biti: Uspostavljanje i održavanje kvaliteta stanja životne sredine,* da bi se obezbedio opstanak različitih populacija biljnih i životinjskih vrsta koje žive u prostoru realizacije Projekta, i da bi se obustavio proces degradacije ekoloških resursa u datom području.

Neki od zadataka upravljanja datom procenom, koji eksplicitnije objašnjavaju moguće ciljeve i koji se objedinjuju u glavnom cilju, mogli bi biti:

- Utvrđivanje trenutnog stanja životne sredine, uključujući i trenutne količine za pojedine zagađujuće materije,
- Utvrđivanje stanja kvaliteta elemenata životne sredine (voda, vazduh, zemljište),
- Utvrđivanje stanja zdravlja biljaka, životinja i drugih organizama, isključujući čoveka,
- Uspostavljanje/sprovođenje mera za poboljšanje stanja životne sredine.



Slika 1: Šematski prikaz prosečne procene ekološkog rizika

2.2. Formulacija problema

Formulacija problema, kao prva od faza naučnog dela procene, je proces stvaranja preliminarnih hipoteza o tome kakvi su se ekološki efekti pojavili ili se mogu pojaviti u datoj proceni (Bakrač, 2008). Ova faza dala bi osnovu za kompletnu ekološku procenu rizika predmetnog Projekta. Iz prikupljenih (dostupnih) informacija, pripremili bi se sledeći proizvodi: definisani stresori i ključne tačke procene; izrađeni konceptualni model/li i definisane hipoteze rizika i definisani plan za analizu rizika.

Potencijalni stresori mogli bi biti:

- fizički zagađivači,
- hemijski zagađivači,
- zagađujuće materije u vazduhu,
- zagađujuće materije u zemljištu,
- zagađujuće materije u vodi.

Ključne tačke procene prestavljaju izraz aktuelnih vrednosti životne sredine koje želimo sačuvati. Ključne tačke procene moraju biti: ekološki relevantne, da su u vezi sa postojećim stresorima i da su u vezi sa prethodno donesenim ciljevima upravljanja.

Potencijalne ključne tačke procene mogle bi biti:

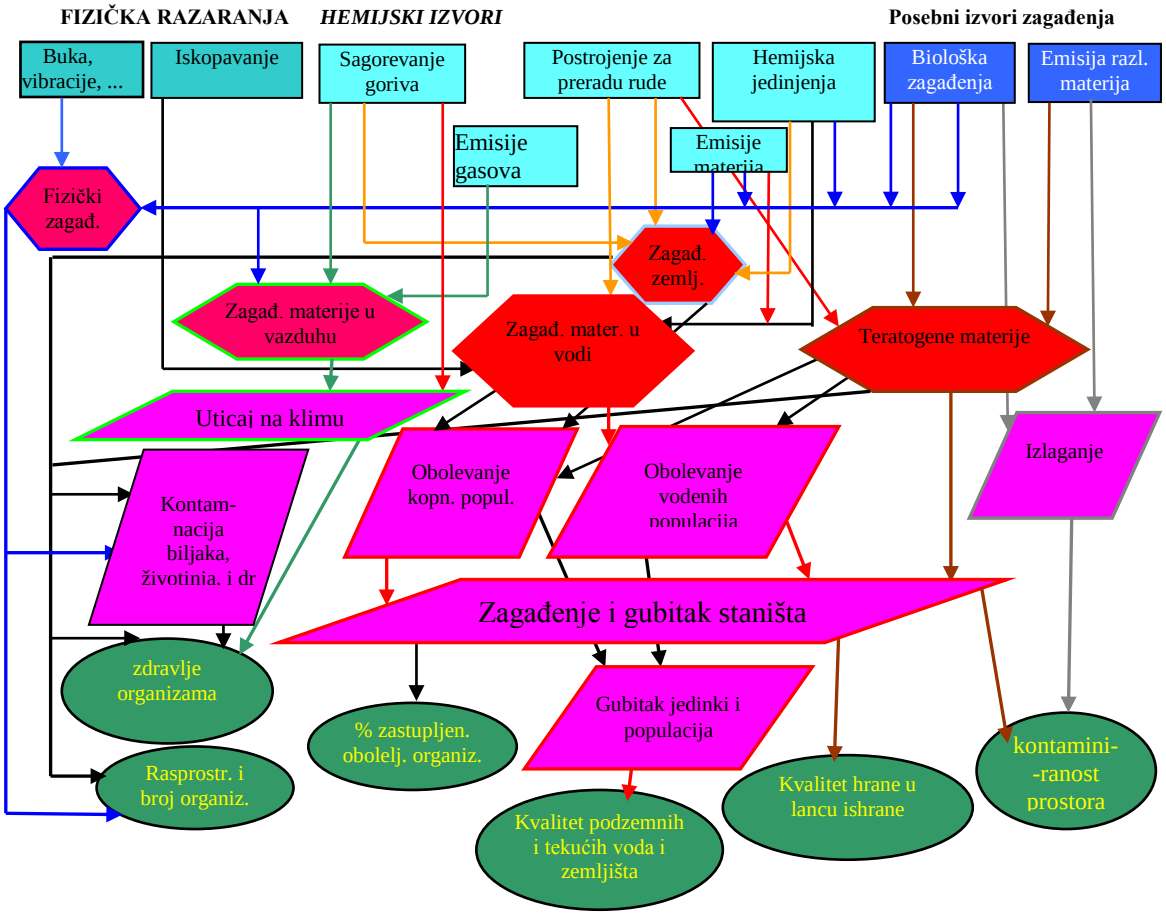
- zdravlje biljaka, životinja i drugih organizama,
- kontaminiranost prostora,
- % zastupljenost oboleljevanja organizama,
- rasprostranjenost i brojnost organizama,
- kvalitet podzemnih i tekućih voda i zemljišta i

- kvalitet hrane u lancu ishrane.

U nastavku ove faze procene pristupa se izradi konceptualnog modela i uspostavljanju hipoteza rizika. Prema definiciji „konceptualni modeli su matematički modeli koji su sastavljeni od manjeg broja jednostavnih elemenata, i svaki element simulira određenu fazu procesa“ (U.S. EPA, 1992a.)

Za predmetni Model procene, konceptualni model spada u grupu složenih modela i mogao bi se dati u obliku dijagrama (Slika 2). Kao takav prestavljao bi opis i vizuelnu prezentaciju predviđenih odnosa između ekoloških entiteta (izabranih ključnih tačaka procene) i stresora kojima mogu biti izloženi. Svaki od puteva u konceptualnom modelu jesu i hipoteze rizika jer se tiču određenih informacija vezanih za Projekat. Te informacije mogu biti sakupljane iz revijalne literature, neposrednih istraživanja i ekološke teorije o funkcionisanju sistema (Haimes, 2008; Makajić-Nikolić, 2020b) i iz sličnih odnosa ustanovljenih u drugim vodenim sredinama. Važno je naglasiti da kompleksnost konceptualnog modela zavisi od kompleksnosti problema: od broja stresora, od broja ključnih tačaka, prirode efekata i karakteristika ekosistema. Za slučaj Projekta, može se sa sigurnošću tvrditi da bi konceptualni model bio složen-kompleksan. Za jedan stresor i jednu ključnu tačku konceptualni model je jednostavan. Nebi bilo isključeno da se napravi nekoliko modela manjim razmerama koji opisuju više detalja u mogu biti efikasniji od pokušaja da se napravi jedan model kojim se želi predstaviti sve.

Hipoteze rizika su pretpostavke koje se prave da bi se procenile logičke i empirijske posledice, u cilju stvaranja osnove za procenu rizika. Što se tiče uspostavljanja hipoteza rizika, u ovom slučaju mogle bi biti pokrenute: zaštitom ekoloških vrednosti, uticajem stresora na ekosistem prostora u kom se realizuje Projekat ili izazvanim ekološkim efektima (smrtnost organizama i sl). Tako, neke od hipoteza bi mogle glasiti: da prekomerno zagađenje elemenata životne sredine uzrokuje smanjenje brojnosti organizama.



Slika 2. Dijagram konceptualnog modela

2.3. Sprovođenje faze analize rizika

Analiza rizika je strateška faza u ukupnom procesu procene ekološkog rizika (Bakrač, 2008; Haimes, 2008). U slučaju Projekta ova faza procene bi bila po pitanjima podataka najobimnija i najzahtevnija od svih

faza procene, kako u kvantitativnom tako i u kvalitativnom smislu. Analizom bi se ispitale dve osnovne komponente rizika, *izloženost* i *efekti*, i njihova međusobna veza i odnos prema karakteristikama ekosistema.

Pre nego što bi se pristupilo realizaciji karakterizacije izloženosti i karakterizacije ekoloških efekata, potrebno bi bilo izvršiti procenu dostupnih podataka i definisanog modela analize, što bi uključilo i ocenu mogućih neizvesnosti koje prate ovu fazu. To bi obuhvatalo procenu mogućnosti i ograničenja različitih tipova podataka, ocenu studije modelovanja, kao i ocenu ukupne neizvesnosti u pogledu kvaliteta podataka i postavljenog modela.

Nakon sprovedenih ocena o dostupnim podacima i projektovanoj studiji modelovanja, kao i eventualnih neizvesnosti i nedostataka u dotadašnjem toku procene, pristupilo bi se karakterizaciji izloženosti i karakterizaciji efekata, kao sledećim fazama analize.

Karakterizacija izloženosti oslanja se na postavljeni model analize. U zavisnosti od vrste (karaktera) procene primenjuju se i adekvatni modeli (modeli koji su univerzalni ili se prave posebni modeli). Ovaj proces bi se zasnivao na analizi izloženosti i opisu stepena i obrasca kontakta ili istovremenog pojavljivanja definisanih stresora i receptora. Finalni proizvod ove faze je bio bi tzv. profil izloženosti.

Karakterizacija ekoloških efekata kao sledeća faza analize obuhvatala bi rad procenitelja koji analizira-opisuje efekte ekološkog odgovora i povezuje ih sa izabranim ključnim tačkama procene. Uopšteno, karakterizacija počinje ocenom podataka o efektima izazvanim datim stresorom/stresorima, a nastavlja se analizom ekološkog odgovora, čime se ocenjuje kako se obim efekata menja sa variranjem nivoa stresora. Ovim postupkom procenitelj (procenitelji) bi dokazivali da li su stresori izazvali određeni efekat, što povezuje efekte sa ključnim tačkama procene i definisanim konceptualnim modelom. Zaključci bi se sumirali u profilu stresor-reakcija.

2.4. Sprovođenje faze karakterizacije rizika

Finalna faza procene ekološkog rizika jeste karakterizacija rizika (Slika 1). Ona predstavlja kulminaciju planiranja, formulacije problema i analize predviđenih i uočenih neželjenih ekoloških efekata vezanih za definisane ključne tačke (U.S. EPA, 1998).

Cilj procenitelja rizika u ovom slučaju bio bi da steknu potpun uvid u veze između definisanih stresora, efekata i ključnih tačaka procene i da dođu do zaključaka koji se tiče izloženosti i štete izazvane postojećim ili predviđenim ekološkim efektima (ekološkim rizikom). Rezultati faze analize procenitelji bi koristili da razviju ocenu rizika ekoloških entiteta pre svega uključujući ključne tačke identifikovane u formulaciji problema. Takođe daje se i opis rizika u kontekstu važnosti bilo kog neželjenog efekta, kao i dokaza koji podržavaju njegovu verovatnost. Na kraju, obaveza procenitelja je da identifikuju i sumiraju neizvesnosti i pretpostavke u proceni rizika, i da dostave izveštavaj menadžerima rizika o zaključcima procene.

Zaključci prezentovani u karakterizaciji rizika za Projekat treba da obezbede jasnu informaciju menadžerima rizika kako bi se donela pravilna odluka vezana za dati problem. Ukoliko rizici nebi bili dovoljno definisani i jasni da bi se donela odluka menadžmenta, tada menadžeri rizika mogu odlučiti da se ponove jedna ili više faza procene. Ponovna ocena konceptualnog modela (i povezanih hipoteza rizika) ili sprovođenje dodatnih studija može poboljšati ocenu rizika (Suter, 2006).

3. ZAKLJUČAK

Može se zaključiti da bi primena datog Modela odgovorila postavljenim pretpostavkama i da bi doprinela ukupnom poboljšanju ekološkog stanja za prostor definisan Projektom. Metodologija je jasna i potvrđena na mnogim drugim pa i sličnim primerima, ali njena uspešnost i potvrđenost zahteva i doslednu primenu i dobro poznavanje. Zato, u slučaju Projekta bilo bi potrebno primeniti Model procecene uz prethodno izvršenu pripremu odabranog menadžmenta, uz kvalitetan izbor eksperata – procenitelja i uz adekvatnu ekonomsku podršku naručioca procene.

Smatra se da je primena Modela procene izraz je društvenih potreba i aktuelnosti problematike zaštite životne sredine prostora na kome bi se sprovodila realizacije Projekta. Takođe, dobijeni rezultati procene bili bi dragocen podatak za buduće praćenje i poboljšanje stanja, ali i dobra osnova za dalja istraživanja i ponovne procene.

S obzirom na kompleksnost predmetne problematike, a radi što boljeg razumevanja problema istraživanja ovaj rad daje samo uopšten pristup, tako da su poglavlja koja čine strukturu rada (metodologije procene) obrađivana u veoma skraćenom obliku. Eventualna konkretuzacija rada bila bi proverena i primenjena na daleko širim teorijsko-metodološkim osnovama.

LITERATURA

[1] Bakrač, S. (2008). *Razvoj metodologije procene i upravljanja ekološkim rizikom na primeru Bokokotorskog zaliva, doktorski rad.* Beograd: Univerzitet u Beogradu - Geografski fakultet.

[2] Bakrač S i ostali. (2012). Procena ekološkog rizika u funkciji zaštite životne sredine. *Vojnotehnički glasnik broj 4, godina LX, oktobar-decembar*, 165-178.

[3] Ericson II, C. A. (2005). *Hazard Analysis technique for System Safety*. John Wiley & Sons

[4] Haimes, Y. Y. (2008). *Risk Modeling, Assessment, and Management. 3rd edition*. John Wiley & Sons.

[5] Makajić-Nikolić, D. (2020a). *Disaster Risk Reduction*. In: Leal Filho W., Azeiteiro U., Azul A., Brandli L., Özuyar P., Wall T. (Eds.), Climate Action. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71063-1_65-1.

[6] Makajić-Nikolić, D. (2020b). Risk Assessment and Management. In: Leal Filho W., Azul A.M., Brandli L., Özuyar P.G., & Wall T. (Eds.), *Climate Action*. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95885-9_75.

[7] Suter, GW. 2006. *Ecological risk assessment*, Second Edition. USA: CRC Pres.

[8] U.S. EPA. (1998). *Guidelines for ecological risk assessment*. Washington, DC: EPA/630/R-95/002Fa, USA.

[9] U.S. EPA (1992a). *Framework for ecological risk assessment*. EPA/630/R-92/001. Office of Water, Washington, DC, USA.

[10] Vlada R.S. (2010). *Zakon o strateškoj proceni uticaja na životnu sredinu*, "Sl. glasnik RS" (br. 135/2004 i 88/2010).

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

UTICAJ PANDEMIJE COVID-19 NA CILJEVE ODRŽIVOG RAZVOJA

THE IMPACT OF COVID-19 PANDEMIC ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

MILICA GRUJIĆ[1], ALEKSANDAR ĐUKIĆ[2]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, milicadjukic555@yahoo.com
[2] Beogradska akademija poslovnih i umetničkih strukovnih studija, Beograd, epaminonda100@yahoo.com

Rezime: *Smatra se da pandemija Covid-19 predstavlja jednu od najznačajnih promena u globalnoj ekonomiji. Zdravstvena kriza se pretvorila u ekonomsku usled ograničenja kretanja ljudi, mera socijalnog distanciranja i pada ekonomske aktivnosti. Globalna kriza imala je veliki ekonomski, društveni i ekološki uticaj. Pandemija je promenila pogled na svaki aspekt života. Posledično, predstavlja pretnju po ostvarenje Ciljeva održivog razvoja (COR). Cilj rada je identifikovanje uticaja pandemije Covid-19 na određene COR (#1, #2, #3, #4, #5, #8, #10 i #16) na koje je pandemija imala najveći uticaj.*

Ključne reči: *Održivi Razvoj, Ciljevi Održivog razvoja (COR), pandemija Covid-19,*

Abstract: *Covid-19 pandemic is considered to be one of the most significant changes in the global economy. The global crisis has had a major economic, social and environmental impact. The health crisis has turned into an economic one due to restrictions on the movement of people, measures of social distancing and a decline in economic activities. The pandemic has changed the view towards every aspect of life. Consequently, it poses a threat to the achievement of the Sustainable Development Goals (SDGs). The aim of this paper is to identify the impact on specific SDGs (#1, #2, #3, #4, #5, #8, #10 and #16), which have been mostly influenced by the pandemic.*

Keywords: *Sustainable development, Sustainable development goals (SDGs), Pandemic Covid-19*

1. UVOD

Tokom poslednjih decenija kao posledica različitih društvenih i ekoloških problema, koncept održivog razvoja sve više dobija na značaju. Za popularizaciju koncepta zaslužna je Svetska komisija za životnu sredinu i razvoj (Bruntlendova komisija) koja je na poziv Ujedinjenih nacija 1987. godine predstavila izveštaj „Naša zajednička budućnost". U izveštaju održivi razvoj je definisan kao: „Razvoj koji zadovoljava potrebe sadašnjih generacija i ne dovodi u pitanje sposobnost budućih generacija da zadovolje svoje potrebe" [19]. Mnogi autori koji se bave konceptom održivog razvoja [između ostalih 3,12] navode tri osnovne dimenzije (stuba) održivosti: ekološka dimenzija; socijalna dimenzija; ekonomska dimenzija.

Na konferenciji UN 2000. godine u Njujorku [16], koja je poznatija kao Milenijumski samit, usvojena je Milenijumska deklaracija, u kojoj je definisano osam Milenijumskih razvojnih ciljeva – MRC (engl. *Millennium Development Goals – MDGs*): Iskorenjivanje ekstermnog siromaštva i gladi; Postizanje univerzalnog osnovnog obrazovanja; Promovisanje rodne ravnopravnosti i osnaživanje položaja žena; Smanjenje stope smrtnosti kod dece; Poboljšanje zdravlja majki; Borba protiv HIV/Side, Malarije i drugih bolesti; Obezbeđivanje ekološke održivosti; Stvaranje globalnog partnerstva za razvoj. MRC su važili do 2015. godine kada je održana konferencija UN u Njujorku na kojoj je usvojena Agenda 2030. U Agendi 2030, koja je poznata po Ciljevima održivog razvoja – COR (engl. *Sustainable Development goals – SDGs)*, a koju su podržale 193 zemlje, definisano je 17 ciljeva održivog razvoja koji su zamenili MRC i važe do 2030. godine: #1 Svet bez siromaštva; #2 Svet bez gladi; #3 Dobro zdravlje; #4 Kvalitetno obrazovanje; #5 Rodna ravnopravnost; #6 Čista voda i sanitarni uslovi; #7 Obnovljiva i pristupačna energija; #8 Dostojanstven rad i ekonomski rast; #9 Industija, inovacije i infrastruktura; #10 Smanjenje nejednakosti; #11 Održivi gradovi i zajednice; #12 Odgovorna potrošnja i proizvodnja; #13 Akcija za klimu; #14 Održivost života pod vodom; #15 Održivost života na kopnu; #16 Mir, pravda i snažne institucije; #17 Partnerstvo za održivi razvoj [17]. COR prvenstveno treba da doprinesu smanjenju siromaštva, nejednakosti i nepravde, a uz to i da utiču na uzroke i minimalizuju posledice klimatskih promena. COR uključuju i strategiju sa smernicama kako bi svet postao bolje mesto za život, čemu bi trebalo da doprinesu i 169 specifičnih ciljeva koje treba ostvariti. Iako se COR često smatraju naslednicima MRC, treba naglasiti njihovu suštinsku razliku

koja se prvenstveno odnosi na činjenicu da su MRC zasnovani na dimenzijama održivog razvoja, dok su COR izgrađeni na principima inkluzivnosti i partnerstvu sa svim stejkholderima, naglašavajući holistički pristup u postizanju održivog razvoja. Pored toga, COR se ne odnose samo na zemlje u razvoju kao što je to bio slučaj sa MRC, već je fokus na svim državama, zato što je globalna saradnja neophodna kako bi se ovi ciljevi ispunili [9].

Coronavirus disease 2019 (Covid-19) je zarazna bolest izazvana novootkrivenim koronavirusom. Prvi slučaj virusa identifikovan je u Vuhanu u Kini decembra 2019. godine i brzo se proširio na sve kontinente. Svetska zdravstvena organizacija je proglasila pandemiju 11. Marta 2020. [7]. Globalno širenje virusa je brzo i grubo prekinulo ekonomiju i uobičajen način života, primoravši kompanije i vlade širom sveta da što pre donesu teške odluke kako bi uravnotežili rizike po zdravlje pojedinca i ekonomsko zdravlje [8]. Stoga, smatra se da je pandemija Covid-19 jedna od najznačajnih promena u globalnoj ekonomiji, koja potencijano ima veliki uticaj na održivi razvoj [5]. Posledično, uticaj pandemije predstavlja veliku pretnju po ostavarenje COR do 2030. godine.

Autori [7,6] navode da je pandemija Covid-19 imala najveći uticaj na ciljeve #1, #2, #3, #4, #5, #8, #10 i #16, stoga cilj rada predstavlja pregled uticaja pandemije na navedene ciljeve.

2. OPŠTI DRUŠTVENO-EKONOMSKI UTICAJ PANDEMIJE COVID-19

Globalna zdravstvena kriza prouzrokovala je i globalnu ekonomsku krizu. Izvoz Kine u januaru i februaru 2020. godine opao je za više od 17%, dok je pad svetske trgovine u 2020. godini iznosio 5,3 % [20]. Istraživanje Svetske banke pokazuje da bi pandemija Covid-19 mogla da dovede između 40 i 60 miliona ljudi do ekstremnog siromaštva. U najgorem slučaju, globalno siromaštvo bi moglo da se vrati na nivo iz 2017. godine, što bi poništilo trogodišnji napredak u borbi protiv ekstremnog siromaštva [9]. U prvom kvartalu 2020. godine, globalna finansijska tržišta su propala usled prekida u međunarodnim lancima snabdevanja, smanjene trgovine zbog zatvaranja kompanija u Kini, Evropi i svuda gde se virus širio, prekida ekonomskih aktivnosti zbog smanjenja radne snage usled infekcije virusom, mortaliteta, mera socijalnog distanciranja i zaključavanja, tj. mera koje su imale za cilj smanjenje širenja virusa. Prisilan prelazak na rad na daljinu može da najavi pozitivne i trajne promene, ali za neke poslove poput poljoprivrede i proizvodnje rad na daljinu nije moguća opcija [7].

Izbijanje pandemije navelo je vlade širom sveta da uvedu ograničenja na putovanja u zemlje pogođene pandemijom, koja su se odnosila na obustavljanje turizma i izdavanje radnih i imigrantiskih viza. Mnoge zemlje su donele odluku o potpunoj zabrani putovanja zatvaranjem svih aerodroma unutar svojih granica. Posledično, avio-industrija i turizam su pretrpeli velike gubitke. Pored toga, zbog socijalnog distanciranja i karantina ugostiteljtvo je takođe značajno ugroženo. Zbog zabrane okupljanja i sportska industrija je bila značajno pogođena. Svi sportski događaji poput fudbalskih liga, velike nagrade Monaka Formule 1, pa čak i Olimpijskih igara u Tokiju bili su otkazani, što je sponzorima i organizatorima donelo gubitke u vrednosti od više milijardi dolara. Pandemija je, takođe, dovela do smanjene potražnje za naftom i naftnim derivatima. Usled smanjenja kretanja ljudi i robe došlo je do pada tražnje za gorivom, ugljem i drugim energetskim proizvodima, što je dovelo i do pada cene nafte. Pandemija je, takođe, uticala i na ostala energetska tržišta poput tržišta uglja, gasa i obnovljivih izvora energije, ali je tržište nafte najjače pogođeno. Bankarski sektor je, takođe, bio ugrožen pošto mnogi poput malih i srednjih preduzeća, restorana, avioindustrije i hotela nisu bili u mogućnosti da regulišu svoja dugovanja. Pored toga, došlo je do opšteg pada bankarskih transakcija što je negativno uticalo na profit banaka. Sa druge strane, kao posledica socijalnog distanciranja i karantina došlo je porasta *online* usluga kao što je *online* kupovina. Pandemija je značajno pogodila i *Event* industriju zbog otkazivanja izložbi, venčanja, zabava, korporativnih događaja, predstavljanja novih brendova, sajmova itd. Konferencije, naučni skupovi pa i mnogi koncerti se održavaju *online* putem digitalnih platformi. Pandemija je značajno pogodila i obrazovanje, zbog zatvaranja škola i univerziteta. Mnogi univerziteti u Americi su primorali inostrane studente da se vrate u svoje zemlje. Prešlo se na sistem učenja na daljinu, dok su siromašne zemlje bile suočene sa problemom nemogućnosti prelaska na učenje na daljinu. Smatra se da je pandemija poremetila obrazovanje najmanje 290,5 miliona učenika i studenata širom sveta. Sa druge strane, smatra se da je pandemija doprinela značaju i promociji *online* obrazovanja, čija je upotreba pre pandemije bila izuzetno niska [10].

Pandemija je takođe, imala negativan uticaj na pružanje zdravstvene zaštite, što je imalo za rezultat odlaganje ambulantnih poseta i operacija koje nisu hitne i ograničenje pristupa bolnicama kako pacijentima tako i njihovim negovateljima. Posledice izolacije i socijalnog distanciranja pogodile su i zaražene i nezaražene pacijente sa emocionalnim, psihičkim i ekonomskim komplikacijama, koje su se najčešće manifestovale posttraumatskim stresnim poremećajem, depresijom, nesanicom i promenama u raspoloženju. Zatvaranje škola dovelo je do povećanog rizika transmisije virusa sa dece na stariju populaciju, štete po

dobrobit dece posebno među najugroženijom decom, probleme u ishrani i velikih gubitaka u procesu podučavanja/učenja i socijalizacije. Karantin kod dece je povezan sa anksioznošću, stresom i depresijom i može postati faktor rizika za rast i razvoj deteta. Istraživanja su pokazala da je karantin pozitivno uticao na želju za potomstvom, ali nije utvrđeno da li je pozitivno uticao na povećanje stope nataliteta. Karantin je, takođe, imao velike posledice na mentalno i fizičko zdravlje starijih ljudi zbog smanjene fizičke aktivnosti i gubitka kontakta sa porodicama zbog rizika od transmisije virusa. Opšte posledice karantina na društvo manifestovale su se smanjenjem kvaliteta života, povećanim stresom na poslu, frustracijama, brige za najbliže, strahom od infekcije, smanjenjem zaliha, dosade i pojavljivanjem neproverenih informacija. Istaživanja su pokazala da je tokom karantina došlo do povećanog konzumiranja alkohola i nasilja u porodici. Takođe, došlo je do drastičnog smanjenja fizičke aktivnosti, povećanja sati sna i vremena provedenog ispred ekrana, što potencijalno ima uticaj na povećanje telesne težine i gojaznosti u opštoj populaciji [2].

Izbijanje pandemije imalo je i ekološke posledice. Naime, usporavanje ekonomske aktivnosti uticalo je na smanjeno zagađenje vazduha [13]. Prvi primer smanjenog zagađenja vazduha vidljiv je u državi gde je otkriven prvi slučaj zaraze koronavirusom, u Kini, kada su zbog karantina putevi ostali prazni. Lokalno stanovništvo širom sveta bilo je impresionirano pojavom čistog i plavog neba. Primer za to je i grad Vuhan koji je 90 odsto vremena prekriven smogom. Ograničenja koja su uzrokovala smanjenje putovanja uticala su na nivo zagađenja u celoj Kini. Satelitski snimci koje je NASA napravila pokazali su konstantan pad azot-dioksida (NO_2) na teritoriji Kine. Nivo zagađenja u turističkim mestima širom sveta se u velikoj meri smanjio. Smanjena privredna aktivnost je imala pozitivan uticaj na klimatske promene, oštećenje ozonskog omotača, smanjenje zagadjenja vazduha, itd. Pored toga, veliki broj ptica se pojavio na nebu tokom zaključavanja. Insekti su se, takođe, pojavili na biljkama u velikom broju. Pozitivan efekat usporavanja industrijske proizvodnje odrazio se i na prirodne vodotokove koji su samoprečišćavanjem ublažili štetne efekte otpadnih voda koje se u njih ulivaju. Sve navedene pojave jasno ukazaju da je pandemija imala pozitivan uticaj na životnu sredinu [18].

3. UTICAJ PANDEMIJE COVID-19 NA CILJEVE ODRŽIVOG RAZVOJA

Globalna kriza izazvana pandemijom je značajno transformisala trenutno stanje globalnog razvoja i uticala je na sve sfere života. Na osnovu navedenih društveno-ekonomskih uticaja, može se zaključiti da pandemija predstavlja pretnju po ostvaranje COR do 2030. Na osnovu istraživanja [6,7] pandemija je najviše uticala na ostvarenje sledećih ciljeva:

- Uticaj pandemije na cilj #1 (iskorenjivanje siromaštva u svim oblicima do 2030. godine) – kao što je navedeno, pandemija je dovela do gubitka radnih mesta. Činjenica je da se siromaštvo povećava usled gubitka radnih mesta, što posledično utiče da veliki broj porodica padne ispod granice siromaštva, a može se sprečiti adekvatnim odgovorom vlade na svim nivoima. Dobro planirana i vođena borba protiv siromaštva je neophodna kako bi se sprečilo da veliki broj ljudi padne ispod granice siromaštva [6];
- Uticaj pandemije na cilj #2 (eliminisanje gladi i neuhranjenosti do 2030. godine, što podrazumeva da svi ljudi a posebno deca imaju dovoljno hrane i zdravu ishranu) – kako pandemija i zatvaranje vode ka masovnoj nezaposlenosti, padu prihoda i prekidu proizvodnje hrane, tako najsiromašniji stanovnici sveta padaju u još veće siromaštvo i glad, što posledično povećava i stopu smrtnosti prouzrokovanu nedostatkom hrane [6]. Pored toga, mere zatvaranja su dovele do prekida u proizvodnji i distribuciji hrane, što je dodatno imalo loš uticaj na cilj #2 [1];
- Uticaj pandemije na cilj #3 (zdrav život i promocija blagostanja za sve ljude, svih starosnih dobi) – usled mera za sprečavanje širenja virusa koje su donete širom sveta, došlo je do pada fizičke aktivnosti i društvene interakcije, što ima direktan uticaj na zdravlje i blagostanje. Pandemija je skoro paralisala mnoge zdravstvene sisteme širom sveta, a mnogi zdravstveni radnici su bili zaraženi, što je dovelo do nedostatka medicinskog osoblja. Pristup medicinskoj nezi je postao otežan, što je posebno pogodilo siromašne zemlje. Dobra strana pandemije je što su vlade širom sveta shvatile značaj zdravog života i blagostanja i preduzele različite aktivnosti kako bi se hrana i novčana pomoć distribuirala ljudima koji su najviše pogođeni pandemijom [4];
- Uticaj pandemije na cilj #4 (omogućavanje kvalitetnog obrazovanja za sve ljude) – zatvaranje obrazovnih ustanova i učenje na daljinu ima veliki uticaj na kvalitetno obrazovanje, posebno u zemljama u razvoju gde mnoga deca nemaju pristup internetu, ne poseduju računare ili tablete i/ili ne žive u okruženju koje je pogodno za učenje na daljinu [7]. Mnogi studenti su bili emocionalno i mentalno pogođeni, dok su drugi imali finansijske probleme zbog studentskih obaveza koje treba da izmire [6];

- Uticaj pandemije na cilj #5 (ravnopravnost polova i osnaživanje žena) – pandemija je pogodila i muškarce i žene, ali postoji razlika u uticaju. Žene čine većinu u sektoru zdravstva u mnogim državama gde je obim posla u velikoj meri povećan, što je mnogim zaposlenim roditeljima u zdravstvu stvorilo dodatne poteškoće u vezi sa svakodnevnim obavezama, a posebno brige o deci. Žene čine većinu zaposlenih u uslužnim delatnostima, a taj je sektor posebno pogođen potpunom obustavom rada. Žene su češće vlasnice preduzetničkih radnji i mikro preduzeća u delatnostima (poput frizerskih i kozmetičkih salona) u kojima je prvo nastupila zabrana ili ograničenje rada i čine najveći broj zaposlenih. Usled povećane tražnje zbog pravljenja zaliha i straha od zaražavanja, u trgovinama koje prodaju osnovne životne namirnice, znatno je povećan je obim posla, gde takođe većinu zaposlenih čine žene. Prestanak rada škola i vrtića, doveo je u pitanje čuvanje maloletne dece, što je takođe u velikoj meri uicalo na žene [11]. Pored toga, došlo je do povećanog nasilja nad ženama [4];
- Uticaj pandemije na cilj #8 (održiv ekonomski rast, zaposlenje i dostojanstven posao za sve) – promene na tržištu rada izazvane socijalnim distanciranjem i padom ekonomske aktivnosti imale su za rezultat gubitak radnih mesta. Kao posledica pada potražnje smanjio se broj zaposlenih u trgovini, turizmu, transportu, ugostiteljstvu itd. Mnoge kompanije su ugašene (posebno su pogođena mala i srednja preduzeća), a stopa nezaposlenosti je u porastu [6];
- Uticaj pandemije na cilj #10 (smanjenje nejednakosti unutar i između država) – pandemija je dodatno povećala nejednakosti unutar i između država. Smatra se da je pandemija poništila gotovo sav napredak koji je ostvaren u vezi cilja #10 u poslednjih nekoliko godina [4]. Nejednakosti u prihodima i bogatstvu postaju sve veće, većina resursa koje poseduju razvijene zemlje neće doći do siromašnih zemalja, što će dodatno uticati na predstojeću ekonomsku krizu, posebno u Africi [7]. Zbog nejednakosti u prihodima, pojedinci imaju različite mogućnosti u borbi sa problemima uzrokovanih pandemijom;
- Uticaj pandemije na cilj #16 (odnosi se na promociju pravednog, mirnog i inkluzivnog društva širom sveta) – širenje koronavirusa je skoro u potpunosti zaustavilo niz pravnih aktivnosti, jer su mnoge države uvele neki oblik vanrednog stanja na svojim teritorijama. Postupci su se vodili u hitnim slučajevima ili ako su od nacionalnog značaja. Protesti su organizovani širom sveta, kao odgovor nezadovljnih građana na mere protiv širenja koronavirusa. Gubitak prihoda usled gubitka radnih mesta, doveo je do povećanih tenzija u porodicama i sve učestalije porodično nasilje. Najviše su pogođeni siromašni, koji usled gubitka prihoda, nisu imali sredstava da potraže odgovarajući pravni lek. Sa druge strane, bogati su pomoću svojih konekcija sa moćnicima bili u mogućnosti da lakše izbegnu pravnu odgovornost. Nacionalistički politički pokreti i partije dobijaju sve veću podršku, dok se netrpeljivost prema migrantima povećava [4]. Dostizanje cilja #16 je komplikovan proces u kriznim vremenima. Ekonomska kriza Covid-19 dovela je do porasta broja beskućnika i gladi. Povezana anksioznost je, ironično, povećala prodaju oružja u zemljama poput SAD-a, jer je stanovništvo verovalo da će doći povećanog nasilja i izbijanja nereda. Takvo ponašanje nije retko tokom kriza, stoga vlade širom sveta treba da budu spremne na različite oblike izražavanja građanskog nezadovoljstva [14].

Prema [9] glavne lekcije naučene iz pandemije, koje ujedno mogu biti korisne smernice pri ostvarivanju COR su:

- Društvo treba da izvuče pouke iz pandemije u cilju izgradnje otpornijeg i jačeg društva, kako naredne krize u budućnosti ne bi ugrožavale napredak u ostvarivanju COR;
- Kratkoročne i dugoročne uticaje pandemije na COR treba proceniti i istražiti kako bi se formulisala jasna strategija oporavka od krize;
- „Zajednička odgovornost", „zajedničko delovanje" i „globalna solidarnost" treba da budu osnovni principi na kojima će se bazirati odgovor na društveno-ekonomske izazove;
- Redefinisanje uloge različitih stejkholdera u „novoj normalnosti" – borba protiv pandemije i njegov uticaj treba da uključi, pored vlada širom sveta, i međunarodnu zajednicu, privatni sektor, civilno društvo, pa čak i pojedince;
- Značaj humanitarnih i filantropskih aktivnosti – pandemija je pokazala koliko su humanitarni i filantropski pristupi na mikro nivou imali značajan uticaj u borbi protiv pandemije, posebno u pogledu mobilizacije resursa;
- U skladu sa osnovnim prinipima COR, globalno društvo treba da vodi posebnu brigu o najugroženijem društvu.

Autori [1, 6, 5, 7] su saglasni da lekcije naučene iz pandemije nude mogućnost za transformaciju društva i ekonomije, što uključuje promenu fokusa (od fokusa na ekonomskom rastu ka fokusu na stvaranju okvira za

inkluzivniji rast), tj. pandemija se posmatra kao prilika za stvaranje „održivije" ekonomije i društva. „Zeleni oporavak" se odnosi na akcije nakon krize koji će uzeti u obzir borbu protiv klimatskih promena i COR, a zahteva povezan i sveobuhvatan pristup u implementaciji strategija, kako bi države širom sveta izgradile otpornost na buduće premećaje. Iako će se plan svake države razlikovati, opšti principi bi okvirno trebalo da uključuju [15]:

- Investiranje u „zelene" inovacije;
- Promene u ponašanju i razmišljanju;
- Principe cirkularne ekonomije;

4. ZAKLJUČAK

Kriza pandemije COVID-19, kao najozbiljnija zdravstvena pretnja za globalnu zajednicu u 2020. godini, postala je centralno međunarodno pitanje. Veliki broj kompanija iz putničkog, turističkog, prehrambenog, poljoprivrednog i energetskog sektora, kao i obrazovni i zdravstveni sistemi širom sveta teško su pogođeni krizom. Posledično, pandemija Covid-19 predstavlja veliku pretnju po COR. Bogate i siromašne zemlje se bore sa problemima prouzrokovanim globalnim ekonomskim padom i negativnim društvenim pojavama. Postizanje transformativne vizije COR do 2030. zahteva preusmeravanje nacionalnih prioriteta većine zemalja ka dugoročnom, kooperativnom i ubrzanom delovanju. Sve što se radi tokom i nakon ove krize mora biti sa jakim fokusom na izgradnji ravnopravnijih, inkluzivnih i održivih ekonomija i društava koja su otpornija na različite globalne izazove kao što su pandemije, klimatske promene itd. Globalna kriza je pokazala značaj COR kao moćnog sredstva pomoću kojeg se može izgraditi „održivije" društvo. Prema [7] pandemija kao globalna pretnja, može se posmatrati kao globalna prilika koja pruža novi podsticaj ka ostvarenju COR.

S obzirom na ranu fazu istraživanja uticaja pandemije na COR, postoji ograničenje istraživanja u broju dostupnih naučnih radova koji se odnose na ovu oblast. Procene o uticaju pandemije na COR izvedeni su na osnovu raspoložive literature i opšteg društveno-ekonomskog uticaja. Pored toga, ispitani su samo oni ciljevi na koje je pandemija imala najveći uticaj.

LITERATURA

[1] Barbier, E. B., & Burgess, J. C. (2020). Sustainability and development after COVID-19. *World Development, 135: 105082*. doi:https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105082

[2] Chiesa, V., Antony, G., Wismar, M., & Rechel, B. (2021). COVID-19 pandemic: health impact of staying at home, social distancing and 'lockdown' measures—a systematic review of systematic reviews. *Journal of public health (Oxford, England)*. doi:10.1093/pubmed/fdab102

[3] Eklington, J. (1998). Partnerships from Cannibals with Forks: The Triple Bottom line of 21st Century Business. *ENVIRONMENTAL QUALITY MANAGEMENT, 8*(1), 37-51

[4] Gulseven, O., Al Harmoodi, F., Al Falasi, M., & Alshomali, I. (2020). How the COVID-19 Pandemic Will Affect the UN Sustainable Development Goals (SDGs)? *SSRN Electronic Journal*. doi:10.2139/ssrn.3592933

[5] He, H., & Lloyd, H. (2020). The impact of Covid-19 pandemic on corporate social responsibility and marketing philosophy. *Journal of Business Research, 116*, 176-182. doi: 10.1016/j.jbusres.2020.05.030

[6] Iwuoha, J. C., & Jude-Iwuoha, A. U. (2020). Covid-19: Challenge to SDG and Globalization. *Electronic Research Journal of Social Sciences and Humanities, 2*(3), 103-115.

[7] Leal Filho, W., Brandli, L. L., Salvia, A. L., Rayman-Bacchus, L., & Platje, J. (2020). COVID-19 and the UN Sustainable Development Goals: Threat to Solidarity or an Opportunity? *Sustainability, 12, 5343*. doi:10.3390/su12135343

[8] Manuel, T., & Herron, T. L. (2020). An ethical perspective of business CSR and the COVID-19 pandemic. *Society and Business Review, 15*(3), 235-253. doi:https://doi.org/10.1108/SBR-06-2020-0086

[9] Mukarram, M. (2020). Impact of COVID-19 on the UN Sustainable Development Goals (SDGs). *Strategic Analysis*. doi:10.1080/09700161.2020.1788363

[10] Ozili, P., & Arun, T. (2020). *Spillover of COVID-19: Impact on the Global Economy*. Munich Personal RePEc Archive

[11] Pajvančić, M., Petrušić, N., Nikolin, S., Vladisavljević, A., & Baćanović, V. (2020). *Rodna analiza odgovora na COVID-19 u Republici Srbiji.* Beograd: Misija OEBS-a u Srbiji i Ženska platfoma za razvoj Srbije.

[12] Purvis, B., Mao, Y., & Robinson, D. (2019). Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins. *Sustainability Science, 14*, 681-695. doi:https://doi.org/10.1007/s11625-018-0627-5

[13] Sarkis, J., Cohen, M. J., Dewick, P., & Schroder, P. (2020). A brave new world: Lessons from the COVID-19 pandemic for transitioning to sustainable supply and production. *Resources, Conservation & Recycling, 159*. doi:https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104894

[14] Seshaiyer, P., & McNeely C., L. (2020). The Impact of COVID-19 on the UN Sustainable Development Goals. *Contexts*.

[15] Shulla, K., Voigt, B. F., Cibian, S., Scandone, G., Martinez, E., Nelkovski, F., & Salehi, P. (2021). Effects of COVID-19 on the sustainable development goals (SDGs). *Discover Sustainability, 2*(1), 1-19, doi: https://doi.org/10.1007/s43621-021-00026-x

[16] United Nations (2000). *Millennium Summit, 6-8 September 2000, New York*. Preuzeto Januar 07, 2021 sa https://www.un.org/en/conferences/environment/newyork2000

[17] United Nations (2015). *United Nations Summit on Sustainable Development, 25-27 September 2015, New York*. Preuzeto Januar 07, 2021 sa https://www.un.org/en/conferences/environment/newyork2015

[18] Verma, A. K., & Prakash, S. (2020). Impact of COVID-19 on Environment and Society. *Journal of Global Biosciences, 9*(5), 7352-7363.

[19] World Commission on the Environment and Development (1987). *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press

[20] World Trade Organization (2021). *World trade primed for strong but uneven recovery after COVID-19 pandemic shock*. Preuzeto May 19, 2021 sa https://www.wto.org/english/news_e/pres21_e/pr876_e.htm

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

UČEŠĆE JAVNOSTI U PROCESU DONOŠENJA PLANOVA UPRAVLJANJA VODAMA

PUBLIC PARTICIPATION IN THE WATER MANAGEMENT PLANS ADOPTION PROCESS

MARIJANA MILETIĆ-RADIĆ[1]

[1] Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd, marijana.miletic-radic@jcerni.rs

Rezime: *U radu se naglašava direktna veza između principa učešća javnosti proklamovanih i zahtevanih Okvirnom direktivom o vodama EU (ODV) i postupaka sprovođenja procesa učešća javnosti tokom donošenja ili noveliranja planova upravljanja vodama. U analizi se naglašava značaj pravovremenog sprovođenja sva tri, ODV-om predviđena, nivoa učešća javnosti – informisanja, konsultovanja i aktivnog učešća javnosti. U radu se naglašava značaj dostupnosti informacija koje su u vezi sa procesom konsultacija i učešća javnosti, uključujući sve informacije o procesu konsultacija, postignutim dogovorima i oblastima neslaganja. U radu se ističe međuzavisnost ovakve dostupnosti informacija i odgovornosti aktera koji učestvuju u procesu donošenja odluka, što utiče na jačanje svesti o relevantnim pitanjima i shvatanju institucionalne i pojedinačne odgovornosti, uloge i mogućnosti participiranja u rešavanju datih pitanja.*

Ključne reči: *Učešće javnosti, Informisanje, Konsultovanje, Plan upravljanja vodama, Okvirna direktiva o vodama.*

Abstract: *The paper emphasizes the direct connection between the public participation principles declare and required by the EU Water Framework Directive (WFD) and the procedures for implementing the public participation process during the water management plans adoptions or updates. The analysis emphasizes the importance of implementation in a timely manner of all three levels of public participation provided by the WFD - information, consultation, and active public participation. The paper emphasizes the importance of the availability of information related to the consultation process and public participation, including all information on the consultation process, agreements reached, as well as the areas of disagreement. The paper also emphasizes the linkages of such availability of information and responsibility of actors involved in the decision-making process, which affects the strengthening of awareness of relevant issues and understanding of institutional and individual responsibilities, roles and opportunities to participate in solving issues.*

Keywords: *Public participation, Information, Consultation, Water Management Plan, Water Framework Directive.*

1. UVOD

Vodno zakonodavstvo EU je od velikog značaja ne samo za države članice, već i za sve države koje sarađuju ili pretenduju da postanu članice EU. Najvažniji dokument EU u oblasti voda je Okvirna direktiva o vodama (ODV). Ona predstavlja osnovni zakonski instrument za postizanje sveukupne zaštite vodnih resursa, uz primenu principa integralnog upravljanja vodama, što je glavni cilj evropske politike o vodama. ODV predstavlja takozvanu „krovnu“ direktivu, koja integriše ostale direktive koje su vezane za upravljanje vodama.

U kontekstu ODV, učešće javnosti se posmatra kao sredstvo za unapređenje upravljanja vodama putem boljeg planiranja i informisanja prilikom donošenja odluka. Od aktivnog uključivanje svih zainteresovanih strana u razmatranju i odlučivanju očekuje se da doprinese stvaranju podsticajnog okruženja za zainteresovane strane, da stvori uslove za pristupačnost i uzajamno poštovanje. Rezultat treba da bude transparentan proces donošenja odluka i stvaranje poverenja među učesnicima, što može da dovede do boljeg prihvatanja politika od strane zainteresovanih strana.

Kako bi se osiguralo efikasno učešće javnosti, sve zainteresovane strane treba da budu predstavljene u telima koja vrše odlučivanje, uključujući predstavnike vlasti, struke, korisnika, nevladinih organizacija i dr. Informacije u vezi sa procesom konsultacija i učešća javnosti treba da budu u potpunosti dostupne zainteresovanim stranama, odnosno da sadrže sve podatke o procesu konsultacija, postignutim dogovorima,

ali i oblastima neslaganja. Ovakva dostupnost informacija je veoma važna, jer povećava odgovornost zainteresovanih strana koje učestvuju u procesu donošenja odluka i obezbeđuje podršku implementaciji postignutih dogovora.

2. MOGUĆE DIMENZIJE UČEŠĆA JAVNOSTI U OBLASTI UPRAVLJANJA VODAMA

Učešće javnosti, kao proces putem kojeg je bilo koja osoba ili grupa koja ima interesa ili udela u temi vezanoj za vodu uključena u povezane aktivnosti i procese donošenja i sprovođenja odluka [1] sastavni je element integralnog upravljanja vodama.

Učešće javnosti u donošenju odluka u oblasti voda, predstavlja jedno od osnovnih postulata demokratije. Ono se može opisati kao prihvaćena i očekivana praksa, za koju se očekuje da će dovesti do boljih odluka i osigurati pravičnost zadovoljavajući ljudsko razumevanje demokratije i njihovo „pravo“ da učestvuju u odlukama koje ih se tiču [2].

Efikasno učešće javnosti i angažovanje zainteresovanih strana je od suštinskog značaja za održivo upravljanje vodama i tu treba napraviti distancu između stručne javnosti i opšte javnosti. U tom kontekstu, primetno je da strategije za angažovanje stručne javnosti, treba da se zasnivaju na učestaloj interakciji, iz koje bi proizilazilo shvatanje kritičnih pitanja kroz razumevanje i socijalno učenje, kao i pomoć u premošćavanju distance između strana u procesu participacije [3]. Ta vrsta javnosti u sektoru upravljanja vodama su stručne i naučne institucije i istaknuti stručnjaci i naučni radnici. Primećuju se nastojanja građana, stručnjaka i drugih aktera iz privatnog, neprofitnog i nevladinog sektora da sve češće i direktnije budu uključeni u politike i procese donošenja odluka u oblasti upravljanja vodama.

Tradicionalni pristupi kreiranja i sprovođenja odluka odozgo na dole izgubili su legitimitet i zamenjeni su deliberativnim i inkluzivnim postupcima i procesima učešća javnosti [1].

Bez obzira da li učešće javnosti u sektoru voda postaje institucionalno obeležje, podrška javnim politikama u oblasti voda na terenu ili snaga društvene akcije, ova tranzicija priznaje učesnicima u procesu odlučivanja u sektoru voda njihovu važnost i uloge i otvara prostor za istraživanje sredstava, efikasnosti angažovanja zainteresovanih strana i uloge učešća različitih vrsta javnosti u održivom upravljanju vodama i ostvarivanju predviđenih ciljeva.

3. UČEŠĆE JAVNOSTI PREMA MEĐUNARODNIM KONVENCIJAMA I OKVIRNOJ DIREKTIVI O VODAMA EVROPSKE UNIJE

Značaj učešća javnosti prilikom kreiranja planskih dokumenata u sektoru voda naglašen je nizom međunarodnih konvencija, među kojima se posebno ističu:

- Konvencija o dostupnosti informacija, učešću javnosti u donošenju odluka i pravu na pravnu zaštitu u pitanjima životne sredine (Arhuska konvencija), koju je Republika Srbija ratifikovala 2009. godine. Ona predstavlja jedan od najnaprednijih međunarodnih dokumenata koji tretiraju pitanje učešća javnosti u oblasti životne sredine. Konvencija zahteva da se informacijama koje se odnose na životnu sredinu upravlja na transparentan način, kao i da se informacije učine dostupnim javnosti i predstavnicima svih relevantnih zainteresovanih strana, kao i da se obezbedi njihovo učešće u formulisanju politike, uz poštovanje njihovog prava na život u zdravoj životnoj sredini [9];
- Helsinška konvencija (Konvencija o zaštiti i korišćenju prekograničnih vodotokova i međunarodnih jezera), koju je Republika Srbija ratifikovala 2010. godine, za osnovni cilj ima sprečavanje, kontrolu i smanjenje zagađivanja voda i bilo kakvog prekograničnog uticaja, tj, stvaranje uslova za razumno i pravično korišćenje prekograničnih voda [10];
- Espo konvencija, čiji je cilj osiguranje održivog razvoja putem međunarodne saradnje u proceni verovatnih uticaja predloženih aktivnosti na životnu sredinu [11];
- Konvencija o saradnji na zaštiti i održivom korišćenju reke Dunav, (Konvencija o zaštiti reke Dunav) [5] koju je potpisalo 11 podunavskih zemalja i EU 29. juna 1994. godine u Sofiji. Republika Srbija je od 2003. godine punopravni član Međunarodne komisije za zaštitu reke Dunav (ICPDR). Svojom politikom okrenutosti ka javnosti, ICPDR podržava aktivno uključivanje zainteresovanih strana i civilnog društva na svim nivoima svog rada. To se postiže prvenstveno na dva načina: aktivnim uključivanjem organizacija posmatrača na nivou sastanaka stručnih grupa i plenarnog sastanka; i kroz aktivnosti koje osiguravaju visok nivo javnih konsultacija u izradi planova - poput radionica sa zainteresovanim stranama, onlajn anketa ili javnih poziva za podnošenje komentara na nacrte dokumenata. Učešće javnosti i javne konsultacije tokom donošenja Plana upravljanja vodama za sliv reke Dunav i Plana upravljanja zaštitom od poplava nalaze se na visokim pozicijama u radu ICPDR-a. U ove aktivnosti države članice su intenzivno uključene, služe se matricama komunikacije koje kreira

Komisija, ali kako bi se učešćem javnosti podržalo i osiguralo održivo upravljanje vodama, aktivnosti i mehanizmi za učešće javnosti zahtevaju i dodatno planiranje i razvijanje nacionalnih institucionalnih i društvenih kapaciteta u skladu i prema međunarodnim normama, nacionalnim i lokalnim potrebama.

- Okvirni sporazum za sliv reke Save [6] Republika Srbija je ratifikovala 2002. godine. Članstvom u Međunarodnoj komisiji za sliv reke Save (ISRBC) Srbija učestvuje u uspostavljanju međunarodnog režima plovidbe na reci Savi i njenim pritokama, održivog upravljanja vodama i preduzimanju svih zaštitnih i preventivnih mera od opasnosti od poplava i akcidentnih situacija od zagađenja. Organizovanjem različitih aktivnosti usmerava se pažnja javnosti na ulogu koju reka Sava i njene pritoke imaju u životu stanovništva na slivu, u vezi je sa podizanjem javne svesti o važnosti prekogranične saradnje i dogovora o načinima korišćenja i zaštite voda u slivu reke Save.

Veliki značaj za primenu principa učešća javnosti u oblasti voda ima implementacija odredaba o javnosti Okvirne direktive o vodama [7] i Direktive o poplavama [8].

Usvajanjem ODV vodni resursi na teritoriji EU postali su zajednička briga cele EU, što je stvorilo obavezu svake države članice, kao i onih država koje pretenduju na članstvo u EU, da harmonizuju legislativni, tehnički i ekonomski pristup upravljanju vodama (Republička direkcija za vode). Takođe, ovom Direktivom bliže su propisane obaveze vezane za učešće javnosti u sektoru voda, koje proističu iz Arhuske konvencije, a to su osiguravanje, primena i podsticanje tri osnovna vida učešća javnosti: informisanja, konsultovanja i aktivnog učešća javnosti.

Koncept učešća javnosti prema ODV zasniva se na obavezi obaveštavanja i konsultovanja javnosti (čl. 14 ODV). Zemlje članice Evropske unije obavezne su da podstiču aktivno učešće svih zainteresovanih strana u izradi i implementaciji planova upravljanja vodama. Direktiva propisuje da javnost treba da bude uključena prilikom izrade, preispitivanja i ažuriranja planova upravljanja rečnim slivom, na taj način, što će države članice biti u obavezi da učine dostupnim za primedbe javnosti:

- raspored aktivnosti i plan izrade, najmanje tri meseca pre početka primene plana,
- preliminarni pregled značajnih pitanja za upravljanje vodnim područjem, najmanje dve godine pre početka primene plana,
- nacrt finalne verzije plana, najmanje godinu dana pre početka primene plana.

Kada javnost zahteva, treba da se omogući pristup svim dokumentima korišćenim prilikom izrade plana upravljanja vodama. Javnosti se mora ostaviti period od najmanje šest meseci da može da iznese svoje mišljenje po pitanju svakog od navedenih dokumenata. U toku ovog perioda predstavnici javnosti mogu da se uključe u raspravu, da izlože svoje komentare, analize i predloge, kako bi se plan upravljanja unapredio. Informisanje šire javnosti je važno kako bi se osiguralo ili olakšalo njeno učešće u procesu planiranja. ODV predviđa da treba podsticati takvu aktivnu uključenost koja će osigurati konsultacije i pristup pozadinskim informacijama. Aktivna uključenost nije isto što i konsultacije. Konsultacije znače da javnost može reagovati na planove i predloge koje razvijaju ovlašćeni organi, dok aktivna uključenost podrazumeva da zainteresovana javnost može aktivno učestvovati u procesima raspravljanja o određenim pitanjima i doprinositi njihovom rešavanju.

4. UČEŠĆE JAVNOSTI U PROCESU DONOŠENJA PLANA UPRAVLJANJA VODAMA U REPUBLICI SRBIJI

Plan upravljanja vodama je osnovni instrument za implementaciju principa Okvirne direktive o vodama. Njime se postavljaju strateški okviri za integralno upravljanje vodama. Plan se donosi sa periodom važenja od 6 godina, nakon čega se vrši njegova revizija, izmene i dopune.

Plan upravljanja vodama na teritoriji Republike Srbije usvaja Vlada Republike Srbije na predlog Ministarstva poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede, a njegove elemente izrađuju Javna vodoprivredna preduzeća „Srbijavode“ i „Vode Vojvodine“ uz koordinaciju Ministarstva poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede, Republičke direkcije za vode (RDV) [4]. U toku izrade Plana upravljanja vodama učestvuju i drugi akteri, prema svojim nadležnostima u oblasti upravljanja vodama i zaštite životne sredine.

Shodno odredbama Okvirne direktive o vodama, javnost može da pristupi, u određenim periodima, dokumentima i informacijama na osnovu kojih se priprema Plan upravljanja vodama.

Pravni okvir koji definiše uslove, način i obim učešća javnosti i pristup informacijama, a koji se odnosi na planove upravljanja vodama u Republici Srbiji uključuje određeni broj akata.

Prema Ustavu Republike Srbije i Zakonu o slobodnom pristupu informacijama od javnog značaja [14], svako ima pravo da bude istinito, potpuno i blagovremeno obaveštavan o pitanjima od javnog značaja. Sredstva javnog obaveštavanja su obavezna da to pravo poštuju. Zakonom se propisuje i da svako ima pravo

na pristup podacima koji su u posedu državnih organa i organizacija kojima su poverena javna ovlašćenja, u skladu sa zakonom. Posebno je značajna figura poverenika za informacije od javnog značaja kao zasebnog i nezavisnog državnog organa, koji ima ovlašćenja i obaveze da vodi brigu o ostvarivanju prava na pristup informacijama.

Obaveze koje su države preuzele usvajanjem Arhuske konvencije i ODV primenjuju se kroz Zakon o vodama [16] putem načela koje kaže da javnost ima pravo na informacije o stanju voda i radu nadležnih organa u oblasti voda, kao i pravo na uključenje u procese pripreme i donošenja planova upravljanja vodama, ali i kontrole njihovog izvršenja.

Ostali zakoni koji se u Republici Srbiji primenjuju, a imaju značaj za implementiranje principa učešća javnosti prilikom donošenja planova upravljanja vodama su: Zakon o meteorološkoj i hidrološkoj delatnosti [12] koji propisuje da je Republička organizacija nadležna za hidrometeorološke poslove dužna da omogući korišćenje rezultata monitoringa svim zainteresovanim stranama pravnim i fizičkim licima bez naknade; Zakon o zaštiti životne sredine [17] koji propisuje da svako ima pravo da bude obavešten o stanju životne sredine i da učestvuje u procesu donošenja odluka; Zakon o strateškoj proceni uticaja na životnu sredinu [15] po kome je za izradu planova upravljanja vodama i ostalih planskih dokumenata, obavezna izrada strateške procene u skladu sa propisima o zaštiti životne sredine, koji sa svoje strane takođe primenjuju princip učešća javnosti; Zakonom o planiranju i izgradnji [13] koji propisuje obavezu da se planski dokument, objavi u službenom glasilu Republike Srbije, ali i da u elektronskom obliku, putem interneta bude dostupan široj javnosti.

4.1 Mere koje se preduzimaju u cilju ostvarivanja zahteva principa učešća javnosti tokom donošenja Plana upravljanja vodama

Prema podacima Republičke direkcije za vode, koji su dostupni na zvaničnoj internet strani RDV, proces učešća javnosti tokom izrade Plana upravljanja vodama Republike Srbije 2021-2027. godine sprovedi se putem održavanja konferencija zainteresovanih strana, objavljivanjem dokumenata na internet stranici i pozivanjem zainteresovane javnosti na aktivno učešće putem dostavljanja komentara na dokumenta i učešća na konferencijama [4].

Prva konferencija zainteresovanih strana održana je 17. decembra 2019. godine i na njoj su predstavljena dva dokumenta: „Predlog programa rada i dinamika izrade Plana upravljanja vodama na teritoriji Republike Srbije 2021-2027“, kao i „Predlog izveštaja o značajnim pitanjima vezanim za upravljanja vodama u Republici Srbiji“.

Predstavnici zainteresovanih strana mogli su da učestvuju na radionicama koje su vodili stručnjaci iz javnih vodoprivrednih preduzeća. Konsultacije su se odvijale tako što su se sa predstavnicima ministarstava, pokrajinskih sekretarijata, stručnih organizacija, fakulteta, nevladinih organizacija i drugima vodili razgovori o problemima, nedoumicama i predviđenim i potencijalnim rešenjima za sledeće teme: Organsko zagađenje površinskih voda; Zagađenje površinskih voda nutrijentima; Zagađenje površinskih voda opasnim supstancama; Hidromorfološki pritisci; Pritisci na kvantitet i kvalitet podzemnih voda. Javna rasprava za navedena dokumenta sprovedena je u periodu od 15.10.2019. do 30.04.2020. godine.

Druga konferencija zainteresovanih strana održana je 15. septembra 2020. godine. Osnovni cilj konferencije bio je upoznavanje stručne javnosti sa napretkom na izradi Plana. Proces konsultacija obuhvatio je održavanje tri prezentacije o: programu mera, analizi pritisaka i uticaja, proceni rizika i statusu površinskih i podzemnih voda. Nakon prezentacija stručnjaka iz javnih vodoprivrednih preduzeća, učesnici su bili u mogućnosti da komentarišu i postavljaju pitanja institucijama nadležnim za izradu Plana.

Treća konferencija zainteresovanih strana, prema planu RDV, biće održana nakon završetka Nacrta Plana upravljanja vodama i njegovog objavljivanja na internet stranici RDV.

Proces izrade Plana je transparentan, sva dokumenta izrađena u procesu izrade Plana objavljena su na internet stranici RDV. Takođe u sklopu međunarodne saradnje Republike Srbije, internet stranica Republičke direkcije za vode, kao i javnih vodoprivrednih preduzeća povezane su sa internet stranom Međunarodne komisije za zaštitu reke Dunav, kao i sa drugim veb stranicama vezanim za primenu ODV-a. Na ovaj način promoviše se i javnosti u Republici Srbiji približava veoma važan proces učešća javnosti u postupku ažuriranja Plana upravljanja vodama na slivu reke Dunav 2021. g. i Plana upravljanja rizicima od poplava na slivu Dunava 2021. g., koji veoma posvećeno i sa velikim odzivom javnosti, sprovodi Međunarodna komisija za zaštitu reke Dunav.

5. ZAKLJUČAK:

Aktivno uključivanje zainteresovane javnosti u cilju transparentnog i dinamičnog procesa donošenja odluka u oblasti upravljanja vodama, a posebno u procesu donošenja ili ažuriranja planova upravljanja vodama, treba da se sprovodi kroz kontinuirani dijalog na više nivoa, između institucija Republike Srbije, autonomne pokrajine i lokalnih samouprava, javnih vodoprivrednih preduzeća, organizacija, udruženja, stručne i naučne javnost i građana, što će dati veliki doprinos u pripremi i donošenju planova upravljanja vodama i implementaciji Okvirne direktive o vodama. Posebna pažnja treba da se usmeri u pravcu jačanja kapaciteta državne uprave u oblasti voda za procese uključivanja javnosti u odlučivanje.

U pogledu poboljšanja komunikacije i unapređenja procesa učešća javnosti prilikom pripreme ili revizije planova upravljanja vodama, mogu se primeniti sledeće mere: kreiranje kratkih i jasnih informacija u vezi planova od strane donosioca odluka; precizno određenje odgovornih za podatke u planovima; preciziranje odgovornih institucija za upravljanje procesom učešća javnosti; unapređivanje svesti i sprovođenje obuka zaduženih planera i donosilaca odluka za uključivanje zainteresovanih javnosti; kreiranje specifičnih pristupa različitim ciljnim javnostima uz pripremanje jedinstvenih komunikacionih paketa za različite javnosti; veće uključivanje stručne i naučne javnosti; organizovanje različitih tematskih događaja u koje će se uključiti specifične zainteresovane javnosti; pripremanje kratkih izvoda iz planova, radi prijemčivosti široj javnosti; povećavanje medijske promocije i plasiranje jasnih poruka upućenih široj javnosti; korišćenje prednosti savremenih sredstava komunikacije, interneta i društvenih medija kao kanala komunikacije.

LITERATURA:

[1] Akhmouch, Aziza; Clavreul, Delphine. (2016), Stakeholder Engagement for Inclusive Water Governance: "Practicing What We Preach" with the OECD Water Governance Initiative, Water 8, no. 5: 204. https://doi.org/10.3390/w8050204

[2] Anna Lukasiewicz & Claudia Baldwin (2017) Voice, power, and history: ensuring social justice for all stakeholders in water decision-making, Local Environment, 22:9, 1042-1060, https://doi.org/10.1080/13549839.2014.942261

[3] Mott Lacroix, Kelly E.; Megdal, Sharon B. (2016) Explore, Synthesize, and Repeat: Unraveling Complex Water Management Issues through the Stakeholder Engagement Wheel, *Water* 8, no. 4: 118. https://doi.org/10.3390/w8040118

[4] Republika Srbija, Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede, Republička direkcija za vode, Dokumenta dostupna javnosti vezano za postupak pripreme i donošenja Plana upravljanja vodama na teritoriji Republike Srbije 2021-2027, poslednji put pristupljeno 14.06.2021. godine, putem linka: http://www.rdvode.gov.rs/dokumenta-primena-okvirne-direktive.php

[5] The International Commission for the Protection of the Danube River (ICPDR), Convention on Cooperation for the Protection and Sustainable use of the Danube River (Danube River Protection Convention), preuzeto 14.06.2021. godine sa: https://www.icpdr.org/main/icpdr/danube-river-protection-convention

[6] The International Sava River Basin Commission (ISRBC), Zakon o ratifikaciji Okvirnog sporazuma o slivu reke Save, Protokola o režimu plovidbe uz Okvirni sporazum o slivu reke Save i Sporazuma o izmenama okvirnog sporazuma o slivu reke Save i Protokola o režimu plovidbe uz Okvirni sporazum o slivu reke Save, preuzeto 14.06. 2021. godine sa: http://www.savacommission.org/dms/docs/dokumenti/documents_publications/basic_documents/fasrb_srp.pdf

[7] The Publications Office of the European Union, © European Union, 1998-2021, Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000, Date of document: 20.11.2014, preuzeto 14.06.2021. godine sa: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:02000L0060-20141120

[8] The Publications Office of the European Union, © European Union, 1998-2021, Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks, Date of document: 23.10.2007, preuzeto 14.06.2021. godine sa: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2007/60/oj

[9] United Nations Economic Commission for Europe, Convention on Access to Information, Public Participation in Decision-Making and Access to Justice in Environmental Matters, preuzeto

14.06.2021. godine sa:
http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/pp/documents/cep43e.pdf

[10] United Nations Economic Commission for Europe, Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context, preuzeto 14.06.2021. godine sa: https://unece.org/fileadmin/DAM/env/eia/documents/legaltexts/Espoo_Convention_authentic_ENG.pdf

[11] United Nations Economic Commission for Europe, Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes, preuzeto 14.06.2021. godine sa: http://www.unece.org/env/water/text/text.html

[12] Zakon o o meteorološkoj i hidrološkoj delatnosti („Sl. glasnik RS“, br. 88/2010)

[13] Zakon o planiranju i izgradnji („Sl. glasnik RS“, br. 132/2014, 145/2014, 83/2018, 31/2019, 37/2019, 9/2020)

[14] Zakon o slobodnom pristupu informacijama od javnog značaja („Sl glasnik RS“, br. 120/2004, 54/2007, 104/2009 i 36/2010)

[15] Zakon o strateškoj proceni uticaja na životnu sredinu ("Sl.glasnik RS", br. 135/2004 i 88/2010).

[16] Zakon o vodama („Sl glasnik RS“, br. 30/2010, 93/2012, 101/2016, 95/2018)

[17] Zakon o zaštiti životne srednine („Sl. glasnik RS“, br. 135/2004, 36/2009, 36/2009 72/2009, 14/2016, 76/2018, 95/2018)

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

KOLEKTIVNE AKCIJE U EKOLOŠKIM DILEMAMA: REZULTATI EKSPERIMENTA

COLLECTIVE ACTIONS IN ENVIRONMENTAL DILEMMAS: EXPERIMENTAL EVIDENCE

DRAGAN MIRKOVIĆ[1], MARIJA KUZMANOVIĆ[2]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, dm20203087@student.fon.bg.ac.rs
[2] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, marija.kuzmanovic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Eksploatacija zajedničkih dobara često dovodi do društvenih dilema u kojima pojedinci biraju da li da preterano iskorištavaju opšte dobro kako bi maksimizirali kratkotrajne lične koristi ili da se uzdrže od toga radi dugoročne društvene koristi i održivosti resursa. Slična dilema se javlja i u slučaju ulaganja u zaštitu zajedničkog dobra. Cilj ovog rada je da se empiriskim putem istraži u kojoj meri je kod mlađih generacija razvijena svest o postavljenim problemima, koji tip ponašanja dominira u nekim realnim i tri hipotetičke situacije, kao i da se primenom koncepata teorije igara pronađe objašnjenje datih pojava. Za simulaciju je korišćena tzv. Dilema zajedničkog dobra. Pored empirijskih rezultata, predstavljeno je i racionalno rešenje igre, a zatim su za različite parametre modela identifikovane evoluciono stabilne strategije. Empirijski rezultati su upoređeni sa rezultatima koje daje teorija igara.*

Ključne reči: *Dilema zajedničkog dobra, ekološka svest, racionalno ponašanje, evoluciono stabilna strategija.*

Abstract: *The exploitation of common goods often leads to social dilemmas in which individuals choose whether to overexploit them in order to maximize short-term personal benefits or to refrain from it for long-term social benefits and resource sustainability. A similar dilemma arises in the case of investing in the common good protection. The aim of this paper is to empirically investigate the extent to which younger generations have developed awareness of these problems, which type of behavior dominates in some real and three hypothetical situations, as well as to apply game theory concepts to find an explanation for these phenomena. The so-called Commons Dilemma was used for the simulation. In addition to the empirical results, a rational solution of the game was presented, and then an evolutionarily stable strategies for different model parameters were identified. Finally, empirical results are compared with those proposed by game theory approach.*

Keywords: *Commons Dilemma, environmental awareness, rational behavior, evolutionarily stable strategy.*

1. UVOD

Opšta dobra, poput vode, vazduha i zemljišta, zahtevaju dozu samokontrole kako bi se osigurala njihova održiva eksploatacija, što se u praksi često pokazuje nedostižnim. Svedoci smo brojnih ekoloških problema, čiji broj neprestano raste, a posledice su sve veće. Prirodni resursi se intenzivno iscrpljuju radi ispunjavanja čovekovih potreba. Postavlja se pitanje da li je u pitanju iracionalnost, egoističnost, sebičnost ljudi ili je njihovo ponašanje ipak racionalno, iako dugoročno vodi ka kolektivno lošem ishodu. Ponašanje pojedinaca u ovakvim društvenim situacijama se može delimično objasniti primenom koncepata teorije igara. Donošenjem različitih odluka vezanih za sopstvene aktivnosti, ljudi utiču na odluke drugih pojedinaca i na taj način ostvaruju međusobnu interakciju. Uticaji koje pojedinci ostvaruju jedni na druge mogu se zasnivati na saglasnim interesima i dobroj volji, ali isto tako mogu biti zasnovani i na konfliktnim ili delimično konfliktnim interesima. Ovakva neizvesnost u odlučivanju naziva se igrom, a nauka čiji je zadatak proučavanje ovakvih problema teorijom igara.

Osnovna pretpostavka teorije racionalnog izbora je da čovek donosi odluku na osnovu sopstvenih preferencija, koje mogu da budu individualističke, prosocijalne ili altruističke. Pod terminom racionalan igrač podrazumeva se svaki igrač koji bira svoju najbolju strategiju, tj. strategiju koju mu donosi najveću moguću korist u odnosu na sve ostale strategije, uzevši u obzir da i drugi igrači isto razmišljaju. Iz date pretpostavke sledi da će svaki racionalan igrač igrati sebično i gledati samo sopstvenu korist, što u mnogim situacijama vodi ka društveno lošem rešenju. Eksperimentalnim putem je uočeno da se određen procenat

igrača ne ponaša individualno racionalno i odlučuje se za saradnju u cilju ostvarivanja društvene dobiti, a time i lične. Neki pojedinci su prirodno spremni na saradnju dok su drugi vremenom naučeni ili primorani, jer samo tako mogu da ostvare lične ciljeve. Teorija reciprociteta dokazuje da ljudi žele da sarađuju, ali da očekuju i saradnju sa druge strane.

Cilj ovog rada je da se putem empiriskog istraživanja ispita u kojoj meri je kod mlađih generacija razvijena svest o postavljenim problemima, koliko su spremni da pomognu rešavanju ekoloških problema na globalnom nivou i koliko smatraju to uopšte bitnim u svakodnevnom životu. Pored toga, sproveden je niz eksperimenta koji u osnovi predstavljli simulaciju tzv. dileme zajedničkog dobra, čiji cilj je bio da se istraži ponašanje ispitanika u konkretnim situacijama.

2. TRAGEDIJA ZAJEDNIČKOG DOBRA

Dilema zajedničkog dobra (*Commons Dilemma*) ili kako se još zove Tragedija zajedničkog dobra (*Tragedy of Commons*), pokriva mnoge sfere naših života i opisuju one situaciji unutar sistema nedeljivih resursa gde individualni korisnici deluju nezavisno i ponašaju se u skladu sa sopstvenim interesom, a koji je suprotan opštem dobru svih korisnika (Kuzmanović, 2017). Pojam je prvi put pomenut u eseju Viktorijanskog ekonomiste Vilijam Foster Lojda 1833. godine, ali je postao široko poznat nakon što je ekolog Garet Hardin 1968. godine objavio članak u časopisu *Science* (Hardin, 1968), upozoravajući na problem prekomernog iscrpljivanja prirodnih resursa.

Tragedija zajedničkog dobra javlja se kako kod prekomernog trošenja prirodnih resursa, tako i slučaju zagađenja životne okoline, koje dalje prouzrokuje klimatske promene i destabilizuje ekološku ravnotežu. U slučaju zagađenja životne okoline, ne radi se o prekomernom korišćenju, već o nanošenju štete zajedničkom dobru. Razlog često leži u tome da racionalna osoba smatra da će se troškovi prouzrokovani sopstvenim zagađivanjem rasporediti na druge ljude, ali kako to misle i ostali, zatvara se krug uništavanja zajedničkog dobra. Dilema zajedničkog dobra je u osnovi Dilema zatvorenika sa više igrača. Spada u grupu igara sa kolektivnim akcijama, a predstavlja i tipičan primer društvene dileme. Pojava koja se javlja u društvenim dilemama je poznata pod nazivom fri rajding (*free-riding*), a označava ponašanje ljudi koji ne doprinose ili manje doprinose zajedničkom dobru od ostalih, ali koriste dobrobiti istog.

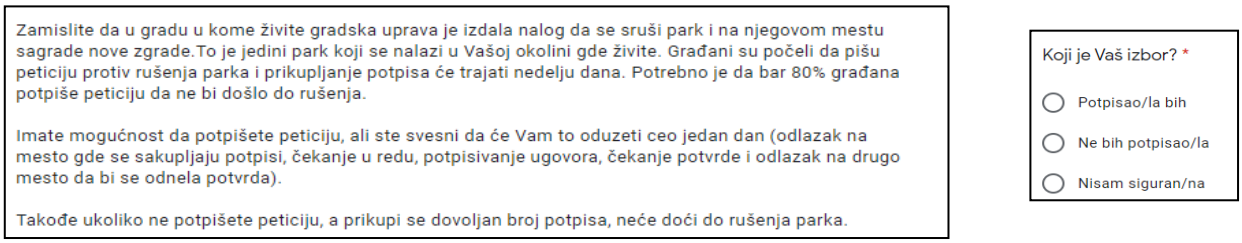
Istraživanje mogućnosti samoupravljanja zajedničkim resursima i faktora koji utiču na ponašanje pojedinaca u dilemi zajedničkog dobra, dobija sve veću pažnju u naučnoj literaturi. Gächter i sar. (2017) eksperimentalnim putem zaključuju da je, čak i u slučaju identičnih podsticaja, saradnja u cilju održanja postojećeg zajedničkog dobra manje verovatna nego u slučaju obezbeđivanja novog dobra. Autori dalje navode da se podsticaji za izbegavanje „tragedije zajedničkog dobra“ moraju usaglasiti sa reciprocitetom specifičnim za dilemu. Arvanitidis i Nasioka (2018) su ekpserimentalnim putem na uzorku od 77 studenata u Grčkoj, pokazali da pojedinci u zajedničkim dilemama nisu uvek usko ograničeni na lični interes, i da komunikacija licem u lice u okviru malih grupa omogućava artikulisanje mehanizama koji olakšavaju saradnju i omogućavaju postizanje rezultata koji su društveno efikasni. Jusup i sar. (2020) su u cilju razumevanja i karakterizacije ponašanja pojedinaca u ekološkim sistemima, sproveli eksperiment u kome učesnici ostvaruju dobit od seče virtualne šume osetljive na prekomerno iskorišćavanje. Rezultati njihove studije ukazuju na to da zajednička dobra postaju žrtve obrazaca ponašanja pojedinaca, nezavisno od njihovog uzrasta, obrazovanja i kulture. Liu i Hao (2020) su istraživali ulogu i uticaj lidera na ekološki odgovorno ponašanje pojedinaca koristeći eksperiment sa prekomernim morskim ribolovom kao dilemom zajedničkog dobra. Njihovi nalazi sugerišu da pretpostavka o položaju lidera ohrabruje ljude da zaštite resurse zajedničkog dobra, posebno u kritičnim situacijama.

3. EMPIRIJSKA STUDIJA

Empirijsko istraživanje je sprovedeno putem onlajn upitnika koji je sadržao četiri celine. Prvu celinu su činila pitanja u vezi sa socio-demografskim karakteristikama ispitanika, poput pola, godina starosti, trenutnog mesta prebivališta, stečenog nivoa obrazovanja i trenutnog radnog statusa.

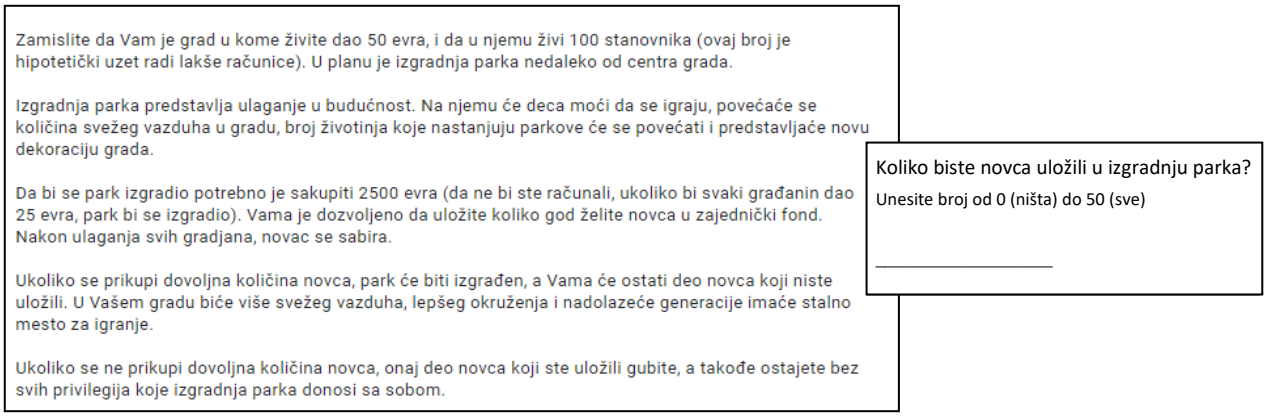
Drugi deo upitnika sadržao je niz izjava vezanih za nivo ekološke svesti ispitanika. Od ispitanika se očekivalo da na skali od 1 do 5 ocene u kojoj meri se slažu sa datom izjavom. Ocena je 1 je podrazumevala da se ispitanik apsolutno ne slaže sa datom izjavom, dok je ocena 5 označavala da se ispitanik u potpunosti slaže sa datom izjavom. Neke od izjava obuhvaćene studijom su: „Sebe smatram ekološki svesnom osobom“, „Na moje ekološko ponašanje utiče ponašanje drugih u mom okruženju“ i slično. Narednim delom upitnika ispitivalo se ponašanje ispitanika u skladu sa konkretnim situacijama. Situacije su opisivale svakodnevno ponašanje, a na osnovu odgovora moguće je zaključiti da li i u kojoj meri je ponašanje ispitanika potkrepljeno prethodnim izjavama.

Poslednji deo upitnika sadržao je tri scenarija bazirana na dilemi zajedničkog dobra. Prvi scenario se odnosio na potpisivanje peticije u cilju sprečavanja rušenja parka (Slika 1). Na osnovu ovog eksperimenta je moglo da se zaključi koliko je zajednica spremna da se odrekne nematerijalnih stvari za bolje sutra, ali i koliko je svaki pojedinac spreman da učestvuju u ostvarivanju kolektivnog cilja.



Slika 1: Scenario 1

U drugom delu eksperimenta, ispitanici su stavljeni u hipotetičku situaciju, u kojoj im je grad poklonio 50 evra sa napomenom da mogu bilo koju deo tog novca da ulože u zajednički fond za izgradnju parka, ali da će park biti izgrađen samo ako se prikupi određena količina novca, dok u suprotnom sve što je uplaćeno propada. Opis ovog scenarija dat je na slici 2. U trećem delu eksperimenta je ponovljen drugi scenario, ali je ispitanicima ovoga puta rečeno da raspolažu sa 30 evra. Cilj je bio da se utvrdi da li će i na koji način dodeljen iznos uticati na promenu ponašanja ispitanika.



Slika 2: Scenario 2

4. REZULTATI EKSPERIMENTA

U istraživanju je učestvovalo 116 ispitanika, od kojih je 50 (43.1%) bilo muškog pola, a 66 (56,9%) ženskog pola. Najveći broj ispitanika su bili studenti (77.6%), zaposlenih je bilo znatno manje (12.1%), a preostalo su činili nezaposleni. Što se tiče starosti ispitanika, shodno planu istraživanja, 82.8% su bili uzrasta od 21 do 25 godina. Najveći deo ispitanika bio je sa prebivalištem u Beogradu (64.6%), a samo 8% u selima.

4.1. Stavovi ispitanika

U tabeli 1 je data raspodela ocena za nivo saglasnosti sa izjavama vezanim za ekološku svest ispitanika. Najviša prosečna ocena slaganja (na skali od 1 do 5) uočena je kod izjave da treba ulagati u izgradnju parkova i sadnju šuma (4.89), praćena stavom da će buduće generacije trpeti posledice našeg ponašanja po pitanju zaštite životne sredine. Iako su najniži nivo slaganja ispitanici pokazali sa izjavom da na njihovo ponašanje utiče ponašanje drugih ljudi iz okruženja (2.96), uočljivo je da se čak 39.7%% ispitanika delimično ili potpuno slaže sa datomizjavom. Ispitanici su prilično visoko ocenili sopstvenu osvešćenost po pitanju ekologije (prosečna ocena 3.97).

Tabela 1: Saganje sa izjavama (samoocenjivanje)

Tvrdnja	1	2	3	4	5	Prosečna ocena
Sebe smatram ekološki svesnom osobom	1	1	24	65	25	3.97
Na moje ekološko ponašanje utiče ponašanje drugih u okruženju	18	27	25	34	12	2.96
Buduće generacije će snositi ekološke posledice našeg ponašanja	0	2	5	18	91	4.71
Treba ulagati u obnovljive izvore energije čak i kada koštaju više	0	0	10	23	83	4.63
Treba ulagati u izdradnju parkova i sadnju šuma	0	0	3	7	106	4.89

4.2. Ponašanje ispitanika u realnim situacijama

Kada je u pitanju ekološko ponašanje u realnim situacijama, iz tabele 1 se može uočiti da ispitanici u većini situacija sopstveno ponašanje ocenjuju u skladu sa kolektivno odgovornim ponašanjem. Naime, velika većina se pridržava normi bacanja otpada u kante; čak 91.4% ispitanika je odgovorilo da uvek i 6.9% da često baca otpad u kantu. Međutim kada se pogleda koliko njih zapravo baca u kontejnere predviđene za određenu vrstu otpada, taj procenat je znatno niži. Visok procenat ispitanika (70.7%) koji nikada ili vrlo retko obraćaju pažnju na to da li je ambalaža ili sam proizvod koji kupuju biorazgradiv, što je u suprotnosti sa njihovom samoprocenom o nivou ekološke osvešćenosti. Ovaj rezultat ukazuje na to da ne postoji svest kod ispitanika o postojanju različite vrste ambalaže koja na različite načine utiče na životnu okolinu, što daje prostor za akcije koje bi za cilj imale podizanje svesti stanovništva po tom pitanju. Velika većina ispitanika (89.7%) je odgovorila da poštuje norme koje su nezvanično propisane i da ne hodaju po zelenim površinama već po stazama predviđenim za šetnju.

Tabela 1: Učestalost određenog ponašanje ispitanika u realnim situacijama

Opis situacije	**Nikada**	**Retko**	**Ponekad**	**Često**	**Uvek**
Da li redovno bacate smeće u kontejner kada se nalazite na ulici?	/	1.7%	/	6.9%	91.4%
Da li bacate otpad u kontejnere predviđene za tu vrstu otpada?	2.6%	14.7%	29.3%	40.5%	12.9%
Da li prilikom kupovine proizvoda gledate da li je ambalaža i/ili samproizovod biorazgradiv?	39.7%	31%	26.7%	2.6%	/
Da li prilikom šetnje parkom izbegavate da hodate po zelenim površinama, već samo po stazi predviđenoj za pešake?	0.8%	2.9%	6.6%	50.9%	38.8%

4.3. Ponašanje ispitanika u dilemi zajedničkog dobra

Prvi scenario u eksperimentalnom delu studije služio je za utvrđivanje da li se pojedinci i u kojoj meri ponašaju individualno racionalno, ili teže društveno optimalnom rešenju koje podrazumeva spremnost da se učini nešto dobro za zajednicu, ali i za buduće generacije. Rezultati ovog dela eksperimenta pokazuju da bi peticiju potpisalo 80.2% ispitanika, što bi u datoj situaciji rezultovalo sprečavanjem rušenja parka imajući u vidu da je za uspeh akcije neophodan potpis 80% populacije. Manji broj ispitanika (7.7%) pokazao je individualno racionalno ponašanje, jer bi njihove rezultujuće koristi bile više jer ne bi imali trošak potpisivanja. Ova grupa ispitanika predstavlja tzv. fri rajdere. Preostalih 12.1% ispitanika nije bilo sigurno da li bi potpisali peticiju, i oni predstavljaju ciljnu grupu za promotivne i aktivnosti podizanja ekološke svesti.

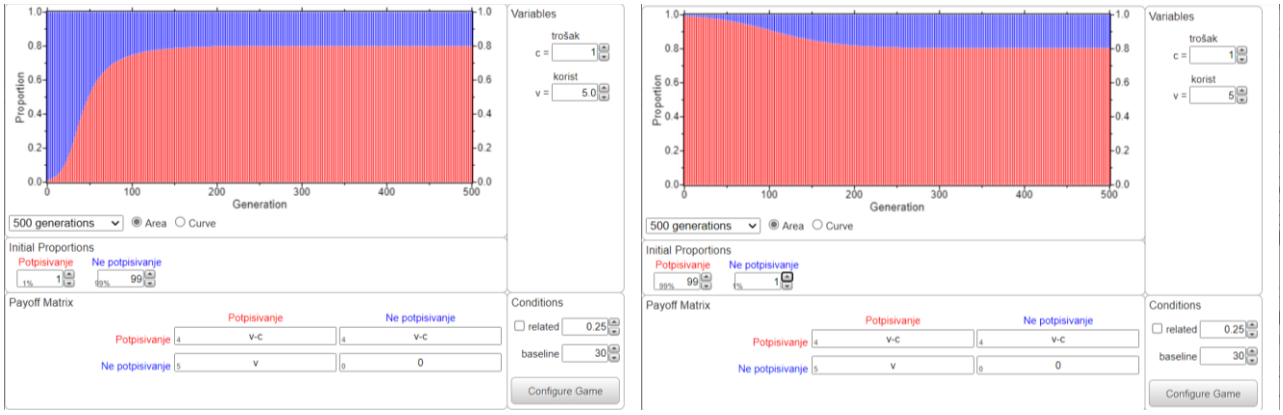
Jasno je da na ponašanje ispitanika utiče upravo percipirana korist i trošak učestvovanja u akcijama ovog tipa. Data situacija se može modelirati kao kolektivna igra zajedničkog dobra, gde igrači imaju na raspolaganju dve strategije, strategiju saradnje (potpisivanje peticije) i nesaradnje (ne potpisivanje). Ishodima date interakcije pridružuju se isplate koje zavise od koristi koju pojedinci ostvaruju sprečavanjem rušenja parka (v) i troška da bi se to postiglo (c). Trošak u ovom eksperimentu predstavlja vreme koje je potrebno da svaki pojedinac utroši da bi potpisao peticiju. Na slici 3 je prikazana matrica plaćanja iz ugla jednog pojedinca. Nešov ekvilibrijum date igre je skup strategija (Ne potpisuje, Potpisuju) sa isplatama (v, $v–c$). Drugim rečima, kada postoje troškovi potpisivanja, racionalna odluka iz ugla nekog pojedinca je da ne potpiše, a da ostali učesnici budu kolektivno racionalni i da potpišu. Ovim se može objasniti pojava da čak i osvešćeni ispitanici ne uzmu učešća u nekim akcijama od interesa za kolektiv.

Ostali / Pojedinac	Ne potpisuju	Potpisuju
Ne potpisuje	0, 0	v, $v–c$
Potpisuje	$–c$, 0	$v–c$, $v–c$

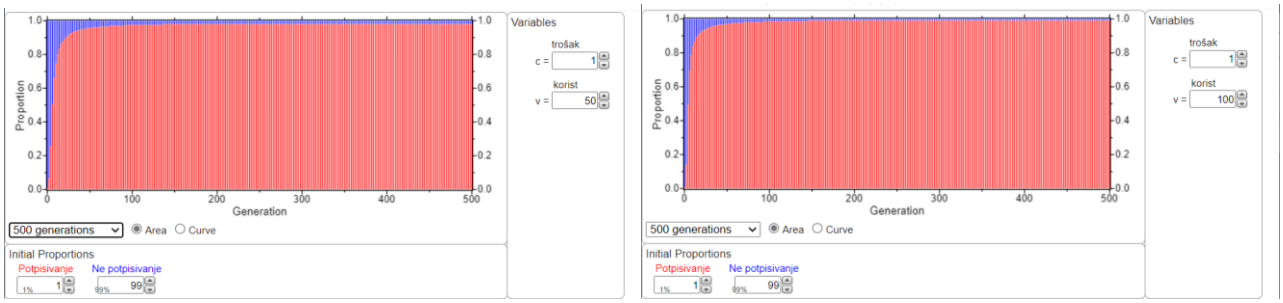
Slika 3: Matrica plaćanja u kolektivnoj igri zajedničkog dobra

Primenom koncepata evolucione teorije igara, može se utvrditi za koju percipiranu vrednost troška c i koristi v, će bar 80% ispitanika potpisati peticiju. Na slici 4a su prikazani rezultati simulacije sprovedene u GameBug softveru (Wyttenbach et al., 2011). Čak i kada u početnoj populaciji samo 1% individua teži potpisivanju, za slučaj kada je percipirana korist bar pet puta veća od percipiranog troška, 80% populacije će pristupiti potpisivanju peticije. Isti rezultat se dobija i u slučaju kada je u početnoj popolaciji 99% individua teži potpisivanju jer neke od individua vremenom odustaju (slika 4b)

Iz rezultata simulacije prikazanih na slici 5 može se uočiti da sa porastom koristi, raste i broj pojedinaca koji se odlučuju za potpisivanje, ali će uvek postojati određen procenat populacije koji neće potpisati bez obzira na visok odnos koristi i troška. U pitanju su fri rajderi.



Slika 4: Evoluciono stabilna strategija za $c = 1$ i $v = 5$



Slika 5: Evoluciono stabilna strategija za $c = 1$ i a) $v = 50$; b) $v = 100$

Drugi scenario u okviru eksperimentalnog dela studije ispitivao je da li su pojedinci spremni da deo novca koji su dobili na poklon ulože u zajedničko dobro, pri čemu je postojao uslov da je potrebno sakupiti bar 2500 evra, inače propada sve što je uloženo. Trošak u ovom primeru predstavlja iznos koju je svaki pojedinac spreman da uloži ($0 \leq c \leq 50$), a ostvarena korist (v) predstavlja korist i zadovoljstvo usled uspešne izgradnje novog parka i zavisi od ličnih preferencija svakog ispitanika.

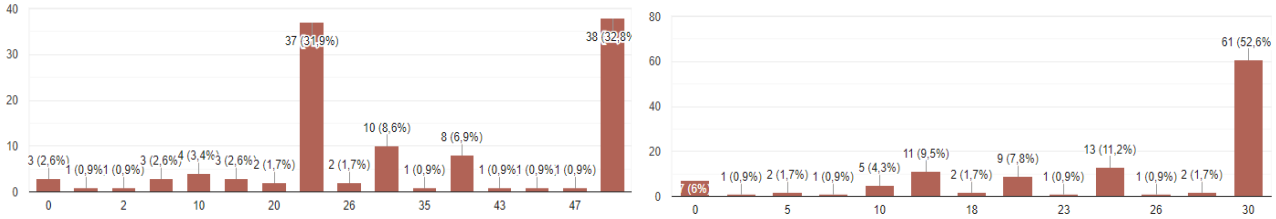
Rezultati eksperimenta ukazuju na to da je veliki procenat ispitanika uzimao u obzir društvenu korist i bio spreman da uloži u izgradnju parka. Čak 38 (32.8%) ispitanika je bilo spremno da izdvoji celu sumu novca, dok je 37 (31.9%) izdvojilo po 25 evra što predstalja prosečan iznos neophodan za uspeh inicijative. Uočava se i da 3 ispitanika nisu želela da učestvuju u zajedničkoj izgradnji, i oni u potpunosti predstavljaju fri rajdere koji će uživati korist od izgradnje parka, zadržavajući i poklonjenih 50 evra, dok je 17 njih (14.7%) odlučilo da izdvoji manje od polovine poklonjenog novca. U ovom scenariju preovladala je kolektivna racionalnost i nije došlo do tragedije zajedničkog dobra. Prosečno ulaganje je iznosilo 32.85, što bi na uzorku od 100 stanovnika iznosilo 3285 evra.

Kada se data situacija analizira konceptima teorije igara, matrica plaćanja iz ugla pojedinca prikazana je na slici 6. U slučaju kada je $v > c$, za pojedinca je racionalno da ne uloži, a za grupu ostalih da uloži. To predstavlja jedno od obrazloženja zašto se ljudi ne odlučuju da ulažu već se oslanjaju na to da će drugi ulagati za njih, što dovodi do kolektivnog problema. U slučaju da je $v < c$, za sve učesnike je racionalno da ne ulažu, tako da bi Nešov ekvilibrijum predstavljao ishod u kome park neće biti izgrađen, a rezultujuće isplate bi bile po 50. Iz prethodne analize je jasno da na ishod igre utiče to kako pojedinac vrednuje sopstvenu korist od izdgradnje parka, što ukazuje na značaj podizanja svesti kod stanovništva.

Ostali / Pojedinac	Ulažu	Ne ulažu
Ulaže	$50 - c + v$, $50 - c + v$	$50 - c$, 50
Ne ulaže	$50 + v$, $50 - c + v$	50, 50

Slika 6: Matrica plaćanja u kolektivnoj igri ulaganja u izgradnju parka

U **trećem scenariju** u kome je pretpostavka da svaki učesnik raspolaže sa poklonjenih 30 evra, prosečno ulaganje je iznosilo samo 23.37 evra, što bi na populaciji od 100 stanovnika iznosilo ukupno 2337. Jasno je da je u ovom scenariju preovladalo sebično rezonovanje ispitanika, što je za posledicu imalo društveno loše rešenje. Iako je čak 52.6% ispitanika uložilo svih 30 evra, smatrajući da je javno dobro važnije od lične koristi, zbog nesaradnje velikog broja fri rajdera nije došlo do izgradnje parka, a sav prikupljen novac je propao. Uporedni pregled raspodele količine uloženog novca u zavisnosti od visine poklona, dat je na slici 7.



Slika 7: Raspodela količine uloženog novca u javno dobro: a) raspoloživo 50 evra; b) raspoloživo 30 evra

5. ZAKLJUČAK

Prekomerno iscrpljivanje resursa iz grupe zajedničkih dobara, sa jedne strane, i nedovoljno ulaganje u njihovu zaštitu, sa druge strane, postaju sve veći problem današnjice. Zagađenje prirode, šume, parkova, reka je sve veće. Velika je količina štetnih gasova u atmosferi. Počelo je globalno zagrevanje planete i povećanje nivoa mora u svim delovima sveta. Sve su ovo posledice nemarnog ponašanja ljudi, a pojedinci se vode logikom da to što oni ne paze dovoljno, ili to što bi oni mogli dobro da urade, neće bitno uticati na okruženje.

Ponašanje pojedinaca, kompanija, društa i država u ovakvim situacijama je tema koja decenijama okupira pažnju naučnika. Problem je u literaturi prepoznat kao društvena dilema, gde postoji nesaglasnost između kratkoročnih ličnih ciljeva i dugoročne dobrobiti društva. Sprovedene su brojne empirijske studije u cilju identifikovanja faktora koji utiču na ponašanje ljudi i kreiranja mehanizama za promenu lošeg i podsticanje dobrog vida ponašanja.

U ovom radu su prikazani empirijski rezultati studije sprovedene među mlađom populacijom u Republici Srbiji. U tu svrhu je korišćena eksperimentalna dilema zajedničkog dobra. Eksperiment je imao za cilj da identifikuje koliko je mlađa populacija spremna da doprinese zajednici. Takođe je istraženo u kojoj meri je kod njih razvijena ekološka svest kao i koliko su spremni na saradnju za kolektivno dobro. Troškovi u ovim eksperimentima su predstavljeni u dva različita oblika. Jedan je predstavljao ulaganje sopstvenog slobodnog vremena u cilju potpisivanja peticije, dok je drugi zahtevao novčano ulaganje. Korist sprečavanja rušenja parka ili izgradnja parka, u zavisnosti od sscenarija, predstavlja javno dobro koje svi pojedinci koriste. Takođe u svakom scenariju su postojali i dodatni uslovi kao što je neophodna količina novca koja je potrebna da se sakupi ili određeni broj potpisa. Na osnovu odgovora ispitanika, zaključuje se da je ekološka svest relativno razvijena, ali u praksi nije na zavidnom nivou. U prvom eksperimentu je prikupljen dovoljan broj potpisa, u drugom je sakupljena dovoljna količina novca, dok u trećem eksperimentu nije, što ukazuje na to da je potrebno razvijati kolektivnu racionalnost. U svakom eksperimentu, postojao je i određeni broj fri rajdera, koji su odlučili da je bolje da ne učestvuju u kolektivnom delovanju, već da sačuvaju poklonjen iznos novca isključivo u svrhu lične koristi.

Za sva tri scenarija je izvršena i analiza racionalnog ponašanja ispitanika i dato je obrazloženje zašto se racionalni pojedinci ponekad odlučuju za ne saradnju u dilemi zajedničkog dobra. Dodatno, primenom koncepta evoluciono stabilne strategije, utvrđen je odnos percipirane koristi i troškova, koji bi u opisanim scenarijima doveo do toga da postavljeni cilj bude ostvaren.

LITERATURA

[1] Arvanitidis, P., & Nasioka, F. (2018). From Commons Dilemmas to Social Solutions: A Common Pool Resource Experiment in Greece. In *Institutionalist Perspectives on Development* (pp. 125-142). Palgrave Macmillan, Cham.

[2] Gächter, S., Kölle, F., & Quercia, S. (2017). Reciprocity and the tragedies of maintaining and providing the commons. *Nature human behaviour*, *1*(9), 650-656.

[3] Jusup, M., Maciel-Cardoso, F., Gracia-Lázaro, C., Liu, C., Wang, Z., & Moreno, Y. (2020). Behavioural patterns behind the demise of the commons across different cultures. *Royal Society open science*, *7*(7), 201026.

[4] Kuzmanović, M. (2017). Teorija igara, Fakultet organizacionih nauka, Beograd.

[5] Liu, C. J., & Hao, F. (2020). The impact of social and ecological factors on environmentally responsible behavior. *Journal of Cleaner Production*, *254*, 120173.

[6] Wyttenbach, R., Kern Reeve H., & Hoy, R. (2011) GameBug Software, Evolutionary game simulator. Available at: http://hoylab.cornell.edu/index.html

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

ULOGA NACIONALNIH PLATFORMI ZA SMANJENJE RIZIKA OD KATASTROFA U JAČANJU OTPORNOSTI NA POPLAVE I DEGRADACIJU ŽIVOTNE SREDINE

THE ROLE OF NATIONAL PLATFORMS FOR DISASTER RISK REDUCTION IN IMPROVING RESILIENCE TO FLOODS AND ENVIRONMENTAL DEGRADATION

JELENA ANDREJA RADAKOVIĆ[1], BORKO DRAŠKOVIĆ[2], DRAGANA MAKAJIĆ-NIKOLIĆ[1], NATAŠA PETROVIĆ[1]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, Beograd, {jelenaandreja.radakovic, makajic-nikolic.dragana, natasa.petrovic}@fon.bg.ac.rs
[2] Republički geodetski zavod, Beograd, borko.draskovic@rgz.gov.rs

---

Rezime: *Posledice rizika, kriza i katastrofa zahtevaju kompleksna rešenja radi minimiziranja njihovog negativnog uticaja. Sve više naučnih istraživanja ukazuje na problem prirodnih katastrofa, ističući u studijama podatke koji pokazuju da jačina i frekvencija katastrofa rastu, a da se efekti katastrofa na infrastrukturu, ekonomiju, životnu sredinu i gubitke ljudskih života pogoršavaju. U prirodnim katastrofama, katastrofalne poplave se posebno izdvajaju, imajući u vidu da spadaju u vrstu prirodnih katastrofa sa najvećom frekvencijom, te da rezultuju ogromnim štetama širom sveta, kao i štetnim uticajem na javno zdravlje i nažalost gubitke života. Ovo je rezultovalo neophodnim usmeravanjem ka otpornosti na poplave. Kao odgovor na otpornost na poplave i napore za zaštitu od poplava, kao i Sendai okvir za smanjenje rizika od katastrofa 2015-2030, ističe se jasna uloga Nacionalnih platformi za smanjenje rizika od katastrofa, kao i njihova uloga u upravljanju rizikom od poplava.*

Ključne reči: *Prirodne katastrofe, Poplave, Otpornost na poplavu, Rizik od katastrofa, Nacionalne platforme za smanjenje rizika od katastrofa.*

Abstract: *The consequences of risks, crises, and disasters require complex solutions to minimize their negative impacts. There are more and more scientific researches that deal with the problem of natural disasters, and their studies begin with data that show that the strength and frequency of disasters are growing and that their effects on infrastructure, economy, environment, and human casualties are worsening. In natural disasters, disastrous floods stand out, because they are the most frequent type of natural disaster with resulting enormous damages all over the world, as well as the harmful impact on public health, and unfortunately losses of life. This has resulted in a necessary shift toward flood resilience. In response to the flood resilience and flood protection efforts, as well as Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030 a clear role is seen in National Platforms for Disaster Risk Reduction and their part in flood risk management.*

Keywords: *Natural disasters, Floods, Resilience to flood, Disaster risk, National Platforms for Disaster Risk Reduction.*

1. UVOD

Nažalost, čovečanstvo se suočava sa činjenicom da i pored svog značajnog progresa, posebno u domenu razvoja tehnologije još uvek je podložno posledicama destruktivnog uticaja mogućeg nastanka prirodnih katastrofa, od kojih 94 procenata predstavljaju posledice zemljotresa, tropskih ciklona (tajfuna i tropskih oluja), poplava i suša [5, 9]. Iz ovih razloga, širom sveta su se održavale različite naučne konferencije na ovu temu - Svetska konferencija o smanjenju prirodnih katastrofa (*World Conference on Natural Disaster Reduction, Yokohama, 23-27 May 1994*) (1994), Kobe (2005), Sendai (2015) koje su rezultovale mnogim dokumentima, okvirima, preporučenim merama i strategijama koje su vremenom postale zakonski akti u manjem ili većem obimu. Svima njima je zajednički cilj smanjenje rizika od prirodnih katastrofa. Neki od bitnih dokumenata sa konferencija su: Hjogo okvir 2005-2015 [17] i Sendai okvir 2015-2025 [14]. U Sendai okviru, su istaknuti sledeći prioriteti: razumevanje rizika od katastrofa, ojačavanje sistema za upravljanje rizicima od katastrofa (sprečavanje nastanka, ublažavanje događaja, pripremljenost na događaj, adekvatan odgovor na događaj, oporavak sistema nakon događaja i drugi), investicije za smanjenje rizika od katastrofa.

Treba naglasiti da se istraživanja u proceni rizika uglavnom sprovode sa akcentom na prevenciji i na svim onim aktivnostima koje treba obaviti pre nego što se same katastrofe i dogode. Dodatno, kompleksnost tema i fenomena koji se odnose na prirodne katastrofe, predstavlja predmet mnogih studija iz različitih naučnih oblasti koje se bave uzrokom, načinom delovanja prirodnih katastrofa, njihovim predviđanjem, kao i elementima koji su direktno ili indirektno izloženi ovim hazardima. Iz ovih razloga upravljanje i eliminisanje često pogubnih efekata prirodnih katastrofa su prepoznati od strane Ujedinjenih nacija (*United Nations* - UN) kao važno pitanje koje je predstavljeno kroz tri okvira - Ciljevi održivog razvoja 2015-2030 (*Sustainable Development Goals* - SDGs), Pariski protokol 2015-2020 (*Paris Protocol*) i Sendai okvir za smanjenje rizika od katastrofa 2015-2030 (*Sendai Framework for Disaster Risk Reduction*). Svi ovi napori se oslanjaju na dimenzije mobilnosti u prevenciji i pripravnosti na katastrofe, rešavanju problema raseljavanja stanovništva u slučajevima koji ne mogu da se izbegnu, te promovišu otpornost i trajna rešenja u oporavku i rekonstrukciji ugroženih područja [4].

Sendai okvir za smanjenje rizika od katastrofa 2015-2030 jasno ističe potrebu za boljim upravljanjem rizikom, u kojem države imaju primarnu ulogu u smanjenju rizika od katastrofa. Izgradnja otpornosti na katastrofe predstavlja odgovornost mnogih sektora, stejkholdera i nivoa uprava. Zahvaljući tome što omogućavaju efektivnu koordinaciju smanjenja rizika od katastrofa na nacionalnom nivou, Nacionalne platforme za smanjenje rizika od katastrofa imaju instrumentalnu ulogu u obezbeđivanju prilaza rešavanju ovog problema koji obuhvata celokupnu upravu i društvo sa cijem smanjenja rizika i izgradnje otpornosti na rizik. Ovome treba dodati i potrebu za povezivanjem lokalnih nacionalnih platformi (kao što je npr. Nacionalna infrastruktura geoprostornih podataka - Geosrbija) sa platformama na nadnacionalnom nivou (kao što je npr. Evropski forum za smanjenje rizika od katastrofa - *European Forum for Disaster Risk Reduction*).

2. PRIRODNE KATASTROFE I POPLAVE

Danas, i pored svog tehnološkog i naučnog razvoja, sa sigurnošću se može reći da je čovečanstvo ranjivije nego ikada na posledice katastrofa, posebno imajući u vidu da se ljudi često naseljavaju baš na područjima sklonim prirodnim katastrofama. Prirodne katastrofe i njihovi posledični uticaji su kompleksni po samoj svojoj prirodi, te činjenici da ne „poznaju" nacionalne granice [13].

Tako su sva društva, bez obzira na svoj napredak, podložna često razarajućim uticajima katastrofa. „Vanredne situacije, prouzrokovane prirodnim nepogodama ili ljudskim aktivnostima, svakodnevno odnose mnogo ljudskih života i na različite načine uništavaju i degradiraju životnu sredinu, uzrokujući veliku materijalnu štetu i gubitke. Rizik od katastrofa postoji u svakom društvu, jer katastrofe usporavaju održivi razvoj društva u celini, a njihova pojava u jednom regionu može da prouzrokuje štete u nekom drugom regionu i obrnuto." [8]

Ujedinjene nacije definisale su pojam katastrofe kao rezultat koji nastaje usled izloženosti hazardima i nedovoljne sposobnosti da smanje ili izbegnu potencijalno negativne posledice. Zakon o vanrednim situacijama Republike Srbije definiše katastrofu kao elementarnu nepogodu ili drugu „nesreću i događaj koji veličinom, intenzitetom i neočekivanošću ugrožava zdravlje i živote većeg broja ljudi, materijalna dobra i životnu sredinu, a čiji nastanak nije moguće sprečiti ili otkloniti redovnim delovanjem subjekata odbrane" [21].

Kada su u pitanju prirodne katastrofe, treba istaći da tokom istorije prirodne katastrofe već milionima godina predstavljaju sastavni deo života na Zemlji, a ljudi su se neprestano suočavali sa razarajućim uticajem zemljotresa, vulkana, poplava, i raznih epidemija. Prirodne katastrofe su veliki štetni događaji koji su rezultat prirodnih procesa na planeti Zemlji. Definicija prirodne katastrofe prema *Merriam Webster* rečniku glasi da su one „iznenadan i užasan događaj u prirodi koji obično rezultira ozbiljnom štetom i mnogim smrtnim slučajevima" [7].

Svake godine prirodne katastrofe ubiju oko 90.000 ljudi i pogađaju oko 160 miliona ljudi širom sveta. One imaju neposredan uticaj na ljudske živote i često rezultiraju uništavanjem fizičkog, biološkog i socijalnog okruženja pogođenih ljudi, što ima dugoročniji uticaj na njihovo zdravlje, blagostanje i preživljavanje [12].

Prema podacima Međunarodne strategije za smanjenje katastrofa Ujedinjenih nacija (*United Nations International Strategy for Disaster Reduction* - UNISDR) [18] čak 43 procenata ukupnog zabeleženog broja prirodnih katastrofa su predstavljale poplave, praćene olujnim nepogodama (28 procenata) i zatim nepogodama izazvanim zemljotresima (8 procenata). Značajan udeo u zabeleženim nepogodama imaju i klimatski ekstremi (od suša do visokih temperatura) sa 10 procenata, a šumski požari sa 2 procenta.

U Republici Srbiji najčešća elementarna nepogoda su bujične poplave s obzirom da je 86,4 procenta teritorije naše zemlje izloženo erozionim procesima [11]. Bujične poplave odlikuju katastrofalne posledice

kako po stanovništvo, tako i po i infrastrukturu zemlje. Imajući u vidu njihov značaj, napravljen je Inventar bujičnih poplava 2014. godine. U ovom inventaru se nalaze podaci o slivovima, preventivnim radovima, hidrometeorološkim podacima o događajima, kao i o podacima koji se odnose na posledice nastalih bujičnih poplava. U periodu od skoro 100 godina (između 1915. i 2013. godine), desilo se 848 bujičnih poplava koje su odnele 133 života.

Katastrofalne poplave desile su se u Republici Srbiji maja 2014. godine. Njihov uzrok su bile prethodne obilne kišne padavine. Sve ovo imalo je kao rezultat tri posledice: naglo plavljenje (koje je rušilo kuće, mostove i puteve oko Krupnja i Šapca), porast nivoa vode (koji je stvorio poplave urbanih delova Obrenovca i ruralnih delova Šapca), klizišta (u Krupnju i Bajinoj Bašti). Ove poplave uticale su na 1.600.000 građana iz 38 različitih mesta centralne i zapadne Srbije, 32.000 ljudi se posledično evakuisalo, a najveći deo (25.000) njih bio je upravo iz Obrenovca. Za vreme ovih poplava, 51 osoba je poginula, a od čega su se 23 osobe udavile. Procena koja je potom izvršena pokazala je da je vrednost dobara koja su uništena u 24 različite opštine bila 885.000.000 evra, vrednost gubitka bila je 640.000.000 evra, te je sveukupna šteta iznosila 1,525 milijardi evra ili oko 3 procenta BDP-a cele Republike Srbije [19].

Najugroženiji „gradovi su bili Šabac, Sremska Mitrovica, i opštine na teritoriji Republike Srbije: Obrenovac, Mali Zvornik, Krupanj, Ljubovija, Vladimirci, Koceljeva, Šid, Svilajnac, Paraćin, Ub, Lajkovac, Ljig, Osečina, Mionica, Smederevska Palanka, Trstenik, Bajina Bašta" [20].

3. NACIONALNE PLATFORME ZA SMANJENJE RIZIKA OD KATASTROFA

Jedan od strateških okvira koji je definisan u Hjogo okviru za akciju 2005-2015: Izgradnja otpornosti nacija i društava na katastrofe (*Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters* - HFA) [17] se odnosi na razvoj i jačanje institucija, mehanizama i kapaciteta za izgradnju otpornosti na katastrofe, što implicira poziv svim nacijama da pomognu u kreiranju i jačanju nacionalnih integrisanih mehanizama, kao što su multi sektoralne nacionalne platforme koje obezbeđuju da smanjenje rizika od katastrofa postane kako nacionalni, tako i lokalni prioritet [1].

Uspostavljanje nacionalnih platformi sa uključivanjem multidisciplinarnih i međusektorskih učesnika, te participacijom zvaničnih lica zaduženih za politike i javna predstavljanja, omogućava davanje neophodne pokretačke snage zemljama da odgovore na potrebe prouzrokovane budućim hazardima i rizicima. Iz ovih razloga vodeći principi za efektivne nacionalne platforme, prema UNISDR, su sledeći [1]:

- „Smanjivanje rizika od katastrofa treba da se posmatra kao nacionalni cilj u okviru oblasti održivog razvoja.
- Nacionalne platforme treba da iskoriste proces participacije koji uključuje multidisciplinarne i multisektoralne perspektive i akcije koje su povezane sa postojećim sistemima.
- Nacionalne platforme treba da utiču na pozitivne promene na taj način što koncentrišu i koordiniraju naporima, posebno u oblasti politika, planiranja i procesa donošenja odluka.
- Nacionalne platforme treba da ohrabruju usvajanje Hjogo okvira za akciju 2005-2015."

U Evropskom regionu koji se sastoji od 55 zemalja članica Ujedninjenih nacija, postoji 37 Nacionalnih platformi za smanjivanje rizika od katastrofa. Iako struktura ovih koordinacionih mehanizama, kao i njihov zakonski status, budžeti, obim i nivo aktivnosti se razlikuje od zemlje do zemlje, sve one imaju zajednički cilj da obezbede angažovanje multistejkholdera u izgradnji otpornosti na katastrofe na nacionalnom nivou, implementiranjem mera za smanjenje rizika od katastrofa u relevantnim sektoralnim politikama, programima i instrumentima [15].

Osim nacionalnih platformi, postoje i Regionalne platforme za smanjivanje rizika od katastrofa koje predstavljaju forume multistejkholdera koji odražavaju posvećenost vlada da poboljšaju koordinaciju i implementaciju aktivnosti na smanjenju rizika od katastrofa uz povezivanje sa međunarodnim i nacionalnim naporima u ovoj oblasti. Takođe, postoje i Globalne platforme kao forumi za razmenu informacija, diskusija o poslednjim razvojima, znanjima i uspostavljenim partnerstvima među sektorima, sa ciljem poboljšanja implementacije smanjivanja rizika od katastrofa kroz bolju komunikaciju i koordinaciju među stejkholderima, omogućavajući na taj način vladama, nevladinom sektoru, naučnicima i organizacijama Ujedinjenih nacija da dele svoje iskustvo i rade na implementaciji strateškog vodiča za Sendai okvir za smanjenje rizika od katastrofa 2015-2030 [16].

4. NACIONALNA INFRASTRUKTURA GEOPROSTORNIH PODATAKA - GEOSRBIJA

Nacionalna infrastruktira geoprostornih podataka - NIGP predstavlja integrisani sistem geoprostornih podataka. Ovaj sistem obezbeđuje sveobuhvatnu identifikaciju i pristup geoinformacijama koje su dobijene iz različitih izvora bilo da su oni lokalni, regionalni, nacionalni ili globalni. Uloga NIGP-a je sve važnija,

imajući u vidu da obezbeđuje sredstva za organizovanje i isporuku osnovnih kako geografskih, tako i drugih podataka za mnoge nacionalne i globalne izazove u koje spada i smanjenje rizika od katastrofa, te jačanje otpornosti na poplave, a što omogućava praćenje podataka u realnom vremenu. Na ovaj način dostupni podaci ne služe samo za mapiranje i pružanje informacija već i za integraciju, analitiku, modeliranje i agregaciju podataka, te samim tim i podršku donošenju pravovremenih odluka.

Zakonom o državnom premeru i katastru Republike Srbije donetom 2009. godine, kreirana je pravna osnova za uspostavljanje NIGP. Odredbe zakona koje regulišu oblast NIGP svoje uporište imaju u Direktivi 2007/2/EC Evropskog parlamenta i Saveta Evrope o uspostavljanju infrastrukture prostornih informacija u Evropskoj uniji (*Infrastructure for Spatial Information in the European Community* - INSPIRE) koja je stupila na snagu 15. maja 2007. godine. Zakonom su dati osnovni elementi pravnog okvira za osnivanje NIGP-a kroz definisanje subjekata, sadržine i korišćenje podataka NIGP-a, metapodataka, skupova i servisa metapodataka, osnivanje nacionalnog geoportala, ograničenja pristupu skupovima i servisima geopodataka, organa NIGP-a i ovlašćenja Saveta NIGP-a. Na osnovu tih zakonskih okvira doneti su inicijalni strateški programaski dokumenti: Strategija uspostavljanja infrastrukture prostornih podataka u Republici Srbiji za period 2010. do 2012. godine i Srednjoročni program radova na osnivanju i održavanju Nacionalne infrastrukture geoprostornih podataka za period od 2011. do 2015. godine. Ovim dokumentima obezbeđuje se dalja osnova za realizovanje NIGP-a u Republici Srbiji.

Nažalost, posle nekoliko godina primećeni su svi nedostaci geosektora kada su Republiku Srbiju pogodile nezapamćene poplave maja 2014. godine. U tim momentima je bio od krucijalne važnosti za brzo reagovanje u vanrednim situacijama pristup kvalitetnim, ažurnim i standardizovanim podacima i servisima, međutim uočeni su mnogi problemi na nacionalnom i lokalnom nivou kao što su nedostatak svih podataka, loša saradnja i koordinacija subjekata, nepostojanje određenih podataka u digitalnom formatu, nemogućnost pronalaženja određenih setova podataka i dr.



Slika 1: Digitalni ortofoto područja Obrenovca pre i posle poplave [3]

To je bio jasan znak da pristup uspostavljanju NIGP podataka mora da se menja. Tako je 2018. godine usvojen Zakon o nacionalnoj infrastrukturi geoprostornih podataka, a Republički geodetski zavod (RGZ) je započeo sa razvojem nove digitalne platforme. Reč je o digitalnoj platformi koja objedinjuje sve prostorne podatke na državnom nivou, što je od velikog značaja za državne organe, privredu i građane. Na portalu Geosrbija [2] se mogu naći svi prostorni podaci RGZ-a, Republičkog zavoda za statistiku, Hidrometeorološkog zavoda, podaci o zemljištu, objektima, adresama, zaštićenim područjima, nacionalnim parkovima, nadmorskim visinama, poplavama 2014. godine i slično. Na jednom mestu su svi zvanični geoprostorni podaci državnih organa, na osnovu kojih oni mogu da donose odluke, unapređuju poslovne procese i prikupljaju nove podatke, a građani da pristupe ovim podacima na jednostavan način. Aplikacija je takva da se može lako koristiti, a na portalu Geosrbija se nalaze zvanični geoprostorni podaci, što korisnicima pruža veću sigurnost prilikom donošenja odluka. Osnovna namena ove platforme je da unapredi procese rada svih zainteresovanih državnih institucija, tako što im omogućava da prikupe nove ili ažuriraju već postojeće podatke koji su važni za državu Srbiju i njene građane. Na ovaj način, digitalna platforma NIGP obezbeđuje korisnicima da identifikuju i pristupe njenim podacima, te da ih po potrebi povežu sa svojim podacima, a radi analiziranja ili kreiranja novih proizvoda i usluga koje predstavljaju dodatnu vrednost platforme.

5. ZAKLJUČAK

Nove tehnologije predstavljaju potencijal u smanjivanju rizika od katastrofa i poplava. Dodatno, Nacionalne platforme za smanjivanje rizika od katastrofa kao baze ekspertskih podataka i analiza mogu se koristiti za

monitoring, validaciju i smanjivanje rizika od poplava, kao i direktan ulaz za zajednice, društva i građane radi jačanja njihove otpornosti na poplave i posledičnu degradaciju životne sredine. Takođe, ovakve platforme svojom digitalizacijom informacija omogućavanju, kako transparentnost, tako i efikasnu koordinaciju sa različitim stejkholderima

Treba naglasiti da se uloga ovih platformi ne ogleda samo u odgovoru na katastrofe kada one već nastanu, kao i procesu oporavka od njih, već da imaju veliki potencijal u primeni u vremenu pre nastanka katastrofa, posebno u regijama koje su im podložne, imajući u vidu da pružaju informacije potrebne za adekvatnu pripremu na katastrofe i poplave. Iz ovoga proizilazi i neophodnost daljeg rada na unapređivanju Nacionalnih platformi za smanjivanje rizika od katastrofa jer i pored njihovih višestrukih benefita, dalji napori moraju da se ulažu u jačanje njihovih tehničkih kapaciteta, kao i njihovu veću prepoznatljivost i korišćenje od strane javnosti [6].

Na kraju, treba istaći da otpornost na poplave može da se dostigne u slučajevima kada se ne dovodi u pitanje legitimitet strategija vlada, odnosno ulazi, procesi i izlazi ovih strategija moraju da budu zakonski legitimni i društveno prihvatljivi. Ovo podrazumeva dobro organizovan i analiziran pristup informacijama i njihovu transparentnost i proceduralnu pravdu, uz mogućnosti daljeg poboljšanja kriterijuma kao što su socijalna jednakost, učešće javnosti i odgovornosti svih učesnika u procesu jačanja otpornosti na katastrofe i poplave, posebno u zemljama koje se suočavaju sa velikim rizikom od poplava [10].

LITERATURA

[1] Asian Disaster Preparedness Center – ADPC (2007). National Platforms for Disaster Reduction. Pristupljeno 25 maja 2021, sa https://www.eird.org/isdr-biblio/PDF/National%20platforms%20for%20disaster%20reduction.pdf.

[2] Geosrbija (2021a). Geosrbija. Pristupljeno 27 maja 2021, sa https://geosrbija.rs/.

[3] Geosrbija (2021b). Poplave 2014. godine. Pristupljeno 28 maja 2021, sa https://a3.geosrbija.rs/.

[4] International Organization for Migration - IOM (2021). Disaster Risk Reduction and Environmental Degradation. Pristupljeno 20 maja 2021, sa https://www.iom.int/disaster-risk-reduction.

[5] Jha, M.K. (2010). Natural and Anthropogenic Disasters: Vulnerability, Preparedness and Mitigation. Springer.

[6] McCallum, I., Liu, W., See, L., Mechler, R., Keating, A., Hochrainer-Stigler, S., ... & Moorthy, I. (2016). Technologies to support community flood disaster risk reduction. International Journal of Disaster Risk Science, 7(2), 198-204.

[7] Merriam Webster Dictionairy (2021). Natural Disaster. Pristupljeno 20 maja 2021, sa https://www.merriam-webster.com/dictionary/natural%20disaster.

[8] Nacionalna strategija zaštite i spasavanja u vanrednim situacijama, 2011 „Službeni glasnik RS", broj 86 od 18. novembra 2011. Pristupljeno 21 maja 2021, sa https://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/skupstina/ostalo/2011/86/1/reg.

[9] Petrović, N., Bošnjak, I., & Nedeljković, S. (2017). Disaster Risk Reduction for Sustainable Development Goals. European Project Management Journal, 7(2), 27-35.

[10] Raadgever, G.T., & Hegger, D.L.T. (2018). Flood Risk Management Strategies and Governance. Springer.

[11] Ristić, R., Kostadinov, S., Abolmasov, B., Dragićević, S., Trivan, G., Radić, B., Trifunović, M. & Radosavljević, Z. (2012). Torrential floods and town and country planning in Serbia. Natural Hazards Earth System Science, 12, 23-35.

[12] Schneiderbauer, S., & Ehrlich, D. (2004). Risk, hazard and people's vulnerability to natural hazards. A review of definitions, concepts and data. European Commission Joint Research Centre. EUR, 21410, 40.

[13] Twigg, J. (2015). Disaster risk reduction. Overseas Development Institute, Humanitarian Policy Group.

[14] United Nations - UN (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. Third UN World Conference on Disaster Reduction, 18th March 2015, Sendai, Japan.

[15] United Nations Office for Disaster Risk Reduction - UNDRR (2020). National Platforms for Disaster Risk Reduction - Overview. UN Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). Brussels, Belgium.

[16] United Nations Office for Disaster Risk Reduction - UNDRR (2021). DRR platforms. Pristupljeno 21 maja 2021, sa https://www.undrr.org/news-events/drr-platforms.

[17] United Nations Office for Disaster Risk Reduction - UNISDR (2005). Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters. Proceedings of the Conference World Conference on Disaster Reduction "Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters" (pp. 3-27). Kobe, Hyogo, Japan. United Nations Geneva. Pristupljeno 20 maja 2021, sa https://www.preventionweb.net/files/3800_WCDRproceedings1.pdf.

[18] United Nations Office for Disaster Risk Reduction - UNISDR (2015). UNISDR Annual Report 2015. United Nations.

[19] United Nations Serbia (2014). Izveštaj o procenama potreba za oporavak i obnovu posledica od poplava. UN u Srbji, EU komisija u Srbiji i Svetska banka.

[20] Vlada Republike Srbije (2014). Izveštaj o elementarnoj nepogodi - poplavi koja je zadesila Republiku Srbiju i merama koje su preduzete radi spasavanja stanovništva i odbrane ugroženih mesta od poplava. Pristupljeno 21 maja 2021, sa http://www.parlament.gov.rs/upload/archive/files/cir/pdf/akta_procedura/2014/2220-14.pdf.

[21] Zakon o vanrednim situacijama Republike Srbije (2012). „Sl. glasnik RS", br. 111/2009, 92/2011 i 93/2012. Pristupljeno 21 maja 2021, sa http://eupravnik.rs/zakoni/zakon_o_vanrednim_situacijama.pdf.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

PREGLED OPTIMIZACIONIH PROBLEMA U UPRAVLJANJU MEDICINSKIM OTPADOM

OVERVIEW OF OPTIMIZATION PROBLEMS IN MEDICAL WASTE MANAGEMENT

KRISTINA STANOJEVIĆ[1], DRAGANA MAKAJIĆ-NIKOLIĆ[1]

[1] Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, kristina.stanojevic992@gmail.com

---

Rezime: *Predmet ovog rada je pregled optimizacionih problema objavljenim u publikacijama koje su deo baze Web of Science. U radu su analizirani časopisi u kojima su objavljivani radovi, tipovi optimizacionih problema i pristupi njihovom rešavanju. Poseban naglasak je dat analizi kriterijuma i njihovoj zastupljenosti u izdvojenim radovima.*

Ključne reči: *Medicinski otpad, Lokacijsko-alokacijski problemi, Rutiranje vozila.*

Abstract: *The subject of this paper is an overview of optimization problems published in publications from Web of Science database. The paper analyzes journals in which papers have been published, types of optimization problems and solving approaches. Special emphasis is given to the analysis of criteria used in selected publications.*

Keywords: *Medical waste, Location-allocation problems, Vehicle routing.*

1. UVOD

Pojam medicinskog otpada se u različitim državama i od strane različitih nadležnih institucija naziva i definiše drugačije. U literaturi se najčešće javlja pod nazivima: "*medical waste*", "*hospital waste*", "*health care waste*", "*regulated medical waste*" i "*infectious medical waste*" [12]. Prema Svetskoj zdravstvenoj organizaciji (*World Health Organization* - WHO) medicinski otpad podrazumeva [32]: "otpad generisan u zdravstvenim ustanova koji uključuje različite materijale, upotrebljene igle i špriceve, delove tela, dijagnostičkih uzoraka, krvi, hemikalija, lekova, medicinske aparate i radioaktivne materijale". Moguće posledice po stanovništvo i životnu sredinu ukazuju na neophodnost adekvatnog upravljanja ovom vrstom otpada.

Proces upravljanja medicinskim otpadom je predmet uredbi različitih svetskih institucija, kao što su WHO i IRCR (*International Committee of the Red Cross)*. U Republici Srbiji postoji "Pravilnik o upravljanju medicinskim otpadom" [23], koji uređuje proces upravljanja medicinskim otpadom. Ovaj proces podrazumeva skup aktivnosti koje obezbeđuju njegovo odvijanje na najsigurniji način. Prvi korak je sastavljanje plana, u okviru kojeg se prate podaci o vrsti, količinama, tokovima kretanja, prevencijama, odgovornom osoblju, klasifikaciji, skupljanju otpada, skladištima, tretmanu, merama i uslovima zaštite. Naredni koraci se odnose na praćenje medicinskog otpada od trenutka njegovog nastajanja do finalnog odlaganja: sakupljanje i razvrstavanje, pakovanje, obeležavanje, transport unutar ustanova, privremeno skladištenje, transport i tretman.

Evidentno je da veliki broj nabrojanih aktivnosti podrazumeva donošenje određenih odluka, poput: izbora tehnologije za tretman medicinskog otpada, izbora lokacije postrojenja, alociranje zdravstvenih ustanova postrojenjima, izbor načina transportovanja i transportnih ruta, itd. Ovi problemi odlučivanja su prepoznati među operacionim istraživačima i u literaturi se može naći određeni broj publikacija koje se njima bave.

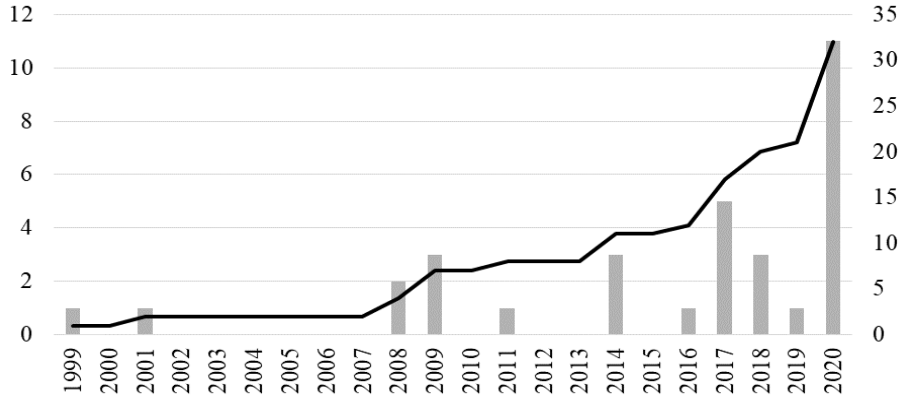
Predmet ovog rada je pregled i analiza istraživanja u kojima su problemi upravljanja medicinskim otpadom definisani kao optimizacioni problemi. Fokus je na publikacijama koje su deo baze *Web of Science* a upotrebom softvera VOSviewer [26] sprovedena je bibliometrijska analiza rezultata. Pretragom koja je izvršena oktobra 2020. godine izdvojeno je ukupno 186 radova za period od 1996 do 2020. godine. Ključne reči koje su zadate, bez daljih ograničenja pretrage, su bile: AND [OR ("*medical waste*", "*healthcare waste*", "*health-care waste*", "*health care waste*", "*infectious waste*", "*hospital waste*"), OR ("*optimization*", "*location*", "*allocation*", "*routing*", "*heuristics*", "*metaheuristic*", "DEA", "*data envelopment analysis*", "*antilocation*", "*anti-location*", "*p-center*", "*decision making*", "*multicriteria*", "*multi-criteria*", "MCDM", "*decision makers*", "*operations research*", "*operational research*")]. Za svaku od izdvojenih publikacija

prikupljeni su i analizirani sledeći podaci: časopisi, godina objavljivanja, ključne reči, izdavači, i drugi. U ovom radu će biti predstavljena analiza ove grupe radova. U narednom poglavlju će biti prikazano kretanje broja radova po godinama i najčešći časopisi u kojima su objavljivani radovi. Treća sekcija se odnosi na pregled optimizacionih problema, ključnih reči i pristupa rešavanju, dok su u poslednjoj sekciji data zaključna razmatranja.

2. ANALIZA PUBLIKACIJA I ČASOPISA

Analizom selektovanih publikacija, utvrđeno je da se 107 radova ne odnosi na donošenje odluka već na predviđanje količina medicinskog otpada ili troškova vezanih za njega, politike upravljanja medicinskim otpadom, statističke analize i pregled istraživanja u ovoj oblasti. Od preostalih 79 radova, 29 (31) se bave izborom tehnologije za tretman medicinskog otpada i uglavnom koriste metode višekriterijumskog odlučivanja, poput AHP, TOPSIS, VIKOR itd; 17 radova se odnose na izbor strategije za upravljanje medicinskim otpadom i oni se takođe zasnivaju na metodama višekriterijumskog odlučivanja. Svega 33 rada se bave optimizacijom, odnosno primenom egzaktnih ili heurističkih metoda u rešavanju problema koji se zajedničkim imenom mogu nazvati problemima projektovanja putne mreže za upravljanje medicinskim otpadom.

U posmatranom periodu, prvi rad je objavljen 1999. godine i bavi se optimizacijom rutiranja vozila za prikupljanje medicinskog otpada [22]. Nakon toga je, sa povremenim prekidima, objavljivano do pet radova, da bi do značajnog povećanja broja došlo 2020. godine. Broj publikacija po godinama i kumulativno je prikazan na Slici 1.



Slika 1: Broj publikacija po godinama

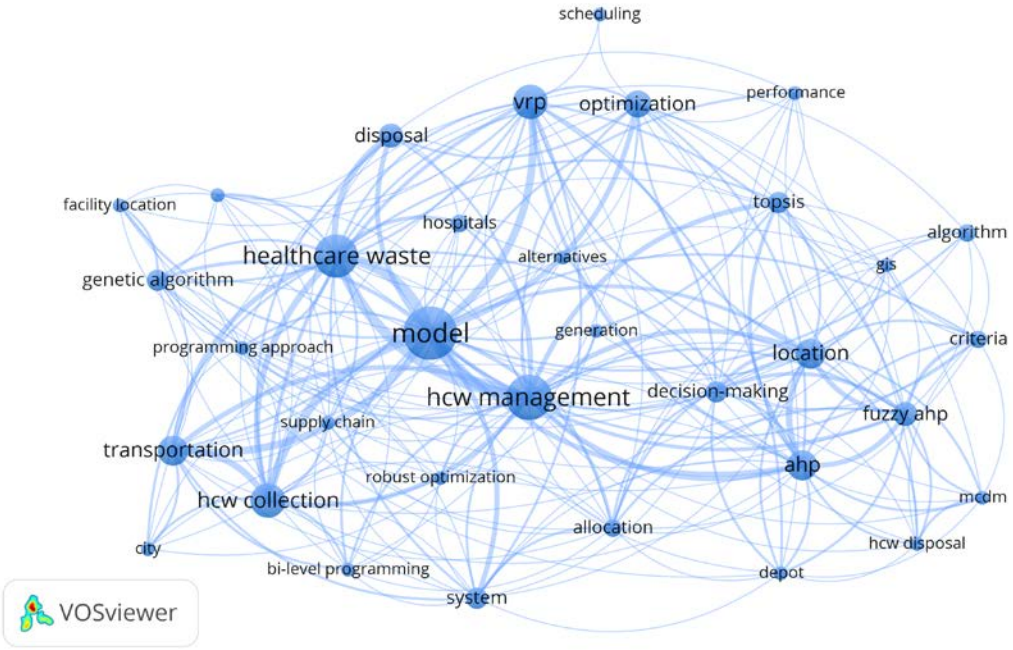
Najveći broj publikacija objavljen je u časopisima velikih izdavača (Tabela 1). Pored časopisa koji su navedeni u tabeli, pojedinačni radovi su zastupljeni u časopisima poput: *Waste Management & Research, Environmental Engineering and Management Journal, International Journal of Industrial Engineering Computations, International journal of engineering, Environmental Modeling & Assessment*, i drugim.

Tabela 1: Broj publikacija po časopisima i izdavačima

Izdavač	Časopis	Broj radova
Elsevier	Computers & Industrial Engineering	2
	Computers & Operations Research	1
	Journal of Cleaner Production	3
	Operations Research Perspectives	1
	Waste Management	3
Springer	Journal of Combinatorial Optimization	1
	Journal of Heuristics	1
	Journal of Material Cycles and Waste Management	2
	Advances in Computation and Intelligence, Proceedings	1
	Computational Logistics	1
MDPI	International Journal of Environmental Research and Public Health	3
Wiley	Risk Analysis	1
	Networks	1

3. OPTIMIZACIONI PROBLEMI, KRITERIJUMI I PRISTUPI REŠAVANJU

Optimizacioni problemi koji su najčešće rešavani u izdvojenim radovima se odnose na: određivanje lokacija za odlaganje medicinskog otpada ili postrojenja za njegov tretman, alokaciju generatora medicinskog otpada postrojenjima i rutiranje vozila za transport medicinskog otpada. U 14 radova se istovremeno rešava lokacijsko-alokacijski problem i problem rutiranja. Najveći broj problema, njih 29, pripada oblasti kombinatorne optimizacije i mešovitog celobrojnog programiranja. U devet radova se javljaju stohastički parametri, dok su u ostalim radovim parametri deterministički. Najčešće korišćene ključne reči u izdvojenim publikacijama su prikazane na Slici 2.



Slika 2: Najčešće korišćene ključne reči

Kriterijumi odlučivanja koji su razmatrani u izdvojenim radovima se mogu grupisati u četiri celine: ekonomski, tehnološki, ekološki i društveni (socijalni). U skoro polovini istraživanja se razmatra samo jedan kriterijum, najčešće transportni troškovi, dok su samo u tri uključeni kriterijumi iz sve četiri grupe. Pregled kriterijuma iz prve tri grupe je prikazan u Tabeli 2. Društveni kriterijumi se javljaju samo u četiri rada i odnose se na: (ne)prihvatanje stanovništva, kapacitete lokalnih zajednica i usklađenost zakonske regulative.

Tabela 2: Kriterijumi odlučivanja

Kriterijumi	**Publikacije**
Ekonomski kriterijumi	
Dužina transportne mreže	[3], [4], [8], [13], [21], [22], [25], [29], [30]
Troškovi transporta	[1], [6], [7], [9], [10], [14], [15], [16], [17], [19], [20], [25], [27], [28], [33], [35]
Troškovi investiranja u postrojenja	[5], [11], [20], [27], [28], [34], [36]
Operativni troškovi	[10], [14], [16], [17], [18], [20], [27], [35], [36]
Troškovi emisije štetnih gasova	[33]
Profitabilnost	[2]
Tehnički kriterijumi	
Udaljenost od vode	[25], [31]
Količina otpada	[6]

Kriterijumi	Publikacije
Stanje putne mreže	[6], [9], [31]
Stanje električne mreže	[9]
Transportni rizik	[8], [24]
Mogućnost ekspanzije	[35]
Ekološki kriterijumi	
Uticaj na populaciju	[15], [19], [31], [34], [35]
Uticaj na vodene resurse	[9], [31]
Uticaj na zemljište	[2], [9]
Rizik zaposlenih u transportu/postrojenjima	[5], [8], [10], [24], [27], [36]
Nespecificirani ekološki rizik	[5], [6], [11], [18], [34], [35]

U sedam radova su dimenzije problema bile takve da je moglo da se dobije egzakno rešenje. Za optimizaciju su najčešće korišćeći LINGO i CPLEX. U ostalim radovima su pristupi rešavanju zasnovani na heuristikama i metaheuristikama. Najčešće korišćena metaheuristika su Genetski algoritmi, koji se javljaju u trećini izabranih radova. Pored toga, korišćeni su i simulirano kaljenje, tabu pretraživanje, metoda promenljvih okolina i kolonija mrava. U samo dva rada su razvijane specijalne heuristike za rešavanje formulisanih problema.

Za razliku od radova koji se bave izborom tehnologije za tretman medicinskog otpada i izbor strategije za upravljanje medicinskim otpadom, koji su isključeni iz ove analize, metode višekriterijumskog odlučivanja, poput AHP, TOPSIS, VIKOR i PROMETHEE se javljaju samo u nekoliko radova.

4. ZAKLJUČAK

Predmet ovog rada je bio pregled radova objavljenih u časopisima koji se indeksirani u bazi Web of Science a koji sadrže optimizacione probleme vezane za upravljanje medicinskim otpadom. Broj ovih radova je relativno mali ali njihov broj se postepeno povećava poslednjih godina. Veći rast se može očekivati narednih godina, s obzirom na pojavu Covid-19 i povećanje količina infektivnog medicinskog otpada.

Kriterijumi koje treba optimizovati su svrstani u četiri grupe. Dominatno je prisustvo ekonomskih kriterijuma, odnosno troškovi transporta, investiranja, operativni troškovi itd, dok su društveni (socijalni) kriterijumi najmanje zastupljeni. Međutim, s obzirom na rizike koje postrojenje za tretman medicinskog otpada i njegov transport nose, društveni kriterijumi bi trebalo da budu više uključeni. Tu su, pre svega, značajni potencijalni otpor stanovništva koje živi u blizini lokacije predviđene za izgradnju postrojenja, kao i regulative lokalnih samouprava koje mogu predstavljati manju ili veću prepreku za tretman i transport medicinskog otpada.

LITERATURA

[1] Alagoz, AZ., Kocasoy, G. (2008). Improvement and modification of the routing system for the health-care waste collection and transportation in Istanbul. Waste Management, 28(8), 1461-1471.

[2] Alizadeh, M., Makui, A., Paydar, MM. (2020). Forward and reverse supply chain network design for consumer medical supplies considering biological risk. Computers & Industrial Engineering, 140, 106229.

[3] Alshraideh, H., Abu Qdais, H. (2017). Stochastic modeling and optimization of medical waste collection in Northern Jordan. Journal of Material Cycles and Waste Management, 19(2), 743-753.

[4] Baati, D., Mellouli, M., Hachicha, W. (2014). Designing a New Infectious Healthcare-Waste Management System in Sfax Governorate, Tunisia.2014 International Conference on Advanced Logistics & Transport (ICALT 2014), 350-355.

[5] Chaerul, M; Tanaka, M., Shekdar, A.V. (2008). Resolving complexities in healthcare waste management: a goal programming approach. Waste Management & Research, 26(3), 217-232.

[6] Chauhan, A., Singh, A. (2016). A hybrid multi-criteria decision making method approach for selecting a sustainable location of healthcare waste disposal facility. Journal of Cleaner Production, 139, 1001-1010.

[7] Hachicha, W., Mellouli, M., Khemakhem, M., Chabchoub, H. (2014). Routing System for Infectious Healthcare-Waste Transportation in Tunisia: A Case Study. Environmental Engineering and Management Journal, 13(1), 21-28.

[8] Hajar, Z., Btissam, D., Mohamed, R. (2018). Onsite Medical waste multi-objective vehicle routing problem with time windows. 2018 4th IEEE International Conference on Logistics Operations Management (GOL), 1-5.

[9] Hariz, HA., Donmez, CC., Sennaroglu, B. (2017). Siting of a central healthcare waste incinerator using GIS-based Multi Criteria Decision Analysis. Journal of Cleaner Production,166, 1031-1042.

[10] Homayouni, Z., Pishvaee, MS. (2020). A bi-objective robust optimization model for hazardous hospital waste collection and disposal network design problem. Journal of Material Cycles and Waste Management, 22(6), 1965-1984.

[11] Kargar, S., Paydar, MM., Safaei, AS. (2020). A reverse supply chain for medical waste: A case study in Babol healthcare sector. Waste Management, 113, 197-209.

[12] Komilis, D.P. (2016). Issues on medical waste management research. Waste Management, 100(48), 1-2.

[13] Liu, ZY., Li, Z., Chen, WM., Zhao, YP., Yue, HX., Wu, ZZ. (2020). Path Optimization of Medical Waste Transport Routes in the Emergent Public Health Event of COVID-19: A Hybrid Optimization Algorithm Based on the Immune-Ant Colony Algorithm. International Journal of Environmental Research and Public Health,17(16), 5831.

[14] Mantzaras, G., Voudrias, EA. (2017). An optimization model for collection, haul, transfer, treatment and disposal of infectious medical waste: Application to a Greek region. Waste Management, 69, 518-534.

[15] Medaglia, AL., Villegas, JG., Rodriguez-Coca, DM. (2009). Hybrid biobjective evolutionary algorithms for the design of a hospital waste management network. Journal of Heuristics,15(2), 153-176.

[16] Nolz, PC., Absi, N., Feillet, D. (2011). Optimization of Infectious Medical Waste Collection Using RFID. Computational Logistics, 6971, 86-100.

[17] Nolz, PC., Absi, N., Feillet, D. (2014). A Stochastic Inventory Routing Problem for Infectious Medical Waste Collection. Networks, 63(1), 82-95.

[18] Saeidi-Mobarakeh, Z., Tavakkoli-Moghaddam, R., Navabakhsh, M., Amoozad-Khaffli, H. (2020). A Bi-level Meta-heuristic Approach for a Hazardous Waste Management Problem. International Journal of Engineering, 33(7), 1304-1310.

[19] Saeidi-Mobarakeh, Z., Tavakkoli-Moghaddam, R., Navabakhsh, M., Amoozad-Khalili, H. (2020). A bi-level and robust optimization-based framework for a hazardous waste management problem: A real-world application. Journal of Cleaner Production, 252, 119830.

[20] Shi, LH., Fan, HM., Gao, PQ., Zhang, HY. (2009). Network Model and Optimization of Medical Waste Reverse Logistics by Improved Genetic Algorithm. Advances in Computation and Intelligence, Proceedings, 5821, 40-52.

[21] Shih, L.H. Chang, H.C. (2001). A routing and scheduling system for infectious waste collection. Environmental Modeling & Assessment, 6(4), 261-269.

[22] Shih, L.H. Lin, Y.T. (1999). Optimal routing for infectious waste collection. Journal of Environmental Engineering-ASCE, 125(5), 479-484.

[23] Sl. glasnik, br. 48/2019. (2019). Pravilnik o upravljanju medicinskim otpadom. Preuzeto 25 maja 2021, sa https://www.paragraf.rs/propisi/pravilnik-o-upravljanju-medicinskim-otpadom.html

[24] Taslimi, M., Batta, R., Kwon, C. (2020). Medical waste collection considering transportation and storage risk. Computers & Operations Research,120, 104966.

[25] Ulukan, HZ., Kop, Y. (2009). A Two Step Solution Procedure to a Fuzzy Medical Waste Disposal Facility Location Problem. Proceedings of the Joint 2009 International Fuzzy Systems Association World Congress and 2009 European Society of Fuzzy Logic And Technology Conference, 1450-1455.

[26] van Eck N, Waltman L. (2020). VOSviewer (Version 1.6.15). Leiden University Center for Science and Technology Studies. Preuzeto sa https://www.vosviewer.com/

[27] Wang, ZG., Huang, LF., He, CX. (2019). A multi-objective and multi-period optimization model for urban healthcare waste's reverse logistics network design. Journal of Combinatorial Optimization, https://doi.org/10.1007/s10878-019-00499-7.

[28] Wichapa, N., Khokhajaikiat, P. (2017). Solving multi-objective facility location problem using the fuzzy analytical hierarchy process and goal programming: a case study on infectious waste disposal centers. Operations Research Perspectives, 4, 39-48.

[29] Wichapa, N., Khokhajaikiat, P. (2017). Using the Hybrid Fuzzy Goal Programming Model and Hybrid Genetic Algorithm to Solve a Multi-Objective Location Routing Problem for Infectious Waste Disposal. Journal of Industrial Engineering and Management-JIEM, 10(5), 853-886.

[30] Wichapa, N., Khokhajaikiat, P. (2018). A Hybrid Multi-Criteria Analysis Model for Solving the Facility Location-Allocation Problem: A Case Study of Infectious Waste Disposal. Journal of Engineering and Technological Sciences, 50(5), 699-719.

[31] Wichapa, N., Khokhajaikiat, P. (2018). Solving a multi-objective location routing problem for infectious waste disposal using hybrid goal programming and hybrid genetic algorithm. International Journal of Industrial Engineering Computations, 9(1), 75-98.

[32] World Health Organization (WHO). (2020). Health-care waste. Preuzeto 27 maja 2021, sa http://www.who.int/topics/medical_waste/en/

[33] Wu, HL., Tao, FM., Yang, B. (2020). Optimization of Vehicle Routing for Waste Collection and Transportation. International Journal of Environmental Research and Public Health,17(14), 4963.

[34] Yao, LM., Xu, ZW., Zeng, ZQ. (2020). A Soft-Path Solution to Risk Reduction by Modeling Medical Waste Disposal Center Location-Allocation Optimization. Risk Analysis, 40(9), 1863-1886.

[35] Yazdani, M., Tavana, M., Pamucar, D., Chatterjee, P. (2020). A rough based multi-criteria evaluation method for healthcare waste disposal location decisions. Computers & Industrial Engineering, 143, 106394.

[36] Yu, H., Sun, X., Solvang, WD., Zhao, X. (2020). Reverse Logistics Network Design for Effective Management of Medical Waste in Epidemic Outbreaks: Insights from the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Outbreak in Wuhan (China). International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(5), 1770.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

UPRAVLJANJE ZAŠTITOM ŽIVOTNE SREDINE I ODRŽIVI RAZVOJ – OPŠTI PRISTUP

ENVIRONMENTAL MANAGEMENT AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT - GENERAL APPROACH

LJILJANA STOŠIĆ MIHAJLOVIĆ

Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija – odsek u Vranju, ljiljana.stosic.mihajlovic@akademijanis.edu.rs

Rezime: *Glavna ideja rada je da predstavi opšte koncepte upravljanja zaštitom životne sredine i održivog razvoja i efekte njihove primene. Savremeni proces ekonomskog razvoja odvija se u životnoj sredini, koristeći raspoložive resurse, stvarajući otpad i uzrokujući brojne uticaje. Usled povećane svesti o ograničenosti i iscrpljivotsi prirodnih resursa, čine se napori da se proces razvoja planira i kontroliše njegov odnos sa prirodom. Upravljanje životnom sredinom podržava proaktivno planiranje, razmišljanje i koordinaciju različitih aktivnosti, što će biti ključni elementi u budućem razvoju i kreiranju bogatstva budućih generacija. Aktivnosti upravljanja zaštitom životne sredine pomažu usmeravanju prelaska iz postojećeg okruženja orijentisanog ka eksploataciji i uglavnom retrospektivnog odgovora na izazove i mogućnosti, ka upravljanju održivim razvojem i zaštitom životne sredine koja podrazumeva proaktivnu procenu pretnji i prilika.*

Ključne reči: *životna sredina, održivi razvoj, upravljanje razvojem*

Abstract: *The main idea of the paper is to present general concepts of environmental management and sustainable development and the effects of their application.The modern process of economic development takes place in the environment, using available resources, creating waste and causing numerous impacts. Due to the increased awareness of the limitations and depletion of natural resources, efforts are being made to plan the development process and control its relationship with nature. Environmental management supports proactive planning, thinking and coordination of various activities, which will be key elements in the future development and wealth creation of future generations. Environmental management activities help to direct the transition from the existing exploitation-oriented environment and mainly retrospective response to challenges and opportunities, towards sustainable development management and environmental protection, which implies proactive assessment of threats and opportunities.*

Keywords: *environment, sustainable development, development management*

1. UVOD

Sve do 1960-ih godina priroda se tretirala kao rezervoar beskrajnih zaliha resursa koje će ljudi neograničeno koristiti radi podmirenja svojih potreba i materijalnog blagostanja, a sa druge strane, prirodna sredina se doživljavala kao neograničeni recipijent za reziduale privredne delatnosti. Upravljanje životnom sredinom bilo je nebitno, jer je to bilo izvan ekonomije. Tehnološka poboljšanja su se odnosila na uspešno korišćenje resursa, za poboljšljnje prinosa, energije ili snabdevanja, dok je preovladavajući stav prema zagađivanju bio da će priroda kasnije sama da „očisti“.

U drugoj polovini XX veka stvorena je krilatica „svemirski brod Zemlja“, koja je podrazumevala jedinstven, vrlo ranjiv, zajednički sistem za održavanje života, sa raznolikim skupom putnika. Poput preko-okeanskog broda iz 1920-ih, „svemirski brod Zemlja“ ima različite klase putnika: malo u prvoj klasi, koji žive u luksuzu – uglavnom u bogatim zemljama, ali i pojedinci i u siromašnim zemljama; brojniji putnici su u drugom razredu, koji žive u težim uslovima, uglavnom nezaposleni u razvijenim zemljama i građanstvo u zemljama u razvoju; i marginalizovani – u dalekim surovim sredinama i siromašni u ruralnim područjima bez zemlje. Kao i upravljanje brodom, upravljanje zaštitom životne sredine je umetnost koliko i nauka, uključuje specijaliste iz različitih grana i zahteva mnoge veštine kako bi se rešili neočekivani problemi. Ovo poređenje ukazuje da je vrlo teško ponuditi opšteprihvaćenu definiciju koja bi objasnila svu kompleksnost upravljanja zaštitom životne sredine uz stalnu težnju za daljim razvojem, ali na održivim osnovama. To može biti cilj ili vizija, pokušaj svesnog usmeravanja procesa, primena skupa alata, filozofska vežba

identifikovanja i uspostavljanja novih pogleda na svet i probleme. U svakom slučaju, upravljanje životnom sredinom i razvoj su dva polja koja zahtevju sinergijski multidisciplinarni pristup ovim važnim pitanjima.

2. RAZVOJ KONCEPATA UPRAVLJANJE ŽIVOTNOM SREDINOM I ODRŽIVI RAZVOJ

Društvene nauke kao i nauka o životnoj sredini imaju dugu tradiciju istraživanja odnosa čoveka i okoline (Barry, 1999). Kulturna ekologija nastala 1930-ih kao škola ekološke antropologije koja je istraživala stepen do koga, i na koji način, životna sredina određuje bogatstvo ljudoi. Do 1950-60-ih neki autori su smatrali da je to bolji način, od ekološkog determinizma ili ekoloških mogućnosti, da se prouči kako se čovek i društvo, kroz obrasce preživljavanja prilagođavaju datoj sredini (Ellen, 1982, 53).

Posle 1960-ih, interesovanje za kulturnu ekologiju je sve manje, a pažnja je preusmerena na istorijsku i političku ekologiju. Politička ekologija nastoji da razume odnose između društva i okruženja, ili preciznije odnose moći, u nameri da se razumeju i kontrolišu zainteresovane strane u zaštiti životne sredine (Briant i Bailey, 1997; Keil and et all, 1998, 1; Stott i Sullivan, 2000; Zimerer i Bassett, 2003).

Tokom 1970-ih mnogi autori su smatrali da je ekologija način da se istraži odnos čoveka i okoline. Čak se javlja termin oslobodilačka ekologija, koji se oslanja na socijalnu teoriju koja nudi političko i ekonomsko objašnjenje mnogih ekoloških problema, predstavljajući životnu sredinu kao područje borbe. Upravljanje životnom sredinom više se ne bavi samo fizičkim, uglavnom kvantitativnim podacima, već se formulišu politike, uključuju se fokus grupe, i mnogo više pažnje se poklanja efektima poslovnih aktivnosti na životnu sredinu.

Koncept ekološkog razvoja se javio početkom 1980-ih (Riddell, 1984; Glaeser, 1984) i naglasio je potrebu za restrukturiranjem društva i ekonomije, a da bi se to osiguralo, razvoj je podrazumevao saradnju sa prirodom, a ne protiv nje. Akcenat je bio na kvalitativnom razvoju, pre nego na prostom ekonomskom rastu, i na razvoj svesti o potrebi za održivošću. Razvijaju se posebna naučna područja, poput industrijske ekologije, agroekologije i ekološkog inženjerstva.

Danas je savremeno upravljanje životnom sredinom usmereno proaktivno, ka budućnosti i zahteva strateško upravljanje sa dovoljnim stepenom prilagođavanja i elastičnosti, sa naporom da se smanji rizik od „iznenađenja“ izazvanih nehotičnim prelaskom ekološkog praga ili prirodnih katastrofa. Savremeno upravljanje životnom sredinom postalo je više koordinaciono, participativno integrativno, što znači da teži manje ka razdvajanju a više ka većem ohrabrivanju i podršci mnogih zainteresovanih strana. Evidentan je pomak ka kontinuiranom poboljšanju upravljanja životnom sredinom, a ne komondovanje i rešavanje problema nakon što se pojave (Crognale, 2000). Upravljanje zaštitom životne sredine i održivi razvoj često prelaze sa opštih, teorijskih zagovaranja na pokušaj prepoznavanja raspoloživih putanja, odnosno scenarija, ka boljim uslovima za sve.

I danas, kao i oduvek, svet ima bogati Sever i siromašni Jug, sa dubokim džepovima bede i ekstremno bogatih na svim stranama sveta. Većina savremene svetske populacije teži materijalnom načinu života i obrascima ponašanja i potrošnje koji su karakteristični za bogate nacije. Manjina se raduje nematerijalnom „razvoju“, i boljitku povećanja zadovoljstva zbog kulturnog bogaćenja i većeg osećaja sigurnosti. Prvi, materijalni obrazac ponašanja je dominantan, a sa sve većim porastom broja stanovništva, postavlja se pitanje da li će postojeće prirodno okruženje sa svojim kapacitetima da podrži ovakvo ponašanje i očekivanja materijalnog blagostanja.

Menadžeri zaštite životne sredine bave se istraživanjem onoga što može biti učinjeno radi poboljšanja životnog stila, s obzirom na strukturu i funkcije okruženja. U tom smislu univerzalno prihvatljiva definicija razvoja je nemoguća. Neki doživljavaju razvoj više kao proces učenja i evolucije, sa fazama, pravilima i predvidljivošću (Dupakuier i Grebnik, 1983, 247). Geografi i geomorfolozi su pokošali da razumeju i modeliraju razvoj pejzaža; biolozi istražuju ontogenezu i filogeniju; psiholozi i edukatori akcenat stavljaju na razvoj ličnosti u učenje; ekonomisti smatraju da je razvoj višedimenzionalni proces koji uključuje materijalne, društvene i organizacione promene, ubrzani ekonomski rast, smanjenje apsolutnog siromaštva i nejednakosti. Većina autora prihvata antropocentrično gledište, stavljajući ljude na prvom mestu (Adams, 2001, 1; Sachs, 1992, 2) tako da životna sredina zauzima sporedno mesto. Međutim, ekolozi su ekocentričniji, tj. brigu o životnoj sredini smatraju makar toliko važnom koliko i zadovoljavanje ljudskih potreba. Postoji nada da ljudi mogu da kontrolišu razvoj, optimizovanom upotrebom raspoloživih prirodnih resursa, čime bi se izbegla ekološka katastrofa.

Razvoj se sve više posmatra kao neophodno smanjenje međugrupnih razlika, svojevrsna socijalna transformacija kroz upotrebu kapitala, tehnologije i znanja. U tom smislu, razvoj je nešto čime se uglavnom bave ekonomisti direktno promovisanjem ekonomskog rasta. U stvari, u periodu posle drugog svetskog rata, razvojem je smatrano iskorenjavanje siromaštva i gladi, a briga za životnu sredinu smatrana je irelevantnom i luksuzom za siromašne. Tek krajem 20. veka pojam razvoj uključuje i socijalna poboljšanja, tako da se

razvoj meri višefaktorskim indeksima, kao što su prosečni životni vek ili indeks slobode ili oni koje koristi Svetski razvojni institut (UNDP, 1991). Rastuća zabrinutost za kvalitet životne sredine i interesovanje za održivi razvoja podstaklo je uključivanje indeksa održivosti ili merenja razvoja životne sredine, kao stav da čovečanstvo ima ograničeno vreme da pokrene razvoj koji će ljudski rod održati na neodređeno vreme sa zadovoljavajućim kvalitetom života. Sada postoji „post-razvoj" škola mišljenja koja razvoj pripisuje čitavom nizu faktora koji uključuju zavisnost u odnosu na trgovinu, tehnologiju ili stranu pomoć. To je tamnozelena, tzv. duboko-zelena filozofija, pre sa ekocentričnim, nego sa antropocentričnim pogledom sa pristalicama koji se razlikuju prema više kriterijuma (obrazovanje, struka, pripadnosti). Cilj je harmonija između ljudi i prirode, protivni se upotrebi tehnologije koja zagađuje životnu sredinu i izražava težnju za razvojem nove etike i perspektive razvoja.

Iako koncept održivog razvoja datira od 1970-ih godina, širi interes za održivi razvoj podstaknut je teorijama o ograničenju rasta Rimskog kluba 1972. Održivi razvoj je ponudio put koji je poželjniji od „nultog rasta" (Meadovs et al, 1972; Colombo, 2001). Izveštaj Brundtland (Svetska komisija za životnu sredinu i Razvoj, 1987, 40) mnogo je učino na uspostavljanju ovog koncepta, i pri tom je ponudio korisnu definiciju: „da se udovolji potrebama i težnjama sadašnjosti bez ugrožavanja sposobnosti da se izađe u susret onima iz budućnosti". Međutim, ovakav stav nije precizan: neki održivi razvoj vide kao cilj, drugi kao promenu paradigme ili kao putokaza za razvoj. Clarke (2002) je primetio da je pretpostavka na kojoj se zasniva održivi razvoj da su zaštita životne sredine i ekonomski razvoj kompatibilni, jer zdrave zajednice zavise od zdravog okruženja, od zdravlja i sreće ljudi, i da ima dva cilja: ekonomski rast i zaštitu životne sredine. Zagovornici održivog razvoja ne insistiraju na kvalitetu životne sredine u izolaciji od rešavanja socijalne nejednakosti i siromaštva (Dovns, 2000).

I u savremenim uslovima, mnogi na održivi razvoj gledaju kao na dragocenu teoriju ili paradigmu, poput pravde ili slobode, sa težnjom da se ona pretoči u praksu. Upravljanje životnom sredinom može podržati održivi razvoj:

- Identifikovanjem ključnih problema,
- Identifikovanjem pretnji, prilika i ograničenja,
- Definisanjem strategija za koordinaciju različitih fizičkih, bioloških i društveno-ekonomskih pitanja.

Dugačka je lista koja ilustuje raznolikost nivoa na kojima počiva odgovornost za održivi razvoj, počev od pojedinaca, akademske zajednice, preduzeća, vlada, međunarodnih organizacija.

3. UPRAVLJANJE RAZVOJEM I UPRAVLJANJE ŽIVOTNOM SREDINOM

Koncept upravljanja razvojem je evoluirao nezavisno od koncepta upravljanja životnom sredinom. Ali se vrlo često ova dva koncepta preklapaju. Upravljanje razvojem je u osnovi manipulacija intervencijama usmerenim na promociju razvoja (Thomas, 1996; Kirkpatrick i sar., 2002). Menadžeri razvoja su usredsređeni na među-organizacijske veze, traže partnerstva, saradnju i koordinaciju sa političkim programima. Menadžeri zaštite životne sredine u tom kontekstu moraju da blisko sarađuju sa menadžerima za razvoj. Savremene ideje o razvoju i upravljanju životnom sredinom su mnogo pod uticajem zapadnih demokratija, posebno SAD. Međutim, izazovi sa kojima se danas suočava upravljanje razvojem i upravljanje životnom sredinom kontinuirano rastu, što vodi ka rastućoj zainteresovanosti za ekološka pitanja. Oni koji upozoravaju na postojeću i tek predstojeću krizu navode više uzroka, uključujući rast stanovništva, pohlepu, konzumerizam, „pogrešnu" razvojnu zapadnu etiku, neznanje, neoprez u razvoju i primeni tehnologija (Ehrlich, 1990; Barkey, 2000). Dakle, ima više razloga za zabrinutost koju donose savremeni izazovi. Prvo, procenjuje se da je svetska populacija pre 1000 godina bila 20-26 miliona; do 1500. godine nove ere verovatno je porasla na između 400 i 500 miliona; 2000. godine premašila je 6 milijardi ljudi (McNeill, 2000, 7) . Svetska populacija, koju 2019. godine čini 7,7 milijardi ljudi, do 2030. godine mogla bi se uvećati na 8,5 milijardi, do 2050. godine dostići će 9,7 milijardi, a do 2100. godine 10,9 milijardi ljudi. Indija će biti naseljenija od Kine, a u Nigeriji će se utrostručiti broj stanovnika, pokazuju rezultati globalne projekcije departmana za ekonomska i socijalna pitanja Ujedinjenih nacija. Projekcije su da će zbog jaza između razvijenih zemalja, čije stanovništvo stari, i siromašnih i slabije urbanizovanih zemalja s rastućom mlađom populacijom, aktuelna migraciona kriza i tragične regionalne tenzije imati dugoročni karakter (UNDP, 2019). Ima i drugačijih predviđanja, tako međunarodni tim naučnika objavio je u stručnom magazinu „The Lancet" da će do kraja ovog veka na Zemlji najverovatnije biti 8,8 milijardi stanovnika – dve milijarde manje nego što prognoziraju Ujedinjene nacije. Ima i drugih „razvojnih stresova" na životnu sredinu, počev od programa strukturnog prilagođavanja 1980-tih, porasta cena nafte, smanjena sredstava koja su na raspolaganju mnogim zemljama za bavljenje zagađenjem i očuvanjem životne sredine. Promene poput globalizacije i tehnološke inovacije takođe uzrokuju zaštitu životne sredine i probleme sa ljudskom dobrobiti.

Mali deo sveta, ako uopšte i postoji, danas je u potpunosti „prirodan“, u smislu da je ostao nepromenjen nekom ljudskom aktivnošću, tako da su sve brojniji zagovornici predloga da trenutna geološka jedinica, holocen, treba da bude zamenjena jedinicom antropocen ili „izmenjeno čovekom“, s obzirom da ljudi jedinstveno imaju potencijal, u odnosu na druga živa bića, za svesnu interakciju sa okolinom za proaktivno delovanje.

Ekološki mendžment nastoji da postigne potencijal koji treba da održi globalnu ravnotežu uz, ako je moguće, poboljšanje blagostanja ljudi (Stošić Mihajlović, Lj, 2018). Postoje različite mogućnosti reagovanja na ugrožavanje životne sredine:

1. Zanemariti pretnju,
2. Zagovarati napuštanje savremenih tehnologija i povratak na jednostavnije načine reprodukcije;
3. Koristiti sve dostupne „alate“, uključujući uspostavljanje nove etike za postizanje održivog razvoja,.

Prve dve će rezultirati katastrofom, jer nema šanse da se sadašnjih 7,8 milijardi ljudi vrati u prvobitni „Eden“ i da preživi. Mada, ima i onih koji veruju da će se čovečanstvo uspešno suočiti sa bilo kojim izazovom i preživeti (Wilson, 2002). Upravo, pažljiva upotreba tehnologija mora biti deo puta napred (Levis, 1992). Dosadašnje generacije su prouzrokovale toliku štetu, zbog koje će rehabilitacija zahtevati napore savremenika, umesto prostog oslanjanja na prirodu i njene kapacitete samoobnavljanja. Pri tome, drugi izbor ne postoji, a zadatak menadžera životne sredine je da upravljaju ovim procesima. Nepromišljeni, kratkoročni pristupi u fokusiranju i aktivnosti koje preusmeravaju pažnju sa drugih važnih zadataka, neće dati rezultate.

Važno je napomenuti da održivost i održivi razvoj nisu isti pojmovi. Prvi se odnosi na funkciju ekosistema kod regulacije korišćenja resursa i podrazumeva poštovanje zahteva za očuvanje biodiverziteta, a drugi pojam se odnosi na poboljšanje blagostanja i stilova života, ali da to ne naruši dostupnost prirodnih potencijala za buduće generacije.

Najšire prihvaćen savremeni cilj je održivi razvoj, ali će se mnogi tome odupreti, ako to znači da će više da košta; neki su istinski prihvatili, ali su neefikasni i ne postižu održivost razvoja. Potrebne su socijalne promene, a ekonomija, menadžment i legislativa moraju da evoluiraju u pravcu podrške upravljanju životnom sredinom. Optimistične prognoze pretpostavljaju da će budući napredak ljudi načiniti manje štetnim, drugi su pesimističniji i očekuju da će se ljudske navike malo promeniti.

Upravljanje životnom sredinom, kao nauka i praksa, razvija se toliko brzo, da nimalo nije lak odabir ključnih pitanja. Ulažu se ogromni napori da se poboljša razumevanje odnosa čoveka i okoline. Ekonomija životne sredine brzo evoluira, kao i ekološka pravda i ekološka etika. Ozelenjavanje ekonomije se poklapa sa opštim prihvatanjem da su ekološka pitanja važa, a ne luksuz ili prepreka za ekonomski razvoj. Upravljanje životnom sredinom takođe zahteva specifičnu veštinu razumevanja javnosti, kako bi se dobila podrška i kako bi se utvrdilo šta se može postići.

4. EKOLOŠKI OSETLJIV PRISTUP RAZVOJU

Ekološki osetljiv razvoj mogao bi se definisati kao optimalno korišćenje onoga što priroda pruža i održavanje te upotrebe na neodređeno vreme, izbegavajući ekonomski ili ekološki krah, kako bi se povećala dobrobit ljudi, sigurnost i prilagodljivost promenama (Barow, 2005, 20). Ovakav pristup podrazumeva kvalitetno upravljanje životnom sredinom, ali i izgrađenim društvenim institucijama, kao i sposobnost prepoznavanja, izbegavanja ili ublažavanja socijalno-ekonomskih i fizičkih izazova na promene u životnoj sredini. Ekološki osetljiv pristup razvoju promoviše unapređenje prilagodljivosti, prepoznavanje i izbegavanje pretnji po ljude, biosferu i fizičko i društveno izgrađeno okruženje, uz sanaciju degradiranih ekosistema.

Presudne osobine koje su u prošlosti osigurale opstanak ljudi jesu inteligencija i prilagodljivost. Iako se čini da je savremno ljudsko društvo postiglo ogroman napredak u sferi nauke i tehnologije, ipak je nedovoljno. To nedvosmisleno ilustruje poslednja pandemija korona virusom koja je pokazala svu ranjivost čovečanstva.

Svaki pojedinac mora donekle biti uključen u zaštitu i upravljanje životnom sredinom. Neki su aktivniji, jer su uključeni u upotrebu resursa i po prirodi posla više komuniciraju sa prirodom (poljoprivrednici, stočari, ribari, posebne interesne grupe, primenjena istraživanja). Menadžeri životne sredine trebaju da se bave i pronalaženjem načina kako da se najbolje iskoriste resursi, ali moraju da imaju dovoljna ovlašćenja za sprovođenje promena. Zatim, moraju da nadgledaju promene, predviđaju budući razvoj na osnovu razumevanja strukture i funkcija životne sredine, kako bi se osigurala maksimalna korisnost za ljude uz minimalnu štetu po životnu sredinu. Zbog toga je sve više onih koji promovišu nadzor javnosti i u upravljanju razvojem, u smislu da postoji sistem koji predviđa ili rešava probleme zaštite životne sredine i očuvanja resursa (Thomson, 2002, 5). Menadžeri zaštite životne sredine ne samo da moraju da se nose sa savremenim izazovima, već ih moraju modelirati i nadgledati da bi najpre stekli dovoljno znanja u nastojanju

da se steksne predstava o ranim upozorenjima, što je potrebno kako bi se stvorila veća šansa za uspeh. Prepoznavanje problema je neophodno kako bi se identifikovali uzročnici koji mogu da budu i indirektni ili kumulativni i iznenadni. Odgovori na probleme moraju da budu multidisciplinarni, kako bi se problemi uspešno rešili. To znači da je potrebna saradnja akademskih institucija, institucija i agencija za finansiranje, velikih korporacija, sociologa, antropologa, ekonomista, sve češće se u rešavanje problema uključuju geografi, fizičari, planeri i inženjeri različitih grana ali i pravnici. To znači da je prisutna raznolikost zainteresovanih strana koje su uključene u razvoj i zaštitu životne sredine i da je potrebna sinergijska akcija. Ne može biti u interesu savremenog društva da se rasprava o tako vitalnom pitanju kao što je okruženje, više zasniva na mitu nego na istini (Lomborg, 2001, 31). Potrebna je doza opreznosti kako bi se sprečilo da menadžeri zaštite životne sredine postanu birokrate koji nisu u kontaktu sa najboljim praksama

5. ZAKLJUČAK

Sve do polovine 20. veka preovladavalo je stanovište da prirodu treba proučavati, katalogizirati, pripitomljavati i – eksploatisati, i to praktično neograničeno. Granica je bila „otvorena“, a znaci stresa u životnoj sredini, osim lokalizovanih zagađenja i određenih gubitaka, nisu izazivali preveliku zabrinutost. U drugoj polovini 20.veka stavovi su počeli da se menjaju. Zabeležen je značajan porst interesovanja za ekološka pitanja. Danas je očigledno zagađenje vazduha, vode i tla, prekomerni ribolov i krivolov, seča šuma i drugi problemi u životnoj sredini. Istoričari životne sredine, paleoekolozi, arheolozi i geolozi navode obilje dokaza o katastrofama u prošlosti koje su zadesile životnu sredinu. Posledenjih pola veka pažnja je bila usredsređena na to kako ljudi utiču na životnu sredinu, u svojoj želji za zadovoljavanjem potreba i nagomilavanjem materijalnih bogatstava, umesto kako takve akcije utiču na ljude. Svest o prethodnom razvoju pomaže menadžerima zaštite životne sredine da procene buduće scenarije, povećaju interes javnosti za životnu sredinu i da pažnju usmere na proaktivno upravljanje. Održivi razvoj je postao istaknuti, sastavni deo, koji se ne može posmatrati nezavisno od životne sredine, a brojna istraživanja su potvrdila da je to koncept koji pomaže integrisanju upravljanja životnom sredinom i upravljanja razvojem. Ekološki osetljiv pristup razvoju podrazumeva zadovoljavanje ljudskih potreba na održivoj osnovi, uz minimalnu štetu po prirodu. Ekološka pitanja su toliko isprepletena sa društveno-ekonomskim pitanjima da se jednostavno moraju posmatrati zajedno i rešavati na globalnom nivou.

LITERATURA

[1] Adams, W.M. (2001). Green Development: environment and sustainability in the third *world* (2nd edn.). London, Routledge (1st edn. 1991). [Excellent introduction to environment and development, sustainable development and the background of environmentalism.]

[2] Allen, T. and Thomas, A.R. (eds) (2000). Poverty and Development into the 21st Century. Oxford University Press, Oxford. [Chapters introduce development and also environmental degradation issues.

[3] Brenton, T. (1999). The Greening of Machiavelli: the evolution of international environmental politics. The Royal Institute of International Affairs, London.

[4] Bryant, R.L. and Bailey, S. (1997). Third World Political Ecology. Routledge, London.

[5] Barry, J. (1999). Environmental and Social Theory. Routledge, London.

[6] Barkey, M.B. (ed.) (2000). Environmental Stewardship in the Judeo-Christian Tradition: Jewish, Catholic, and Protestant wisdom on the environment. Acton Institute for the Study of Religions and Liberty, Grand Rapids (MI).

[7] Barrow, C.J. (2005) Social Impact Assessment: an introduction. Arnold, London., 20.

[8] Chiras, D., Reganold, J. Owen, O. (2002). Natural Resource Conservation:management for a sustainable future. Prentice-Hall, New York

[9] Clarke, A.H. (2002). Understanding sustainable development in the context of other emergent environmental perspectives. Policy Sciences 35, 69–90.

[10]Crognale, G. (1999). Environmental Management Strategies: the 21st century perspective. Pearson-Prentice Hall, London.

[11]Downs, T. (2000) Challenging the culture of underdevelopment and unsustainability. *Journal* of Environmental Planning and Management 43(5), 601–22.

[12] Dupâquier, J. and Grebenik, E. (eds) (1983) *Malthus Past and Present*. Academic Press, London.

[13] Ehrlich, P.R. and Ehrlich, A.H. (1990) *The Population Explosion*. Simon and Schuster, New York.

[14]Ellen, R. (1982). Environment, Substance and Systems: the ecology of small scale social *formations.* Cambridge University Press, Cambridge.

[15] Keil, R., Bell, D.V.J., Penz, P. and Fawcett, L. (eds.) (1998). Political Ecology: global and local. Routledge, London. [Case studies providing insight into contemporary environment and development issues from a political ecology standpoint.]

[16] Glaeser, B. (1984). Ecodevelopment: concepts, policies, strategies. Pergamon, New York.

[17] Keil, R., Bell, D.V.J., Penz, P. and Fawcett, L. (1998). Political Ecology: global and local. Routledge, London.

[18] Kirkpatrick, C., Clarke, R. and Polidano, C. (2002). Handbook on Development Policy and Management. Edward Elgar, Cheltenham.

[19] Lewis, M. (1992). Green Delusions: an environmentalist critique of radical *environmentalism*. Duke University Press, Durham (NC).

[20] Lomborg, B. (2001). The Sceptical Environmentalist: measuring the real state of the world. (trans. H. Mathews) Cambridge University Press, Cambridge, 31.

[21] McNeill, J.R. (2000). Something New Under the Sun: an environmental history of the twentieth century. W.W. Norton & Co., New York. Penguin edition available.

[22] Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J. and Behrens, III, W.W. (1972) The Limits to Growth (a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind). Universal Books, New York.

[23] O'Riordan, T. (1995). Environmental Science for Environmental Management. Longman, Harlow. [Good introduction to the physical aspects of environmental management, but with limited focus on developing countries.]

[24] Power, M. (2003). Rethinking Development Geographies. Routledge, London. [Chapters 1 and 2 are a stimulating introduction to development.]

[25]Pepper, D. (1984). The Roots of Modern Environmentalism. London, Croom Helm. [Introduction to the evolution of environmental thought and environmentalism.]

[26] Porter, P. and Shepard, E. (1998). A World of Difference: society, nature, development. Guilford Publications, New York (NY). [Focuses on development and environment.]

[27] Riddell, R. (1981). Ecodevelopment: economics, ecology and development. Gower, Farnborough.

[28] Stott, P. and Sullivan, S. (2000). Political Ecology: science, myth and power. Arnold, London. [A political ecology focus on developing countries and environmental policies affecting them.]

[29] Stošić Mihajlović, Lj. (2018). Ekološki menadžment. Visoka poslovna škola, Vranje.

[30] Sachs, W. (1992). The Development Dictionary: a guide to knowledge as power. Zed, London.

[31] Thompson, D. (2002). Tools for Environmental Management: a practical introduction and guide. New Society Publishers, Gabriola Island (BC, Canada).

[32] UNDP (1991). Human Development Report 1991. Oxford University Press, Oxford.

[33] Zimmerer, K.S. and Bassett, T.J. (2003). Political Ecology: an integrative approach to geography and environment–development studies. Guilford Publications, New York (NY).

[34] Wilson, E.O. (2002) *The Future of Life.* Little, Brown & Co., Boston (MD) World Development Institute (2002) *World Development Indicators 2002*. Available on CD-ROM by faxing: 1-800-645-7247 or available online at http://www.worldbank.org/data/wdi2002/index.htm. [Indicators for measuring development and sustainable development.]

[35] World Commission on Environment and Development (1987) *Our Common Future* (the Brundtland Report). Oxford University Press, Oxford. [This book played a key role in establishing sustainable development.]

[36] World Population Prospects 2019, UN Department of Economic and Social Affairs Population Division

XLVIII Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23. September 2021.
MATΦ University of Belgrade Faculty of Mathematics
Mathematical Institute SANU

A MATHEMATICAL APPROACH PROPOSAL TO ANALYZE SUSTAINABLE DEVELOPMENT PERFORMANCE

BURCU YILMAZ KAYA[1], YEŞIM OK[2]

[1] Industrial Engineering Department, Gazi University, Turkey, burcuyilmaz@gazi.edu.tr
[2] Industrial Engineering Department, Atatürk University, Turkey, yesim.ok@atauni.edu.tr

Abstract: *Mathematical approaches are paramount and substantial tools to scientifically model and apprehend all dimensions related to any given real life problem in all aspects, where, multi-criteria decision making methods are widely used to obtain robust and reliable solutions to a variety of these real life decision problem. Entropy method is a trustful multi-criteria decision making tool to order criteria in importance and to distract data from subjective nature of the prioritization process. As global resource management and sustainability issues are prior and most critical issues of people and the planet, 17 sustainable development goals (SDGs) defined by UN Department of Economic and Social Affairs were evaluated in this study prior to their suitability and fulfilment levels for seven metropolises of Turkey. As consequences, SDG priorities were analysed considering real position of sustainability policy practices, and improvable points regarding sustainable development performances were addressed.*

Keywords: *Sustainable Development Goals, Multi-criteria decision making, Entropy, UN sustainability parameters.*

1. INTRODUCTION

While for last two years all concerns and resources have to be focused on CovID-19 pandemic and its effects, once this unfortunate and problematic period is over, another critical issue of vital importance for people, planet and prosperity will come to light; global resource management and sustainability.

Although different institutions and organizations around the globe are working on this issue both locally and on a wider scale to maintain the planet Earth, United Nations' (UN) aspect could be considered more valid in terms of handling the whole world under a single roof and ensuring homogeneity at the level of welfare around the world with improvements to be made in places where it is needed.

Entropy is a thermodynamic concept firstly proposed in 1865 by German physicist R. Clausius [2] to describe the disorder or chaos of a thermodynamic system, where Shannon [12] introduced entropy into information theory, which measures the uncertainty of signals in information sources, called information entropy. As a multi-criteria decision making method, Entropy method is a tool that is frequently used to investigate the criteria in decision problems and to distract from the subjective nature of the prioritization process [7]. Entropy method is an objective importance assessment tool as one of its main advantages, where, unlike other similar multi-criteria decision making methodologies it does not require pair-wise comparison operations, hence, does not increase process time and complication levels in accordance with increased complexity of problem.

In this respect, 17 sustainable development goals (SDGs) defined by UN Department of Economic and Social Affairs [16] were evaluated in this study prior to their suitability and fulfillment levels regarding seven metropolises of Turkey. As consequences, points open to improvement and the priorities of 17 SDGs considering the sustainable development performances were computed with regard to the extent of the global SDG set not only in a western standpoint but considering real position of sustainability policy practices, by the results of calculations practiced with real life data within the framework of the proposed model.

Remainder of this paper is organised as, Entropy multi-criteria decision making method and related literature review were in Section 2, Section 3 and obtained results were revealed, where, in Section 4 the conclusion and possible future directions of current study were presented.

2. ENTROPY METHOD

Entropy method mainly uses the magnitude of the entropy value to represent the uncertainty included in information and calculates the relative weighting. The basic calculation steps of Entropy [1, 2, 12] were described herinafter.

Step 1. A decision matrix *($[X]_{m*n}$)* consisting of x_{ij} values representing the assessment values of m alternatives based on n criteria ($i=1,..., m; j=1,... n$), regarding the handled problem data, was constituted.

Step 2. Normalized decision matrix *($[P]_{m*n}$)* consisting of p_{ij} values calculated with the employment of Eq. (1), Eq. (2) and Eq. (3) was constituted.

$$p_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} x'_{ij}}, \qquad \forall\, i,j \tag{1}$$

Where,

$$x'_{j(maximization)} = \frac{x_{ij} - \min_i\{x_{ij}\}}{\max_i\{X_j\} - \min_i\{X_j\}} \tag{2}$$

$$x'_{j(minimization)} = \frac{\max_i\{X_j\} - x_{ij}}{\max_i\{X_j\} - \min_i\{X_j\}} \tag{3}$$

Since objective function types and criteria value units might differ, to be able to eliminate the impact of different units and achievement directions on the evaluation results, the assessment values of alternatives could be standardized with Eq. (2) and Eq. (3).

Step 3. Information entropy values, denoted by E_j, related to each criterion was calculated with the employment of Eq. (4) and Eq. (5). Here, calculated E_j values have to be between the range of [0, 1], where, π is a non-negative constant.

$$E_j = -\pi \sum_{i=1}^{m} p_{ij} \ln p_{ij}, \qquad \forall\, j \tag{4}$$

$$\pi = 1/\ln m \tag{5}$$

Step 4. The degree of diversification of the information, denoted by d_j, related to each criterion was calculated with Eq. (6)

$$d_j = 1 - E_j, \qquad \forall j \tag{6}$$

Step 5. The weighting score, denoted by W_j, related to each criterion was calculated with Eq. (7), where the utility (achievement) values, denoted by U_i, related to each alternative could also be revealed with the employment of Eq. (8).

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^{n} d_j}, \qquad \forall j \tag{7}$$

$$U_i = \sum_{j=1}^{n} p_{ij}\, w_{ej}, \qquad \forall i \tag{8}$$

Having a smaller entropy indicates higher degrees of dispersion for that criterion, which means the greater the usefulness of the information included by the assessment regarding that criterion will lead the highest weighting value for that criterion.

As instances of recent studies regarding sustainability and environmental researches performed with Entropy method in the last decade, Torkayesh et al. [13] considered social sustainability targets, and analyzed SDGs performances of Group of Seven (G7) countries with Entropy, CRITIC and CoCoSo methods. Jin et al. [4] handled human development index (HDI), then identified and weighted 12 criteria with Entropy method regarding performance values of 163 countries. Liao et al. [7] performed an assessment on sustainable development performances of provinces of China with Entropy and TOPSIS methods based on official statistics between 2012-2018. Zhang et al. [19] developed an indicator system to evaluate associated risks to land finance and urbanization strategies for regional sustainability concerns with AHP and Entropy methods. Zeng et al. [20] proposed a framework to assess suppliers employing Entropy method and neutrosophic fuzzy numbers. Toumi et al. [14] established a sustainable development index for eleven Latin American countries and determined index subsystem weightings with Entropy method. He at al. [3] constructed an index system of social vulnerability considering rapid urbanization for Xi'an, China, and weighted effecting factors with Entropy method. Peng et al. [10] provided an alternative model for measuring sustainability of urban regeneration with fuzzy set theory, Monte Carlo simulation and Entropy method. Bakhoum and Brown [1]

assessed structural materials in terms of sustainability levels with AHP, Entropy and TOPSIS methods. Yu et al. [18] identified sustainability indicators for intelligent buildings with Entropy and fuzzy AHP methods. Munier [9] addressed a sustainability indicators set to measure performances of cities with Entropy method.

3. APPLICATION

17 SDGs defined by UN Department of Economic and Social Affairs [16] wereconsidered as sustainability indicators, hence problem criteria set, in this study. These SDGs could be articulated briefly as *SDG_1: No poverty* (ending poverty in all its forms), *SDG_2:Zero hunger* (achieving food security and improved nutrition and promote sustainable agriculte), *SDG_3:Good health and well-being* (ensuring healthy lives and promoting well-being for all at all ages), *SDG_4:Quality education* (ensuring inclusive and equitable quality education and promoting lifelong learning opportunities for all), *SDG_5:Gender equality* (achieving gender equality and empowering all women and girls), *SDG_6:Clean water and sanitation* (ensuring availability and sustainable management of water and sanitation for all), *SDG_7:Affordable and clean energy* (ensuring access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all), *SDG_8:Decent work and economic growth* (promoting sustained, inclusive and sustainable economic growth, full and productive employment and decent work for all), *SDG_9: Industry, innovation and infrastructure* (building reslient infrastructure, promoting inclusive and sustainable industrialization and foster innovation), *SDG_{10}:Reduced inequalities* (reducing inequality within and among countries), *SDG_{11}: Sustainable cities and communities* (making cities and human sttlements inclusive, safe, seilient and sustainable), *SDG_{12}: Responsible consumption and production* (ensuring sustainable consumption and production patterns), *SDG_{13}: Climate action* (taking urgent action to combat climate change and its impacts), *SDG_{14}: Life below water* (conserving and sustainably using the marine resources), *SDG_{15}: Life on land* (protecting, resring and promoting sustainable use of terrestrial ecosystems, combatting desertification and reverse land degradation and biodiversity loss), *SDG_{16}: Peace, justice and strong institutions* (promoting peaceful and inclusive societies for sustainable development, providing access to justice for all), and *SDG_{17}: Partnerships for the goals* (revitalizing the global partnership for sustainable development).

The first seven metropolices representing each geographical region of Turkey according to population density data announced by TURKSTAT for 2020 [15] were determined to be analysed as alternatives; which could be listed as İstanbul, Ankara (the Capital), İzmir, Antalya, Şanlıurfa, Samsun, and Van, respectively. These cities were selected mainly to be able to represent different implementation levels regarding different economic and cultural structures, and, sustainability policy efficiency related to different regions of the country. Official 2020 TURKSTAT statistics were used as input data [15], and the decision matrix constituted in this regards was presented in Table 1 (O.F.: Objective function type).

Table 1: Performance assessments of alternatives according to 17 SDGs

	SDG1	SDG2	SDG3	SDG4	SDG5	SDG6	SDG7	SDG8	SDG9	SDG10	SDG11	SDG12	SDG13	SDG14	SDG15	SDG16	SDG17
O.F.	*min*	*min*	*min*	*max*	*min*	*max*	*max*	*max*	*max*	*min*	*max*	*min*	*min*	*max*	*max*	*min*	*max*
IST	*19*	*16,2*	*7,4*	*1,5*	*38*	*100*	*257*	*86798*	*45*	*6,58*	*0,8*	*262*	*195*	*100*	*13,6*	*0,47*	*0,051*
ANK	*20*	*15,7*	*7,5*	*1,4*	*45*	*98*	*72*	*71027*	*43*	*12,12*	*0,9*	*126*	*280*	*98*	*45*	*0,46*	*0,048*
IZM	*20*	*16,1*	*7,5*	*1,1*	*38*	*99*	*1071*	*60554*	*43*	*13,37*	*0,8*	*176*	*187*	*99*	*27,4*	*0,52*	*0,045*
ANT	*20*	*18,3*	*6,6*	*1,3*	*38*	*83*	*37*	*60632*	*47*	*14,14*	*0,8*	*265*	*217*	*83*	*18,1*	*0,41*	*0,075*
SUR	*13*	*17,6*	*15*	*9,5*	*36*	*6,2*	*0*	*17465*	*31*	*6,58*	*0,3*	*127*	*44*	*6,2*	*54,6*	*0,66*	*0,049*
SAM	*20*	*18*	*8,6*	*4,9*	*32*	*66*	*83*	*34800*	*47*	*7,24*	*0,8*	*166*	*138*	*66*	*38,6*	*0,63*	*0,038*
VAN	*19*	*14,7*	*11*	*8,4*	*38*	*46*	*0*	*18708*	*36*	*1,06*	*0,4*	*169*	*24*	*46*	*13,8*	*0,54*	*0,073*

Information presented in Table 1 was handled and data regarding each criterion representing the performance values on each alternative was normalized by the employment of Eq. (1)- Eq. (3), where, the results related to these operations were presented in order to provide convenience to readers in Table 2. After normalization and standardization of input data (Table 2), calculated E_j, d_j, and W_j values with Eq. (4) – Eq. (7) were presented in Table 3. The illustrative representations of relationship between the E_j, d_j, and W_j values related to each criteria (SDGs) were represented comperatively in Figure 1, where, the importance (weighting) values of SDGs indicating their impacts in regards to real-life practices (Fig.2 - a), and the achievement (utility) levels

considering seven metropolitans representing seven regions of Turkey (Fig.2 – b) were presented in Figure 2, hereinafter.

Table 2: Normalization outputs

	SDG1	SDG2	SDG3	SDG4	SDG5	SDG6	SDG7	SDG8	SDG9	SDG10	SDG11	SDG12	SDG13	SDG14	SDG15	SDG16	SDG17
O.F.	*min*	*min*	*min*	*max*	*min*	*max*	*max*	*max*	*max*	*min*	*max*	*min*	*min*	*max*	*max*	*min*	*max*
IST	*0,14*	*0,58*	*0,91*	*0,05*	*0,51*	*1*	*0,24*	*1*	*0,87*	*0,58*	*0,85*	*0,02*	*0,33*	*1*	*0*	*0,76*	*0,35*
ANK	*0,09*	*0,74*	*0,90*	*0,04*	*0*	*0,98*	*0,07*	*0,77*	*0,75*	*0,15*	*1*	*1*	*0*	*0,98*	*0,77*	*0,79*	*0,26*
IZM	*0*	*0,63*	*0,90*	*0*	*0,50*	*0,99*	*1*	*0,62*	*0,74*	*0,06*	*0,91*	*0,64*	*0,36*	*0,99*	*0,34*	*0,55*	*0,19*
ANT	*0,06*	*0*	*1*	*0,03*	*0,52*	*0,82*	*0,04*	*0,62*	*1*	*0*	*0,88*	*0*	*0,25*	*0,82*	*0,11*	*1*	*1*
SUR	*1*	*0,22*	*0*	*1*	*0,70*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0,58*	*0*	*0,99*	*0,92*	*0*	*1*	*0*	*0,28*
SAM	*0*	*0,11*	*0,77*	*0,45*	*1*	*0,64*	*0,08*	*0,25*	*0,99*	*0,53*	*0,84*	*0,71*	*0,56*	*0,64*	*0,61*	*0,14*	*0*
VAN	*0,19*	*1*	*0,52*	*0,86*	*0,52*	*0,42*	*0*	*0,02*	*0,35*	*1*	*0,17*	*0,69*	*1*	*0,42*	*0,01*	*0,49*	*0,93*

Table 3: Output values and importance weights regarding SDGs

SDGs	SDG1	SDG2	SDG3	SDG4	SDG5	SDG6	SDG7	SDG8
E_j	*0,545*	*0,828*	*0,911*	*0,633*	*0,901*	*0,901*	*0,483*	*0,8*
d_j	*0,455*	*0,172*	*0,089*	*0,367*	*0,099*	*0,099*	*0,517*	*0,2*
W_j	*0,115*	*0,043*	*0,022*	*0,092*	*0,025*	*0,025*	*0,13*	*0,05*

SDGs	SDG9	SDG10	SDG11	SDG12	SDG13	SDG14	SDG15	SDG16	SDG17
E_j	*0,898*	*0,8*	*0,877*	*0,83*	*0,854*	*0,901*	*0,743*	*0,865*	*0,267*
d_j	*0,102*	*0,2*	*0,123*	*0,17*	*0,146*	*0,099*	*0,257*	*0,135*	*0,733*
W_j	*0,026*	*0,051*	*0,031*	*0,043*	*0,037*	*0,025*	*0,065*	*0,034*	*0,185*

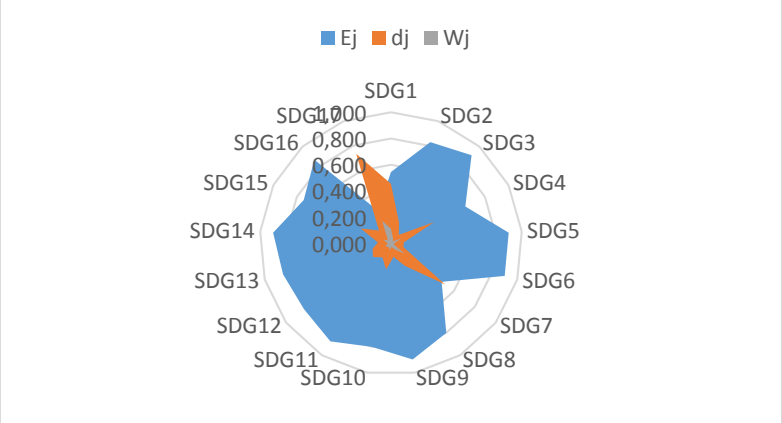


Figure 1: Relationship between E_j, d_j, and W_j output values

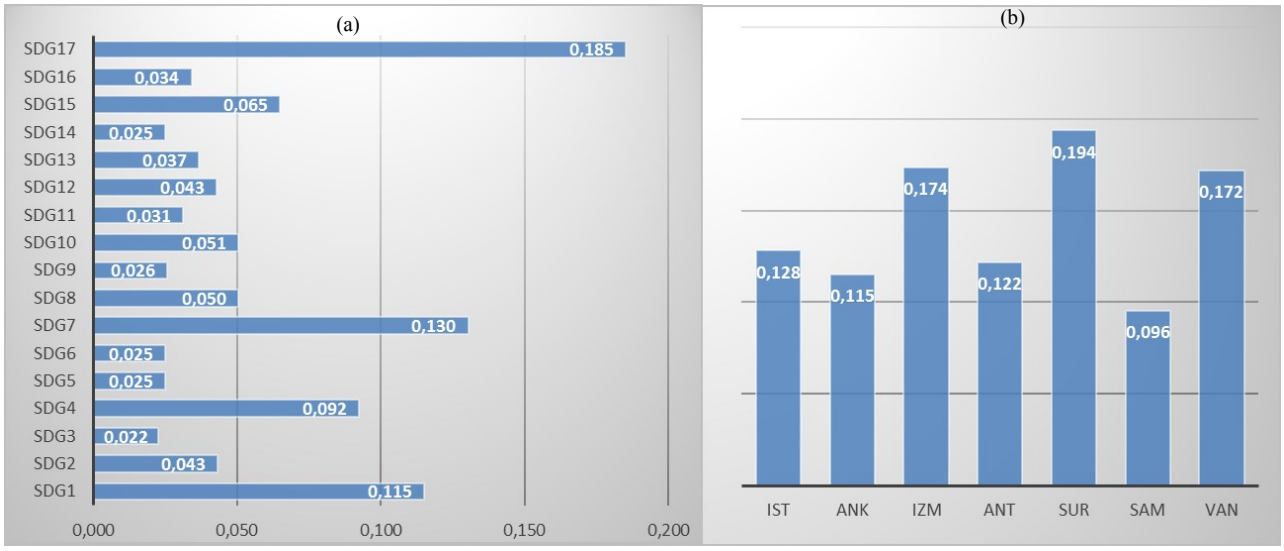


Figure 2: Importance of SDGs and achievement performance levels

Figure 1 shows the relationship between E_j and W_j values; having a smaller entropy indicates higher degrees of impact or importance for that criterion since the usefulness of the information comprised by that criterion will be higher than the ones having bigger entropy values, as it was suggested by Shannon [12].

As the results indicate (Figure 2), SDGs having the greater impact on achievement of targeted sustainability goals are found to be "*Partnerships for the goals", "Affordable and clean energy"*, and "*No poverty"* regarding data related to cities representing seven different regions. These results could be interpreted as the impact levels calculated using real-life data indicate that these three SDGs are the top three ones that legal enforcement and supervisory institutions put the most emphasis on in practice and provided the city citizens with the highest achievement levels. The achievement (utility) levels could be examined by the U_i output values as Chen [2] suggests, in terms of having a comparison debate related to the input information of alternatives regarding the evaluation criteria. According to the calculated U_i values, the most successful city among seven metropolises representing seven different geographical regions of Turkey was found to be Şanlıurfa according to real-life sustainable development goal practices, and it was followed by Van and İzmir; wherein, two biggest cities of Turkey followed them, as İstanbul and Ankara, respectively. The one most open to improvement was found as Samsun, representing the north region of Turkey. SDGs regarding good health and well-being, gender equality, clean water and sanitation, industry, innovation and infrastructure, life below water, peace, justice and strong institutions appeared to be have fallen behind in order of importance calculated regarding the fulfillment levels, in these respects, policy makers and non-governmental organizations could deem more emphasis on these issues might be more beneficial in terms of achieving higher sustainable development utility levels.

4. CONCLUSION

Implementation and achievement performance levels of sustainability policy practices regarding seven cities representing seven different regions of Turkey were examined with Entropy multi-criteri decision making method, in this study.

Entropy method has found a wide application area in the literature as an objective multi-criteria decision making method, hence, has become one of the preferred and frequently used importance assessment methods in applications because of the simplicity in computation operations it provides to decision makers, besides allowing the criterion weight to be found without the need of subjective evaluations, and, allowing to do a quick analyze of fulfillment or performance levels of alternatives based on the input data used, without the need of employing an additional method. This proposed approach could also be considered to be used in other application fields for different types of problems.

Future directions could be addressed as widening the research focus by considering more or all cities of a country, or, making comparisons between different countries or regions, or among country communities according to their own fulfillment levels in the basis of defined SDGs.

Acknowledgement

The authors acknowledge that this paper is a contribution of original research work and bears no conflict of interest, and has not been funded by any agency or institution.

REFERENCES

[1] Bakhoum, E. S., & Brown, D. C. (2013). A hybrid approach using AHP-TOPSIS-Entropy methods for sustainable ranking of structural materials. International Journal of Sustainable Engineering, 6(3), 212-224.

[2] Chen, C. H. (2020). A novel multi-criteria decision-making model for building material supplier selection based on Entropy-AHP weighted TOPSIS. Entropy, 22, 259.

[3] He, Y., Huang, X., Zhai, L., Yan, Q., & Yang, X. (2016). Assessment and influencing factors of social vulnerability to rapid urbanization in urban fringe: A case study of Xi'an. Dili Xuebao/Acta Geographica Sinica, 71(8), 1315-1328.

[4] Jin, H., Qian, X., Chin, T., & Zhang, H. (2020). A global assessment of sustainable development based on modification of the human development index via the Entropy method. Sustainability (Switzerland), 12(8)

[5] Li, W., Yi, P., & Zhang, D. (2018). Sustainability evaluation of cities in Northeastern China using dynamic TOPSIS-Entropy methods. Sustainability (Switzerland), 10(12)

[6] Li, Y., Gao, L., Niu, L., Zhang, W., Yang, N., Du, J., Li, J. (2021). Developing a statistical-weighted index of biotic integrity for large-river ecological evaluations. Journal of Environmental Management, 277

[7] Liao, Y., Ma, Y., Chen, J., Liu, R. (2020). Evaluation of the level of sustainable development of provinces in China from 2012 to 2018: A study based on the improved Entropy coefficient-TOPSIS method. Sustainability, 12(7):2712.

[8] Liang, J., Shi, Z. D. & Wierman, M. J. (2006). Information entropy, rough entropy and knowledge granulation in incomplete information systems. Int J. Gen. Syst., 35, 641–654.

[9] Munier, N. (2011). Methodology to select a set of urban sustainability indicators to measure the state of the city, and performance assessment. Ecological Indicators, 11(5), 1020-1026.

[10] Peng, Y., Lai, Y., Li, X., & Zhang, X. (2015). An alternative model for measuring the sustainability of urban regeneration: The way forward. Journal of Cleaner Production, 109, 76-83.

[11] Reddy, A. S., Kumar, P. R., & Raj, P. A. (2019). Entropy-based fuzzy TOPSIS framework for selection of a sustainable building material. International Journal of Construction Management,

[12] Shannon, C. E. A. (1948). Mathematical theory of communication. Bell Syst. Tech. J., 27, 379–423.

[13] Torkayesh, A. E., Ecer, F., Pamucar, D., & Karamaşa, Ç. (2021). Comparative assessment of social sustainability performance: Integrated data-driven weighting system and CoCoSo model. Sustainable Cities and Society, 71

[14] Toumi, O., Le Gallo, J., & Ben Rejeb, J. (2017). Assessment of Latin American sustainability. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 78, 878-885.

[15] TURKSTAT: Statistical Data Portal, https://cip.tuik.gov.tr/#, Last access: 20.06.2021

[16]United Nations Department of Economic and cosial Affairs: Sustainable Development. https://sdgs.un.org/goals, Last access: 01.05.2021

[17] Yan, J., Feng, C., & Li, L. (2014). Sustainability assessment of machining process based on Extension Theory and Entropy weight approach. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 71(5-8), 1419-1431.

[18] Yu, J. Q., Dang, B., Clements-Croome, D., & Xu, S. (2011). Sustainability assessment indicators and methodology for intelligent buildings. Advanced Materials Research, 368-373, 3829–3832.

[19] Zhang, B., Li, J., Tian, W., Chen, H., Kong, X., Chen, W., Zhao, M., & Xia, X. (2020). Spatio-temporal variances and risk evaluation of land finance in china at the provincial level from 1998 to 2017. Land use Policy, 99.

[20] Zeng, S., Hu, Y., Balezentis, T., & Streimikiene, D. (2020). A multi-criteria sustainable supplier selection framework based on neutrosophic fuzzy data and Entropy weighting. Sustainable Development, 28(5), 1431-1440.

XLVIII Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23. September 2021.
MATΦ University of Belgrade Faculty of Mathematics
Mathematical Institute SANU

THE STRUCTURE OF OPTIMAL SOLUTIONS FOR HARVESTING A RENEWABLE RESOURCE

DMITRY GROMOV[1], THORSTEN UPMANN[2,3]

[1] Faculty of Applied Mathematics and Control Processes, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia, d.gromov@spbu.ru

[2] Helmholtz-Institute for Functional Marine Biodiversity at the University of Oldenburg (HIFMB), Ammerländer Heerstraße 231, 23129 Oldenburg, Germany, Thorsten.Upmann@hifmb.de

[3] Bielefeld University, Germany

Abstract: *In this contribution we consider the problem of optimal harvesting of a renewable resource, whose dynamics are governed by a logistic differential equation and the payoff is proportional to the amount of the harvested resource. It is shown that the optimal control profile can have one of three shapes: 1) maximal harvesting effort until the resource depletes, 2) zero harvesting during the initial interval (whose duration is determined by the system parameters and the initial amount of the resource) and a subsequent switch to maximal harvesting effort, and 3) a so-called singular solution that corresponds to an intermediate value of the harvesting effort. All three scenarios realize – with minor variations – both in the finite and infinite horizon cases and correspond to a particular combination of system parameters. We characterize the conditions under which the singular solution is optimal and present suggestions for designing an optimal and sustainable harvesting strategy.*

Funding: The reported study was funded by RFBR and DFG, project number 21-51-12007.

Keywords: *Optimal control, Qualitative analysis, Renewable resources, Singular control*

XLVIII Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23. September 2021.
MATΦ University of Belgrade Faculty of Mathematics
Mathematical Institute SANU

ON THE VALUE OF INFORMATION IN THE DIFFERENTIAL GAME OF POLLUTION CONTROL

EKATERINA GROMOVA[1], ANNA TUR[1], SHIMAI SU[1]

[1] Faculty of Applied Mathematics and Control Processes, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia, e.v.gromova@spbu.ru

Abstract: *In this contribution, we consider a game-theoretic process of controlling the rate of production, which is directly proportional to the rate of harmful emission. In contrast to the classical approach, the payoff functional in the studied linear-quadratic differential game contains not only an integral term, but also a terminal component. Using this model, we study the problem of measuring the value of information. Specifically, we consider the situation, in which the players have incomplete information about the structure of the problem and estimate the loss that the players have to bear. This loss can be interpreted as the value of the missing information. We will consider several scenarios and demonstrate how the information (or the lack of information about) different aspects of the game contribute to the obtained payoff of the players. The obtained results are illustrated with the real numerical values of parameters that characterize three main polluting plants of the city of Penza (Russia).*

Funding: The reported study was funded by RFBR and DFG, project number 21-51-12007.

Keywords: *Value of information, Game theory, Pollution control, Optimal control*

Ekonomski modeli i ekonometrija

Economic Models and Econometrics

THE CHAOTIC AGRICULTURAL PRICE GROWTH MODEL

VESNA JABLANOVIĆ [1]

[1] University of Belgrade, Faculty of Agriculture, vesnajab @ptt.rs

Abstract: *The basic aim of this paper is to create the simple chaotic agricultural price growth model that is capable of generating stable equilibria, cycles, or chaos.*
Keywords: *Agricultural price, Stability, Chaos .*

1. INTRODUCTION

Chaos theory started with Lorenz's [13] discovery of complex dynamics arising from three nonlinear differential equations leading to turbulence in the weather system. Li and Yorke [12] discovered that the simple logistic curve can exibit very complex behaviour. Further, May [15] described chaos in population biology. Chaos theory has been applied in economics by Benhabib and Day [1, 2], Day [3, 4, 5, 6], Grandmont [8] , Goodwin [7] , Medio [16, 17] , Lorenz [14] , Jablanovic [9, 10, 11] , among many others.

2. THE MODEL

The equation used to calculate the short-run aggregate supply is:

$$Y_{s,t} = Y_{n,t} + \alpha (P_t - P_t^{\,e}) \qquad (1)$$

In the equation (1), Y is the real output, Y_n is the natural level of real output, α is the positive coefficient, P is the general price level, P^e is the expected general price level.

In the short run, the supply of output depends on the natural rate of output (Y_n) and on the difference between the price level and the expected price level, (P_t - $P_t^{\,e}$). This relationship is expressed in the aggregate-supply equation.

The natural level of real output , Y_n , and the expected general price level , P^e , are given as:

$$Y_{n,t} = \beta Y_t \qquad 0< \beta <1 \qquad (2)$$

$$P_t^{\,e} = \gamma P_t \qquad 0< \gamma <1 \qquad (3)$$

where β and γ are the postivite coefficients.

It is supposed that an agricultural price , $P_{s,t}$, is

$$P_{s,t} = \upsilon P_t \qquad (4)$$

On the other hand, GDP (Y) is sthe sum of consumption (C), investment (I), government purchases (G), and net export (Nx):

$$Y_{d,t} = C_t + I_t + G_t + Nx_t \qquad (5)$$

In this model, the consumption function displays the quadratic relationship between consumption (C_t) and real output of the previous period (Y_{t-1}). Real output is multiplied by the coefficient μ, „the marginal propensity to consume“(MPC) . The MPC coefficient can be between zero and one.

$$C_t = \mu Y^2_{t-1} \qquad 0<\mu<1 \qquad (6)$$

As regards investment in agriculture , $I_{i,t}$, in period t, it is taken to be the function of the change in real output in the previous period, i.e.,

$$I_{i,t} = \delta Y_{t-1} \qquad \delta > 1 \tag{7}$$

where δ stands for the capital –output ratio or accelerator.

Also, investment in agriculture , $I_{i,t}$, in period t, can be described as

$$I_{i,t} = \omega I_t \qquad 0<\omega<1 \tag{8}$$

Further, government spending function and net export function are given as :

$$G_t = \eta Y_t \qquad 0<\eta<1 \tag{9}$$

$$N_{x,t} = \lambda Y_t \qquad 0<\lambda<1 \tag{10}$$

where η and λ are the postivite coefficients.

Macroeconomic equilibrium occurs when the quantity of real output demanded, Y_d, equals the quantity supplied, Y_s, or

$$Y_{d,t} = Y_{s,t} \tag{11}$$

Now, putting (1)- (11) together we immediately get:

$$P_{s,t} = \left[\frac{\delta}{\omega(1-\eta-\lambda)}\right] P_{s,t-1} - \left[\frac{\alpha\,\mu(\gamma-1)}{\upsilon(1-\beta)(1-\eta-\lambda)}\right] P_{s,t-1}^{\,2} \tag{12}$$

Further, it is assumed that the current value of the agricultural price is restricted by its maximal value in its time series. This premise requires a modification of the growth law . Now, the agricultural price growth rate depends on the current size of the agricultural price , P_s , relative to its maximal size in its time series $P_s^{\,m}$. We introduce p_s as $p_s = P_s / P_s^{\,m}$. Thus p_s range between 0 and 1. Again we index p_s by t, i.e., write $p_{s,t}$ to refer to the size at time steps t = 0,1,2,3,... Now growth rate of the agricultural price is measured as

$$p_{s,t} = \left[\frac{\delta}{\omega(1-\eta-\lambda)}\right] p_{s,t-1} - \left[\frac{\alpha\,\mu(\gamma-1)}{\upsilon(1-\beta)(1-\eta-\lambda)}\right] p_{s,t-1}^{\,2} \tag{13}$$

This kind of difference equation (13) can lead to very interesting dynamic behavior, such as cycles that repeat themselves every two or more periods, and even chaos, in which there is no apparent regularity in the behavior of $p_{s,t}$. This difference equation (13) will posses a chaotic region. Two properties of the chaotic solution are important : firstly, given a starting point $p_{s,0}$ the solution is highly sensitive to variations of the parameters α, β , γ , μ , λ, η, μ, ω, υ, and δ; secondly, given the parameters α, β , γ , μ , λ, η, μ, ω, υ, and δ the solution is highly sensitive to variations of the initial point $p_{s,0}$. In both cases the two solutions are for the first few periods rather close to each other, but later on they behave in a chaotic manner.

3. THE LOGISTIC MAP

It is possible to show that iteration process for the logistic equation

$$z_t = \pi z_{t-1} (1 - z_{t-1}) \ , \quad \pi \in [0,4] \quad , \quad z_t \in [0,1] \tag{14}$$

is equivalent to the iteration of growth model (13) when we use the identification

$$z_t = \left[\frac{\alpha\,\mu\,\omega\,(\gamma-1)}{\delta\,\upsilon\,(1-\beta)}\right] p_{st} \quad \text{and} \quad \pi = \left[\frac{\delta}{\omega(1-\eta-\lambda)}\right] \tag{15}$$

Using (13) and (15) we obtain:

$$z_t = \left[\frac{\alpha\,\mu\,\omega(\gamma-1)}{\delta\,\upsilon\,(1-\beta)}\right] p_{s,t} =$$

$$= \left[\frac{\alpha\,\mu\,\omega(\gamma-1)}{\delta\,\upsilon\,(1-\beta)}\right]\left\{\left[\frac{\delta}{\omega(1-\eta-\lambda)}\right] p_{s,t-1} - \left[\frac{\alpha\,\mu\,(\gamma-1)}{\upsilon\,(1-\beta)(1-\eta-\lambda)}\right] p_{s,t-1}^{\,2}\right\} =$$

$$= \left[\frac{\alpha\,\mu\,(\gamma-1)}{\upsilon\,(1-\eta-\lambda)(1-\beta)}\right] p_{s,t-1} - \left[\frac{\alpha^2\,\mu^2\,\omega(\gamma-1)^2}{\delta\,\upsilon^2\,(1-\beta)^2(1-\eta-\lambda)}\right] p_{s,t-1}^{\,2}$$

On the other hand, using (12) and (13) we obtain:

$z_t = \pi\, z_{t-1}\,(1 - z_{t-1}) =$

$$= \left[\frac{\delta}{\omega(1-\eta-\lambda)}\right]\left[\frac{\alpha\,\mu\,\omega\,(\gamma-1)}{\delta\,\upsilon\,(1-\beta)}\right] p_{s,t-1}\left\{1 - \left[\frac{\alpha\,\mu\,\omega\,(\gamma-1)}{\delta\,\upsilon\,(1-\beta)}\right] p_{s,t-1}\right\} =$$

$$= \left[\frac{\alpha\,\mu\,(\gamma-1)}{\upsilon\,(1-\eta-\lambda)(1-\beta)}\right] p_{s,t-1} - \left[\frac{\alpha^2\,\mu^2\,\omega\,(\gamma-1)^2}{\delta\,\upsilon^2\,(1-\eta-\lambda)(1-\beta)^2}\right] p_{s,t-1}^{\,2}$$

Thus we have that iterating (13) is really the same as iterating (14) using (15). It is important because the dynamic properties of the logistic equation (14) have been widely analyzed (Li and Yorke [12] , May [15]).

It is obtained that :

(i) For parameter values $0 < \pi < 1$ all solutions will converge to $z = 0$;

(ii) For $1 < \pi < 3{,}57$ there exist fixed points the number of which depends on π;

(iii) For $1 < \pi < 2$ all solutions monotnically increase to $z = (\pi - 1) / \pi$;

(iv) For $2 < \pi < 3$ fluctuations will converge to $z = (\pi - 1)/\pi$;

(v) For $3 < \pi < 4$ all solutions will continously fluctuate;

(vi) For $3{,}57 < \pi < 4$ the solution become "chaotic" wihch means that there exist totally aperiodic solution or periodic solutions with a very large, complicated period. This means that the path of z_t fluctuates in an apparently random fashion over time, not settling down into any regular pattern whatsoever.

4. CONCLUSION

This paper creates the chaotic agricultural price growth model . This model given by equation (13) is called the logistic model. For most choices of α, β , γ , μ , λ, η, μ, ω, υ, and δ there is no explicit solution for (13). Namely, knowing α, β , γ , μ , λ, η, μ, ω, υ, and δ and measuring $p_{s,0}$ would not suffice to predict $p_{s,t}$ for any point in time, as was previously possible. This is at the heart of the presence of chaos in deterministic feedback processes. Lorenz (1963) discovered this effect - the lack of predictability in deterministic systems. Sensitive dependence on initial conditions is one of the central ingredients of what is called deterministic chaos.A key hypothesis of this work is based on the idea that the coefficient $\pi = \left[\frac{\delta}{\omega(1-\eta-\lambda)} \right]$ plays a crucial role in explaining local growth stability of the agricultural price , where , δ - the capital – output ratio or accelerator , η – the share of government spending in the gross domestic product, λ- the share of net export in the gross domestic product, ω- the share of investment in agriculture in investment.

REFERENCES

[1] Benhabib, J., Day, R.H. (1981) Rational Choice and Erratic Behaviour, Review of Economic Studies 48 : 459-471.

[2] Benhabib, J., Day, R.H. (1982) Characterization of Erratic Dynamics in the Overlapping Generation Model . Journal of Economic Dynamics and Control 4: 37-55.

[3] Day, R.H. (1992) Complex Economic Dynamics: Obvious in History, Generic in Theory, Elusive in Data. Journal of Applied Econometrics, Vol. 7, Issue Supplement, 1992, S9-S23.

[4] Day, R.H. (1982) Irregular Growth Cycles. American Economic Review 72: 406-414.

[5] Day, R.H. (1983) The Emergence of Chaos from Classica Economic Growth. Quarterly Journal of Economics 98: 200-213.

[6] Day, R.H. (1997) Complex Economic Dynamics. Volume I: "An introduction to dynamical systems and market mechanism" , MIT Press, In: *Discrete Dynamics in Nature and Society*, Vol. 1 . 177-178.

[7] Goodwin, R.M. (1990) Chaotic Economic Dynamics. Clarendon Press , Oxford

[8] Grandmont, J.M. (1985) On Enodgenous Competitive Business Cycles. Econometrica 53: 994-1045.

[9] Jablanovic, V. (2011) Budget Deficit and Chaotic Economic Growth Models . Aracne editrice S.r.l, Roma.

[10] Jablanovic, V. (2013) Elements of Chaotic Microeconomics . Aracne editrice S.r.l. , Roma

[11] Jablanovic, V. (2016)A Contribution to the Chaotic Economic Growth Theory. Roma: Aracne editrice S.r.l .

[12] Li, T., Yorke, J. (1975) Period Three Implies Chaos. American Mathematical Monthly 8: 985-992.

[13] Lorenz, E.N. (1963) Deterministic nonperiodic flow. Journal of Atmospheric Sciences 20: 130-141.

[14] Lorenz, H.W. (1993) Nonlinear Dynamical Economics and Chaotic Motion. 2nd edition, Springer-Verlag, Heidelberg

[15] May, R.M. (1976) Mathematical Models with Very Complicated Dynamics. Nature 261: 459-467.

[16] Medio, A. (1993) Chaotic Dynamics: Theory and Applications to Economics. Cambridge University Press, Cambridge

[17] Medio, A. (1996) Chaotic dynamics. Theory and applications to economics. Cambridge University Press, In: De Economist 144 (4), 695-698

XLVIII Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23. September 2021.
MATΦ University of Belgrade Faculty of Mathematics
Mathematical Institute SANU

INFLATION CONVERGENCE IN CENTRAL AND EASTERN EUROPE TOWARD THE EU: ASYMMETRIC ADJUSTMENT MODELING

ZORICA MLADENOVIĆ[1]

[1] Faculty of Economics, University of Belgrade, zorica.mladenovic@ekof.bg.ac.rs

Abstract: *The purpose of this paper is to test for the convergence of inflation between countries from Central and Eastern Europe and the EU. Countries considered are the last three to join the EU (Bulgaria, Croatia, and Romania). Monthly data over the period January 2001 – September 2020 are used. Conventional and modified unit root testing is first performed and then parameter nonlinearity is incorporated, enabling estimation of smooth transition autoregressive models. Our key finding is high persistence of inflation differentials in Bulgaria and Romania. For Croatia, inflation differentials are found to be stationary, whereas modeling result reveals asymmetric reaction to external shocks.*

Keywords: *inflation differential, unit root, nonlinearity, smooth transition autoregressive models.*

1. INTRODUCTION

Meeting criteria relevant for the eurozone accession is one of the key economic challenges in several EU countries from Central and Eastern Europe (CEE). This would imply the implementation of the same monetary policy to the countries with different inflation dynamics that may be harmful for their economies, bearing in mind the key objective of the ECB policy to keep inflation at relatively low levels.

The convergence criteria assume, among other requirements, nominal exchange rate stability and low stable inflation. However, nominal convergence involves real exchange rate appreciation as a consequence of either nominal exchange rate appreciation or increase of domestic inflation. This in turn may provide an obstacle for reaching the Maastricht criteria. In addition, real appreciation may reduce external competitiveness and harm the financial stability of the country [9]. Therefore, it is not a surprise that the issue of inflation convergence among the EU countries has often been a subject of empirical investigation.

The purpose of this paper is to investigate the issue of inflation convergence toward the EU for three countries from CEE that were the last to enter the EU: Bulgaria (in 2007), Croatia (in 2013), and Romania (in 2007). The region of CEE went through a process of transition from centrally planned to market economies, while experiencing strong economic shocks. Some of the economies from this region, including those in our sample, were characterized by high inflation episodes prior to and during the transition process. The question is whether the comprehensive set of political and economic reforms undertaken in the processes of transition and the accession to EU, as well as the adjustments made since the EU acceptance, has provided a successful and robust framework for introducing the same centralized monetary policy. The lack of country-specific monetary policy may create problems if countries react differently to the common economic shocks. This asymmetric reaction across countries would imply absence of inflation convergence and inefficiency of the same economic measures. Nevertheless, some countries from the CEE region (Estonia, Latvia, Lithuania, Slovakia, and Slovenia) overcame major economic obstacles and entered the eurozone successfully.

The issue of inflation convergence in the CEE region has been empirically investigated in several papers [1], [2], [4], [6], [7], [9]. However, Bulgaria, Croatia, and Romania were not often covered. In [2] Bulgaria and Romania are included in the sample, whereas [1] considered all three economies in the sample of all European countries.

In this paper, monthly data on annual inflation rate for Bulgaria, Croatia, and Romania are examined over the period 2001–2020. Data are benchmarked against the annual inflation rate of the EU. The aim of the paper is twofold. First, we investigate whether the inflation differential for each country follows a path of a unit root or a stationary process. When conducting the unit root testing, we consider the possibility of specific nonlinearity often found in the empirical literature of modeling macroeconomic variables, that is, asymmetric dynamics. Second, if detected, asymmetric behavior is explicitly described by a smooth transition autoregressive (STAR) model, which provides assessment on how inflation differential reacts to shocks of different sign and size.

Our paper contributes to the existing literature in two ways. First, long time series are explored with almost 20 years of monthly data that include the recent period up to September 2020. Second, contrary to most papers on this topic, we do not only report results based on various versions of unit root tests but also present findings of estimated STAR models. Based on estimated models we examine dynamics of inflation differentials and identify episodes characterized by different persistence.

This paper is structured as follows. Key aspects of methodology are overviewed in Section 2. Empirical results are reported in Section 3. Conclusions are summarized in Section 4.

2. METHODOLOGY USED

The standard approach followed in assessing the inflation convergence consists of applying unit root tests to the series that represents the difference between given inflation rate and its benchmarked level. The inflation differential ($y_{i,t}$) investigated in this paper is the difference between annual inflation rate in a country i ($\pi_{i,t}$) and annual inflation rate in the EU ($\pi_{EU,t}$): $y_{i,t} = \pi_{i,t} - \pi_{EU,t}$. The cross-section average of the EU as a benchmark is chosen according to [1].

A key methodological framework is based on testing the validity of the null hypothesis that unit root exists in the inflation differential against the alternative hypothesis that inflation differential is stationary time series. It is well documented that the power of the unit root tests can be seriously questioned in the presence of nonlinearity. This characteristic may be relevant for time series of interest given their nature and period considered.

When discussing the issue of nonlinearity within the unit root testing approach, STAR models are often put forward as an alternative to linear time series modeling. These models assume that changes in the dynamics of times series do not appear suddenly, but rather gradually over time.

Within the class of STAR models two types emerge: exponential (ESTAR) and logistic (LSTAR). ESTAR specification implies that reaction of time series to external shock depends on the absolute value of the size of the shock. LSTAR models additionally consider the possibility that the sign of the shocks also matters for time series response. Therefore, LSTAR models are employed under the assumption that asymmetric effects exist.

A two-regime STAR model for time series y_t with the transition variable y_{t-d}, $d>0$, reads as follows [11], [12], [13], [14]:

$$y_t = \left(\phi_{0,1} + \phi_{1,1}y_{t-1} + \cdots + \phi_{p,1}y_{t-p}\right) + \left(\phi_{0,2} + \phi_{1,2}y_{t-1} + \cdots + \phi_{p,2}y_{t-p}\right)G(y_{t-d}|\gamma, c) + e_t \quad (1)$$

where $G(y_{t-d}|\gamma, c)$ is a transition function that takes values between 0 and 1 with γ and c being respectively the scale and location parameter. An error term e_t is an iid component with zero mean and constant variance.

Two transition functions are often used in empirical literature: the logistic and exponential function [12], [13], [14]. The logistic function is given as $G(y_{t-d}|\gamma, c) = (1 + exp[-\gamma(y_{t-d} - c)])^{-1}$, which provides the basis for the LSTAR model. The exponential function is defined as $G(y_{t-d}|\gamma, c) = 1 - exp[-\gamma(y_{t-d} - c)^2], \gamma > 0$. In this case model becomes ESTAR.

A key difference between LSTAR and ESTAR models is that the exponential function tends to 1 if $y_{t-d} \to \pm\infty$, whereas the logistic function approaches 1 when $\gamma(y_{t-d} - c) \to \infty$ [14]. In [5], [10] sequential procedure is defined to test the null of linearity against a nonlinear alternative. If the alternative is accepted, then the procedure continues with the purpose of choosing between LSTAR and ESTAR specification. The procedure assumes stationarity of underlying series.

The LSTAR model captures asymmetric behavior depending on whether y_{t-d} is below or above location parameter c. The ESTAR model is more adequate in situations in which time series has similar dynamics for small and large deviations of y_{t-d} from c and different in the middle. Such a symmetric behavior can also be incorporated within the symmetric version of LSTAR model that has the transition function of the form $G(y_{t-d}|\gamma, c_1, c_2) = (1 + exp[-\gamma(y_{t-d} - c_1)(y_{t-d} - c_2)])^{-1}$, and c_1 and c_2 are location parameters [11].

Our econometric methodology is partly related to the approach used in [2]. It consists of the following steps. First, the Harvey-Leybourne-Xiao test [3] is implemented to find out if there is smooth transition nonlinearity in our time series. The advantage of this test is its validity, regardless of whether the series is I(0) or I(1) process. Second, the set of different unit root tests is employed. Along with conventional unit root tests,

the Sollis framework [8] is followed that enables unit root testing while taking account of both asymmetric and symmetric adjustments. Third, for those series that are found to follow a nonlinear path, appropriate STAR models are estimated and findings are discussed.

3. EMPIRICAL RESULTS

Our time series of interest is inflation differential calculated as the difference between the annual inflation rate for a given economy and for the EU. Data on harmonized consumer price index from Eurostat are used. Monthly observations are considered from January 2001 to September 2020. They are seasonally adjusted prior to modeling.

Visual inspection of inflation differentials for each economy (Figure 1) suggests that time series do not follow the same pattern. In Bulgaria, inflation differentials fluctuate around two different mean values: higher until the end of 2008 and the lower one since 2009. We may observe strong downward trend at the beginning of the sample for Romania and oscillations without mean-reverting property toward the end of the sample. Inflation differentials in Croatia exhibit relatively regular behavior with no trend component.

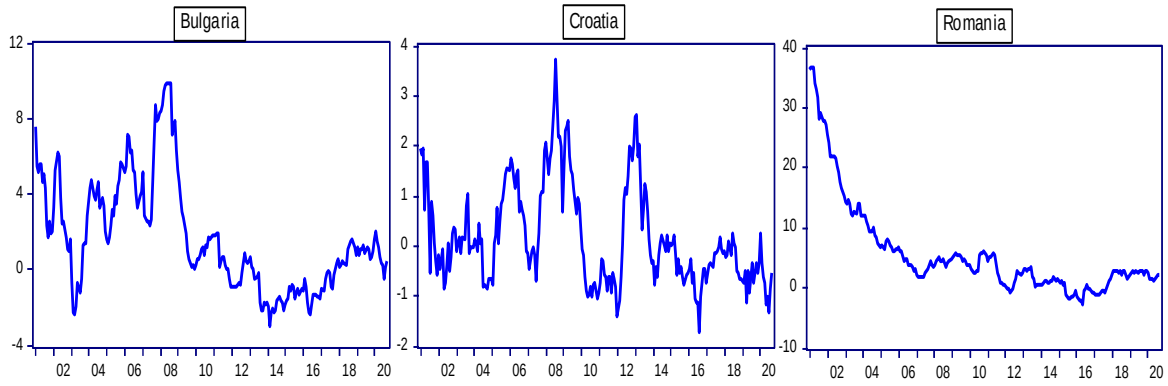


Figure 1: Inflation differentials

Results of various univariate tests clearly suggest that inflation differentials in Croatia follow a stationary path, but that one needs to be careful in its modeling because linear specification would probably not provide adequate results. Inflation differentials in Bulgaria represent the opposite case since all findings point to the clear presence of a unit root. The case of Romania does not enable a unique conclusion: some conventional unit root tests show non-stationarity, but the Sollis test strongly indicates stationarity with asymmetric adjustment. Due to space limitation these results are not reported, but they are avaiable upon request.

We proceed by designing and estimating LSTAR specification for both Croatian and Romanian inflation differentials.

Among several LSTAR specifications with different AR order and different lag of the transition variable, the following model is chosen for Croatia according to the minimum value of the residual sum of squares (the inflation differentials are denoted by Y_t):

$$\hat{Y}_t = \underset{\text{(-1.08)}}{(-0.032} + \underset{\text{(10.6)}}{0.855Y_{t-1}} + \underset{\text{(1.84)}}{0.181Y_{t-2}} - \underset{\text{(-1.14)}}{0.103Y_{t-3}} + \underset{\text{(1.15)}}{0.073Y_{t-5}} - \underset{\text{(-4.78)}}{0.217Y_{t-6}})$$
$$+(\underset{\text{(2.61)}}{1.361} - \underset{\text{(-1.88)}}{0.274Y_{t-1}} - \underset{\text{(-2.76)}}{0.507Y_{t-2}} + \underset{\text{(2.67)}}{0.488Y_{t-3}} - \underset{\text{(-3.70)}}{0.704Y_{t-5}} + \underset{\text{(3.08)}}{0.511Y_{t-6}}) * G(Y_{t-4}|6.403,1.597)$$

$$G(Y_{t-4}|6.403,1.597) = (1 + \exp[\underset{\text{(2.45)}}{-6.40}(Y_{t-4} - \underset{\text{(15.62)}}{1.597})])^{-1}$$

s=0.3576, SIC=1.0852, s/s_{AR6}=0.87, AR F (8) =0.84(0.57), JB=4.51(0.11)

Note: The BFGS algorithm is used for estimation. t-ratios are given in parentheses below regression estimates. The model contains two impulse dummy variables that take only non-zero value one for 2008M7, and 2013M5, respectively.

The model performs statistically well as supported by several misspecification tests. The additional unmodeled nonlinearity is not found. The ratio of standard error of estimated model and corresponding linear AR(6) model is 0.87, suggesting that LSTAR model improves the explanation of the model variability by 13%.

Asymmetric adjustment is found to depend on the value of inflation differential 1.597% (estimate of location parameter). When inflation differential lagged four months is higher than 1.597%, inflation differential moves according to all estimates reported. For transition function equals to 1, the corresponding roots of the characteristic equation are estimated as: 0.47, -0.04, -0.27±0.99i, and 0.73±0.44i. The pair of complex roots, -0.27±0.99i, is slightly above one in modulus (1.03), thus indicating mild explosive behavior of inflation differential when it was higher that the threshold value.

If the inflation differential lagged four months is below 1.597%, then transition function $G(Y_{t-4}|6.403,1.597)$ tends to zero and the model reduces to its first AR component. The estimated roots of the characteristic equation are: -0.59±0.36i, 0.10±0.69i, and 0.92±0.21i. Their absolute values are well below one, indicating that the process is stationary.

Figure 2 contains two graphs. The first one depicts values of transition weight $G(Y_{t-4}|6.403,1.597)$, depending on the actual inflation rate differential lagged four months being smaller or greater than 1.597. The second graph identifies time series episodes according to different values of transition weight. We observe that transition is smooth. The strongest differences in the inflation differentials dynamics occur during the following years: 2006, 2008, 2009, and 2013. Over these subperiods, inflation in Croatia exhibited a strong upward trend in respect to the EU inflation, which demonstrated its extreme sensitivity to external shocks. Such a behavior is associated with subperiods of high food inflation and strong upward trend in world oil prices.

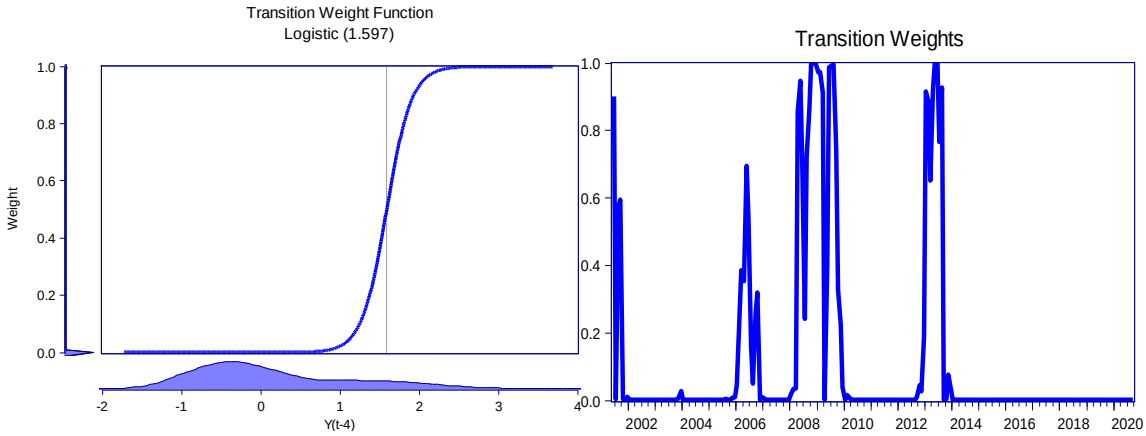


Figure 2: Graphic representation of the STAR modeling (**Croatia**, 2001–2020)

After examining different versions of LSTAR model the following was found to perform statistically well for Romania:

$$\hat{Y}_t = \underset{(1.20)}{(0.073} + \underset{(23.12)}{1.108Y_{t-1}} - \underset{(-1.72)}{0.092Y_{t-2}} - \underset{(-1.88)}{0.062Y_{t-5}})$$
$$+(\underset{(0.51)}{0.079} - \underset{(-1.09)}{0.088Y_{t-1}} - \underset{(-1.67)}{0.126Y_{t-2}} + \underset{(3.29)}{0.203Y_{t-5}}) * G(Y_{t-6}|2.673,6.496)$$

$$G(Y_{t-6}|2.673,6.496) = (1 + \exp[-\underset{(0.48)}{2.673}(Y_{t-6} - \underset{(11.29)}{6.496})])^{-1}$$

s=0.4939, SIC=1.7312, s/s_{AR5}=0.76, AR F (8) =1.10(0.36), JB=3.66(0.16)

Note: The BFGS algorithm is used for estimation. t-ratios are given in parentheses below regression estimates. The model contains six impulse dummy variables that take only non-zero value one for 2001M7, 2003M9, 2010M7, 2011M7, 2015M6, and 2016M6, respectively.

The additional unmodeled nonlinearity is not found. The ratio of standard error of model presented and the corresponding linear AR(5) model is 0.76, which shows that the LSTAR model outperforms the linear specification in explaining the model variability by 24%.

Asymmetric adjustment is associated with the value of inflation differential 6.496%. If inflation differential lagged six months exceeds this value, then inflation differential moves according to transition function $G(Y_{t-6}|2.673,6.496)$, implying that all estimated parameters should be incorporated in the description of the dynamics. The corresponding roots of the characteristic equation are found to be: 1.02, -0.38±0.37i, and 0.42±0.56i. Given that one of these roots is just above one, the inflation dynamics actually exhibit extremely high persistence. If the inflation differential lagged six months is below 6.496%, then the model quickly sets to its first part. Estimated characteristic roots are: 0.92, 0.68, -0.43, and -0.03±0.48i. Since all roots are less than one in absolute value, stationarity is the key characteristic, but the roots 0.92 and 0.68 indicate relatively high persistence.

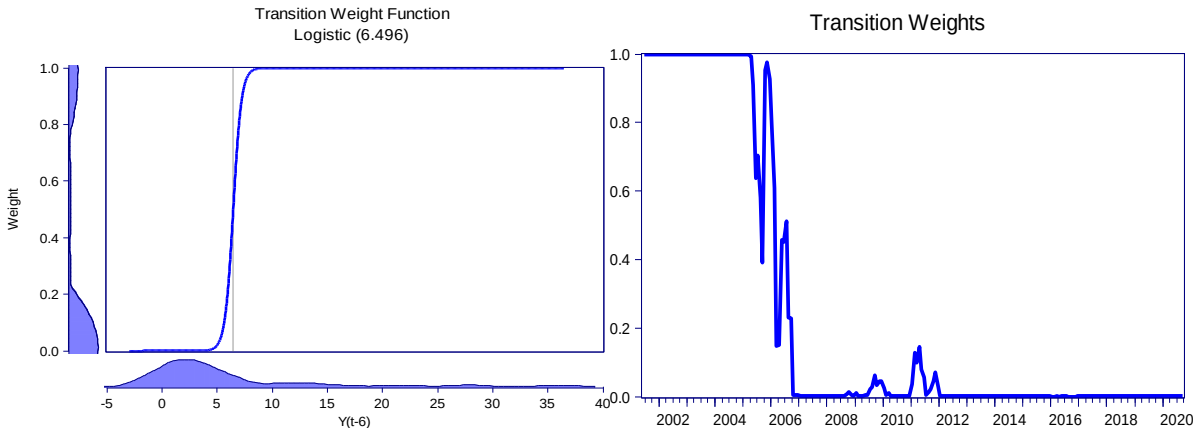


Figure 3: Graphic representation of the STAR modeling (**Romania**, 2001–2020)

Figure 3 shows that inflation differentials were in fact characterized by two distinct regimes. The first one covers the first several years of the sample during which inflation rates in Romania were substantially higher in comparison to the inflation rate in the EU. Over this subperiod that ended in 2006, the adjustment of the inflation differentials is estimated to be extremely persistent and therefore vulnerable to unanticipated shocks. Since 2006 the inflation differential has been characterized by the second regime that is associated with much lower inflation rates. For such type of behavior linear specification appears to be sufficient in modeling. Results indicate that persistence remains high.

4. CONCLUSIONS

The paper offers results on modeling inflation convergence toward the EU for three countries that last entered the EU (Bulgaria, Croatia, and Romania). Our evidence clearly points out that Bulgaria is still far from attaining inflation convergence process, suggesting that the currency board in Bulgaria needs to put more effort to correct price dynamics toward the EU.

In Croatia, inflation differentials are found to be a stationary process. Nevertheless, the dynamics of the inflation differentials show a strong nonlinear pattern that is characterized by an asymmetric adjustment. Although inflation convergence is confirmed by several tests, the results of LSTAR modeling suggest that the inflation differentials in Croatia may be vulnerable when exposed to asymmetric shocks. Stationarity is verified for the most part of the sample, but short-lived episodes with mild explosiveness are also detected.

The case of Romania is peculiar. A closer examination of the results obtained by STAR modeling in fact points to high persistence throughout the whole sample with even explosive behavior at the beginning of the sample. We may argue that the Romanian economy is still not ready for the membership in the eurozone.

In summary, three economies considered are not in the same position when inflation convergence toward the EU is analyzed. Croatia seems to be well in advance, although it was the last one to join the EU. However, Bulgaria and Romania are still far behind in achieving price dynamics that would bring them benefit from entering the eurozone.

Our results provide new insights into the existing results of the inflation convergence in the region of Central and Eastern Europe. Modeling of inflation differentials yields valuable information beyond unit root testing, especially when time series dynamics are characterized by asymmetric behavior. In particular, the STAR model approach enables identification of episodes with different persistence in inflation differentials.

LITERATURE

[1] Broz, V., & Kocenda, E. (2018). Dynamics and factors of inflation convergence in the European union. Journal of International Money, and Finance, 86, 93-111.

[2] Cuestas, J.C., Gil-Alana, L.A., & Taylor, K. (2016). Inflation convergence in Central and Eastern Europe vs. The Eurozone: Non-linearities and Long Memory. Scottish Journal of Political Economy, 63, 519 - 538.

[3] Harvey, D.I., Leybourne, S.J., & Xiao, B. (2008). A powerful test for linearity when the order of integration is unknown. Studies in Nonlinear Dynamics and Econometrics, 12, 1 – 24.

[4] Kocenda, E., Kutan, A.M., & Yigit, T.M. (2006). Pilgrims to the Eurozone: How far, how fast?, Economic Systems, 30, 311–327.

[5] Luukkonen, R., Saikkonen, P., & Terasvirta, T. (1988). Testing linearity against smooth transition autoregressive models. Biometrika, 75, 491–499.

[6] Siklos, P. (2010). Meeting Maastricht: Nominal convergence of the new member states toward EMU. Economic Modelling, 27, 507–515.

[7] Spiru, A. (2008). Inflation convergence in Central and Eastern European economies. Romanian Economic and Business Review, 3, 14-34.

[8] Sollis, R. (2009). A simple unit root test against asymmetric STAR nonlinearity with an application to real exchange rates in Nordic countries. Economic Modelling, 26, 118 – 125.

[9] Staehr, K. (2010). Income convergence and inflation in Central and Eastern Europe, Does the sun always rise in the East? Eastern European Economics, 48, 38-62.

[10] Terasvirta, T. (1994). Specification, estimation and evaluation of smooth transition autoregressive models. Journal of the American Statistical Association, 89, 208–218.

[11] Terasvirta, T. (2004). Smooth transition regression modeling. In H. Lutkepohl, & M. Kratzing (Eds.), Applied Time Series Econometrics (222-242). Cambridge: Cambridge University Press.

[12] Terasvirta, T. (2006): Univariate nonlinear time series models. In T.C. Mills, & K. Patterson (Eds.), Palgrave Handbook of Econometrics, volume I (396-427). New York: Palgrave MacMillan.

[13] Terasvirta, T., Tjostham, D., & Granger, C.W.J. (2010). Modelling nonlinear economic time series. Oxford: Oxford University Press.

[14] Tsay, R.S., & Chen, R. (2019). Nonlinear time series analysis. Hoboken: Wiley.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

FUZZY REPREZENTACIJA I OČEKIVANA VREDNOST SLUČAJNE VELIČINE: PRIMER BINOMNE SLUČAJNE VELIČINE

A FUZZY REPRESENTATION AND MEAN VALUE OF RANDOM VARIABLE: THE EXAMPLE OF BINOMIAL RANDOM VARIABLE

JELENA STANOJEVIĆ[1]

[1] Ekonomski fakultet, Beograd, jelenas@ekof.bg.ac.rs

Rezime: *U ovom radu je predstavljena fuzzy reprezentacija slučajne veličine, koja realnu slučajnu veličinu transformiše u fuzzy slučajnu veličinu (FRV). Tako dobijena FRV ima očekivanu vrednost (predstavljena fuzzy brojem) koja obuhvata drugačije informacije o raspodeli verovatnoće prvobitne realne slučajne veličine. Tako na primer, dobijena očekivana vrednost može dati vizuelne informacije o nekim parametrima, pa čak i celoj funkciji raspodele originalne realne slučajne veličine, koji mogu poslužiti za dalju statističku analizu. U radu je dat primer fuzzy reprezentacije i fuzzy očekivane vrednosti binomne slučajne veličine, koje se mogu analogno primeniti i na druge, i takođe je dat dalji pravac istraživanja.*

Ključne reči: *Slučajne veličiina, Fuzzy reprezentacija, Fuzzy slučajna veličina, Fuzzy očekivana vrednost*

Abstract: *In this paper we presented fuzzy representation of random variable, which real random variable transform in fuzzy random variable (FRV). This FRV has mean value (appropriate fuzzy number) which covers different information about the distribution of previous real random variable. For example, this mean value could give us visual informations about of some parameters, even the whole distribution function of the original real random variable, which can be used for the further statistical analysis. In this paper is given the example of fuzzy representation and fuzzy mean value of binomial random variable, which can be used on the other examples, and also is given further direction of this research.*

Keywords: *Random variable, Fuzzy representation, Fuzzy random variable, Fuzzy mean*

1. UVOD

Podaci iz realnog života koji se dobijaju kao izlaz odgovarajućih eksperimenata, nisu uvek realne vrednosti. Posebno, ukoliko te podatke dobijamo ljudskom percepcijom, na primer neko rangiranje, mišljnje, opažanje, itd., oni u svojoj prirodi imaju nepreciznost i nejasnoću. Tako se fuzzy pristup javio kao jedan od metoda za prevazilaženje ovog problema. Ipak, sa statističkog stanovišta, analiza fuzzy podataka ima dve očigledne mane: uobičajena aritmetika sa fuzzy podacima povezana je sa nelinearnošću i drugi problem je ograničenost modela i rezultata vezanih za raspodelu fuzzy vrednosnih statistika. Ove mane mogu biti prevaziđene korišćenjem odgovarajućih metrika za fuzzy podatke, uvođenjem fuzzy skupa i odgovarajuće centralne granične teoreme. Metodologija za statističku analizu podataka kao fuzzy brojeva, razvijana je u poslednjih desetak godina i danas, i prevazilazi okvire ovog rada.

Osnovni problem kojim je motivisano uvođenje fuzzy pristupa, jeste eksperiment čiji izlaz nisu brojevi ili vektori u R^n, već neprecizne lingvističke formulacije. Na primer, možemo postaviti pitanje o očekivanom mišljenju o vremenu u jednom letnjem danu u jednom gradu, slučajno izabranoj grupi ljudi. Odgovori bi mogli biti „ekstremno toplo“, „veoma toplo“, „toplo“, „manje ili više toplo“, itd. Na osnovu tih odgovora bi trebalo izračunati očekivanu vrednost mišljenja o vremenu, što je u stvari fuzzy očekivana vrednost fuzzy slučajne veličine. To se može uraditi primenom koncepta fuzzy skupova i fuzzy funkcija, koji se pokazuju korisnim u mnogim primenama.

Za slučajnu veličinu koja uzima vrednosti iz nekog fuzzy skupa, uveden je i dobro formalizovan model u vidu fuzzy slučajne veličine. U poslednje dve decenije pažnja je posvećena razvoju probabilističkog aspekta ovih slučajnih veličina. Za formalizaciju ovog pristupa videti [15, 6, 2], itd., dok za odgovarajući zakon velikih brojeva, koji se odnosi na fuzzy očekivanu vrednost, videti [1, 10, 14], itd. Granične teoreme centralnog tipa su takođe proučavane u literaturi, videti [9]. Treba reći, da za razliku od realnog slučaja, one

nemaju direktnu statističku implikaciju. Takođe, razmatrana je generalizovana metrika za fuzzy podatke, tako da je nedavno izučavano i testiranje slučajnih hipoteza o fuzzy sredinama za fuzzy slučajne velićine, pogledati [7, 11, 12, 3, 4].

U [12, 13, 3] je razmatrano kako fazifikacija utiče na moć testa o sredini, i date su simulacije za fuzzy slučajne veličine i za njihove defazifikovane realne slučajne veličine. Empirijski je pokazano da je moć testa veća za fuzzy slučaj, u odnosu na odgovarajući realni slučaj. Jedno moguće objašnjenje bi moglo biti da je veća pouzdanost rezultata kada se koriste kompleksniji podaci.

U [4] je predstavljena γ-fazifikacija realne slučajne veličine X, kako bi mogle da se iskoriste informacije koje nosi fuzzy sredina fuzzy slučajne veličine $\gamma \circ X$. Ova reprezentacija fuzzy slučajne veličine je definisana pomoću funkcija koje se određuju u zavisnosti od cilja istraživanja,

U ovom radu, u delu 2 dati su osnovni rezultati i definicija γ-fazifikacije realne slučajne veličine X. U delu 3 dat je koncept fuzzy očekivane vrednosti fuzzy slučajne veličine $\gamma \circ X$ i na primeru binomne slučajne veličine izračunata je odgovarajuća fuzzy očekivana vrednost. Na kraju rada dat je zaključak i pravac mogućeg daljeg istraživanja.

2. OSNOVNI REZULTATI I γ-FAZIFIKACIJA REALNE SLUČAJNE VELIČINE

Neka je univerzalni skup koji posmatramo na početku skup realnih brojeva R, sa osnovnom topologijom. Fuzzy podskup (ili fuzzy skup) $\tilde{B}$ na R, je definisan svojom pripadajućom funkcijom $\tilde{B}: R \to [0,1]$. Za svako $\alpha \in (0,1]$, α-sečenje skupa $\tilde{B}$ je definisano: $\tilde{B}_\alpha = \{x \in R | \tilde{B}(x) \geq \alpha\}$ i $\tilde{B}_0 = cl\{x \in R | \tilde{B}(x) > 0\}$. Fuzzy skup $\tilde{B}$ se naziva fuzzy broj ako je svako $\tilde{B}_\alpha$ neprazan zatvoren ograničen interval za svako $\alpha \in (0,1]$.

Klasa fuzzy skupova, koja je dovoljno bogata da pokrije široku lepezu primera iz prakse, jeste klasa L-R fuzzy brojeva $\widetilde{N} = (n, l, r)_{LR}$, sa centrom $n \in R$, levom i desnom širinom $l, r \in R$, opadajućom levom i desnom funkcijom oblika $L, R: R^+ \to [0,1]$, sa $L(0) = R(0) = 1$. Odgovarajuća funkcija pripadanja fuzzy broja $\widetilde{N}$ i α-sečenje za $\widetilde{N}$ imaju sledeći oblik ([17]):

$$\widetilde{N}(x) = \begin{cases} L\left(\frac{n-x}{l}\right), & x \leq n \\ R\left(\frac{x-n}{r}\right), & x > n \end{cases}, \widetilde{N}_\alpha = [N_\alpha^l, N_\alpha^u] = [n - L^{-1}(\alpha)l, n + R^{-1}(\alpha)r], \forall \alpha \in [0,1].$$

Poseban oblik L-R fuzzy broja jeste trougaoni fuzzy broj $\tilde{A} = (a, a_l, a_r)_T$, sa pripadajućom funkcijom i α-sečenjem:

$$\tilde{A}(x) = \begin{cases} \frac{x-(a-a_l)}{a_l}, & a - a_l \leq x < a \\ \frac{(a+a_r)-x}{a_r}, & a \leq x < a + a_r \end{cases}, \tilde{A}_\alpha = [A_\alpha^l, A_\alpha^u] = [a - (1-\alpha)a_l,\ a + (1-\alpha)a_r], \forall \alpha \in [0,1].$$

Dalje, dajemo uopštenje fuzzy skupa na R^n. Neka je $\mathcal{K}(R^n)$ klasa nepraznih kompaktnih podskupova euklidskog prostora R^n i neka je $\mathcal{F}(R^n)$ klasa normalnih gornje semineprekidnih fuzzy skupova na R^n sa ograničenim i zatvorenim nosačem, tj.

$$\mathcal{F}(R^n) = \{\tilde{B}: R^n \to [0,1] | \tilde{B}_\alpha \in \mathcal{K}(R^n), \forall \alpha \in [0,1]\},$$

gde $\tilde{B}_\alpha$ označava α-sečenje skupa $\tilde{B}$ i $\tilde{B}_0$ je zatvaranje nosača $\tilde{B}$, tj. $\tilde{B}_\alpha = \{x \in R^n | \tilde{B}(x) \geq \alpha\}$ ako je $\alpha \in (0,1]$ i $\tilde{B}_0 = cl\{x \in R^n | \tilde{B}(x) > 0\}$.

Istaknimo osnovnu aritmetiku fuzzy skupova. Na $\mathcal{F}(R^n)$ se može definisati unutrašnje sabiranje između dva skupa, koje predstavlja ekstenziju Minkowskovog sabiranja skupova ($\tilde{B} \oplus \tilde{C}$) i spoljašnje množenje skalarom ($\lambda \tilde{B}$), tj.

$(\tilde{B} \oplus \tilde{C})_\alpha = \tilde{B}_\alpha + \tilde{C}_\alpha = \{b + c | b \in \tilde{B}_\alpha, c \in \tilde{C}_\alpha\}$,
$(\lambda \tilde{B})_\alpha = \lambda \tilde{B}_\alpha = \{\lambda b | b \in \tilde{B}_\alpha\}$,

za svako $\tilde{B}, \tilde{C} \in \mathcal{F}(R^n)$, $\lambda \in R$ i svako $\alpha \in [0,1]$. Ove operacije su kompatibilne sa onim koje se dobijaju primenom Zadahovog principa ekstenzije, [18].

Dalje, dajemo motiv uvođenja fuzzy slučajne veličine. U [15] su definisali fuzzy slučajnu veličinu kao ekstenziju slučajnog skupa, sa ciljem da se modeliraju situacije kada je eksperiment povezan sa populacijom u kojoj svaku individuu karakteriše određena neprecizna (fuzzy) vrednost ili je takav izlaz. Oni su dali definiciju fuzzy slučajne veličine na sledeći način:

Definicija 2.1. Za dati prostor verovatnoće $(\Omega, \mathcal{A}, \mathcal{P})$, preslikavanje $\mathcal{X}: \Omega \to \mathcal{F}(R^n)$ je fuzzy slučajna veličina pridružena $(\Omega, \mathcal{A})$, ako je za svako $\alpha \in [0,1]$, α-sečenje $\mathcal{X}_\alpha: \Omega \to \mathcal{K}(R^n)$ sa $\mathcal{X}_\alpha(\omega) = (\mathcal{X}(\omega))_\alpha$ za svako $\omega \in \Omega$, slučajan kompaktan skup.

Nadalje ćemo govoriti o specijalnom tipu fuzzy slučajne veličine, $\mathcal{F}_c(R)$-vrednosna fuzzy slučajna veličina, gde je:

$\mathcal{F}_c(R)=\{\tilde{B}: R \to [0,1] |\ \tilde{B}_\alpha \neq \emptyset\}$,

i $\tilde{B}_\alpha$ je kompaktan interval za svako $\alpha \in [0,1]$.

Sa druge strane, u [8] je data definicija fuzzy slučajne veličine kao preslikavanja $\mathcal{X}: \Omega \to \mathcal{F}_c(R)$ za koje su realna preslikavanja $\inf\mathcal{X}_\alpha: \Omega \to R$ i $\sup\mathcal{X}_\alpha: \Omega \to R$ realne slučajne veličine, za svako $\alpha \in [0,1]$.

Dalje, u ovom poglavlju dajemo jedan mogući postupak fuzzy reprezentacije skučajne veličine koja se dobija transformacijom realne slučajne veličine (crisp podatka) u fuzzy slučajnu veličinu (fuzzy skup). Tu reprezentaciju definišemo na sledeći način:

Definicija 2.2. Neka je γ: R $\to \mathcal{F}_c(R)$ preslikavanje koje svakoj realnoj vrednosti $x \in R$ pridružuje jedan L-R fuzzy broj $\gamma(x)$, čije je α-sečenje dato na sledeći način:

$$(\gamma(x))_\alpha = \left[f_L(x) - g_L(x)(1-\alpha)^{\frac{1}{h_L(x)}}, f_R(x) + g_R(x)(1-\alpha)^{\frac{1}{h_R(x)}}\right] \tag{1}$$

za svako $\alpha \in [0,1]$, tako da je odgovarajuća pripadajuća funkcija data sa:

$$\gamma(x)(t) = \begin{cases} 1 - \left(\frac{f_L(x)-t}{g_L(x)}\right)^{h_L(x)}, & t \in [f_L(x) - g_L(x), f_L(x)) \\ 1, & t \in [f_L(x), f_R(x)] \\ 1 - \left(\frac{t-f_R(x)}{g_R(x)}\right)^{h_R(x)}, & t \in (f_R(x), f_R(x) + g_R(x)] \\ 0, & inače \end{cases} \tag{2}$$

gde su pomoćne funkcije

$f_L: R \to R$, $f_R: R \to R$, $f_L(x) \leq f_R(x)$ za svako $x \in R$,
$g_L: R \to [0, +\infty)$, $g_R: R \to [0, +\infty)$, $h_L: R \to (0, +\infty)$, $h_R: R \to (0, +\infty)$

Borel merljive.

Neka je $X: \Omega \to$ R slučajna veličina zadata na prostoru verovatnoće $(\Omega, \mathcal{A}, \mathcal{P})$. Tada je *$\gamma$-fuzzy reprezentacija za X*, $\mathcal{F}_c(R)$ -vrednosna fuzzy slučajna veličina

$\gamma \circ X: \Omega \to \mathcal{F}_c(R)$, $\omega \mapsto \gamma\big(X(\omega)\big)$.

Treba istaći da je ova familija γ-fuzzy reprezentacije slučajne veličine uvedena da opiše klase preslikavanja koja su odgovarajuća za pojedine statističke analize, a ne u cilju da obuhvati što širi skup operatora. Ali je i pored toga ta klasa dovoljno široka da u okviru nje nađemo tačna ili aproksimativna preslikavanja koja modeliraju fuzzy skup na najbolji mogući način.

3. FUZZY OČEKIVANA VREDNOST SLUČAJNE VELIČINE. PRIMER BINOMNE RASPODELE

Fuzzy očekivana vrednost (fuzzy sredina) je mera raspodele o kojoj se u dosadašnjoj literaturi najviše zna. Odgovarajuća definicija je data u [15], koja je u skladu sa jakim zakonom velikih brojeva, razmatranim u [5, 1, 14], itd.

Ovde ćemo prvo dati definiciju Aumanovog integrala, preko kojeg je definasana fuzzy očekivana vrednost.

Definicija 3.1. Neka je $(\Omega, \mathcal{A}, \mathcal{P})$ prostor verovatnoće. Skupovno-vrednosna fumkcija je funkcija $F: \Omega \to \mathcal{P}(\mathrm{R}^n)$ tako da je $F(\omega) \neq \emptyset$ za svako $\omega \in \Omega$. Sa $L^1(P)$ označimo prostor P-integrabilnih funkcija $f: \Omega \to \mathrm{R}^n$ i neka je

$$S(F) = \{f \in L^1(P) \mid f(\omega) \in F(\omega)\ s.s.\},$$

tada je Aumanov integral funkcije F definisan na sledeći način:

$$(A)\ \int F = \{\int f\ (\omega) dP(\omega) \mid f\ \in S(F)\}.$$

Koncept fuzzy očekivane vrednosti je dat sledećom definicijom:

Definicija 3.2. Za dati prostor verovatnoće $(\Omega, \mathcal{A}, \mathcal{P})$, ako je $\mathcal{X}: \Omega \to \mathcal{F}(\mathrm{R}^n)$ fuzzy slučajna veličina tako da je $sup_{x \in \mathcal{X}_0} ||x|| \in L^1(P)$, gde $||\cdot||$ označava Euklidovu normu na R^n, fuzzy očekivana vrednost od $\mathcal{X}$ je jedinstveni fuzzy skup $\tilde{E}(\mathcal{X}|P)$, tako da je:

$$(\tilde{E}(\mathcal{X}|P))_\alpha = \{\int f(\omega) dP(\omega) \mid f: \Omega \to \mathrm{R}^n, f \in L^1(P), f(\omega) \in \mathcal{X}_\alpha(\omega)\ s.s\ [P]\},$$

što je Aumanov integral funkcije $\mathcal{X}_\alpha$.

Posebno, u slučaju da je $\mathcal{X}$ $\mathcal{F}_c(R)$ -vrednosna i $\max\{|\inf \mathcal{X}_0|, |\sup \mathcal{X}_0|\} \in L^1(P)$, tada za svako $\alpha \in [0,1]$ važi:

$$(\tilde{E}(\mathcal{X}|P))_\alpha = [E(\inf \mathcal{X}_\alpha\ |P), E(\sup \mathcal{X}_\alpha\ |P)].$$

Iz Definicije 2.2. i Definicije 3.2. direktno sledi sledeća posledica, za α-sečenje fuzzy očekivane vrednosti γ-fazifikovane slučajne veličine X:

Posledica 3.1. Za dati prostor verovatnoće $(\Omega, \mathcal{A}, \mathcal{P})$, neka je $X: \Omega \to \mathrm{R}$ slučajna veličina iz tog prostora i $\max\{|f_L(x) - g_L(x)|, |f_R(x) + g_R(x)|\} \in L^1(P)$, tada za svako $\alpha \in [0,1]$ α-sečenje fuzzy očekivane vrednosti γ-fazifikovane slučajne veličine X je dato sa:

$$(\tilde{E}(\gamma \circ X|P))_\alpha = [E(f_L(X) - g_L(X)(1-\alpha)^{\frac{1}{h_L(X)}}|P), E(f_R(X) + g_R(X)(1-\alpha)^{\frac{1}{h_R(X)}}|P)]. \quad (3)$$

Na sledećem primeru binomne raspodele primenićemo Definiciju 2.2. i prethodnu posledicu, i pokazati kako se izračunava fuzzy očekivana vrednost za taj slučaj. Prikazani su i odgovarajući grafici, pripadajuće funkcije fuzzy slučajne veličine i fuzzy očekivane vrednosti.

Primer. Neka je $(\Omega, \mathcal{A}, \mathcal{P})$ prostor verovatnoće na kome je data slučajna veličina $X: \Omega \to \mathrm{R}$ sa binomnom raspodelom, $B(3, 0.3)$. Posmatrajmo sledeći operator fazifikacije slučajne veličine $\gamma: \mathrm{R} \to \mathcal{F}_c(R)$, koji svakoj vrednosti $x \in \{0,1,2,3\}$ pridružuje sledići trougaoni fuzzy broj:

$$\gamma(0)(t) = \begin{cases} 1-t, & t \in [0,1] \\ 0, & inače \end{cases},\ \gamma(1)(t) = \begin{cases} 2t-1, & t \in [\frac{1}{2}, 1) \\ 3-2t, & t \in [1, \frac{3}{2}] \\ 0, & inače \end{cases} \cdot\ \gamma(2)(t) = \begin{cases} 2t-3, & t \in [\frac{3}{2}, 2) \\ 5-2t, & t \in [2, \frac{5}{2}] \\ 0, & inače \end{cases}$$

$$\gamma(3)(t) = \begin{cases} t-2, & t \in [2,3] \\ 0, & inače \end{cases}$$

što možemo zapisati:

$$\gamma(x)(t) = \begin{cases} 1 - \frac{x-t}{\min\left\{\frac{x}{2},\frac{1}{2}\right\} - \min\left\{1-\frac{x}{2},0\right\}}, & t \in \left[x - \left(\min\left\{\frac{x}{2},\frac{1}{2}\right\} - \min\left\{1-\frac{x}{2},0\right\}\right), x\right) \\ 1, & t = x \\ 1 - \frac{t-x}{1-\min\left\{\frac{x}{2},\frac{1}{2}\right\} + \min\left\{1-\frac{x}{2},0\right\}}, & t \in (x, x+1-\min\left\{\frac{x}{2},\frac{1}{2}\right\} + \min\{1-\frac{x}{2},0\}] \\ 0, & inače \end{cases} . \quad (4)$$

Primetimo da je (4) dato u obliku (2), sa odgovarajućim pomoćnim funkcijama:

$f_L(x) = x, \quad f_R(x) = x, \quad g_L(x) = \min\left\{\frac{x}{2},\frac{1}{2}\right\} - \min\{1-\frac{x}{2},0\}, \quad g_R(x) = 1 - \min\left\{\frac{x}{2},\frac{1}{2}\right\} + \min\{1-\frac{x}{2},0\},$
$h_L(x) = 1, h_R(x) = 1.$

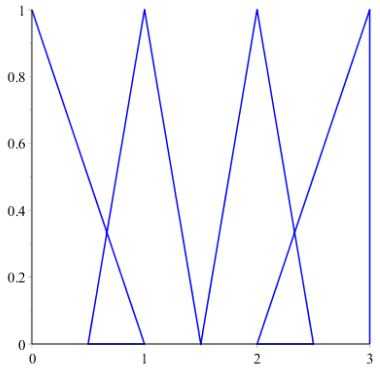
Dalje, iz (3) vidimo da je α-sečenje fuzzy očekivane vrednosti γ-fazifikovane slučajne veličine X dato sa:

$$\left(\tilde{E}(\gamma \circ X|P)\right)_\alpha =$$
$$[E(\mathrm{X} - \left(\min\left\{\frac{X}{2},\frac{1}{2}\right\} - \min\left\{1-\frac{\mathrm{X}}{2},0\right\}\right)(1-\alpha)), \mathrm{E}(\mathrm{X} + \left(1 - \min\left\{\frac{X}{2},\frac{1}{2}\right\} + \min\left\{1-\frac{\mathrm{X}}{2},0\right\}\right)(1-\alpha))].$$

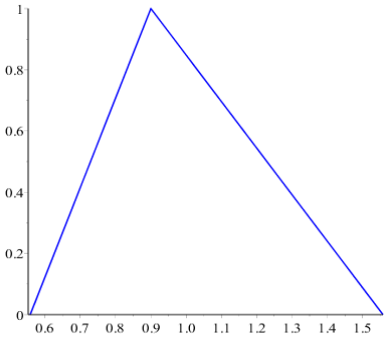
Kako je $E\left(\min\left\{\frac{X}{2},\frac{1}{2}\right\} - \min\left\{1-\frac{\mathrm{X}}{2},0\right\}\right) = 0.342$ i $\mathrm{E}\left(1 - \min\left\{\frac{X}{2},\frac{1}{2}\right\} + \min\left\{1-\frac{\mathrm{X}}{2},0\right\}\right) = 0.658$, dobijamo:

$$(\tilde{E}(\gamma \circ X|P))_\alpha = [0.9 - 0.342(1-\alpha), 0.9 + 0.658(1-\alpha)]. \quad (5)$$

γ-fazifikacija slučajne veličine X jeste fuzzy slučajna veličina koja uzima vrednosti $\gamma(0)$, $\gamma(1)$, $\gamma(2)$ i $\gamma(3)$, data na Slici 1. α-sečenju fuzzy očekivane vrednosti γ-fazifikovane slučajne veličine X (tj. $(\tilde{E}(\gamma \circ X|P))_\alpha$), dato sa (5), odgovara jedan trougaoni fuzzy broj, koji je dat na Slici 2.



Slika 1: γ-fazifikacija slučajne veličine X



Slika 2: α-sečenje fuzzy očekivane vrednosti za $\gamma \circ X$

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu dat je pregled jedne transformacije realne slučajne veličine u fuzzy slučajnu veličinu, metodom γ-fazifikacije i istaknuta je prednost razmatranja modela sa nepreciznim fuzzy vrednostima umesto realnih vrednosti, koji bolje opisuju složenost razmatranog problema u praksi. Takođe je dat postupak izračunavanja fuzzy očekivane vrednosti, koja može dati vizuelne informacije o nekim parametrima, pa čak i celoj funkciji raspodele originalne promenljive, koji mogu poslužiti za dalju statističku analizu. Na primeru fuzzy reprezentacije binomne slučajne veličine, predstavljen je postupak γ-fazifikacije i izračunavanja fuzzy očekivane vrednosti. Mogući pravac daljeg istraživanja može se odnositi na jedan problem iz prakse, izračunavanje odgovarajuće premije osiguranja. Kako je premija upravo očekivana vrednost funkcije

gubitka, ukoliko se funkcija gubitka fazifikuje, može se posmatrati fuzzy očekivana vrednost. U [16] dat je postupak izračunavanja gornje i donje granice premije koja je prihvatljiva sa stanovišta osiguranika i stanovišta osiguravača, primenom pseudo integrala i g-računa. Upravo se fuzzy postupak i postupak g-računa za izračunacanje premije mogu uporediti na neki način i utvrditi moguća prednost jednog od metoda.

LITERATURA

[1] Colubi, A., Domínguez-Menchero, J.S., López-Díaz, M., & Gil, M.A. (1999). A generalized strong law of large numbers. Probab. Theory Related Fields, 114, 401–417.

[2] Colubi, A., Domínguez-Menchero, J.S., López-Díaz, M., & Ralescu, D.A. (2002). A D_E [0,1]-representation of random upper semicontinuous functions. Proc. Amer. Math. Soc., 130, 3237–3242.

[3] Gil, M.A., Montenegro, M., González-Rodríguez, G., Colubi, A., & Casals, M.R. (2006). Bootstrap approach to the multisample test of means with imprecise data. Comput. Statist. & Data Anal., 51, 148-162.

[4] González-Rodríguez, G., Montenegro, M., Colubi, A., & Gil, M.A. (2006). Bootstrap techniques and fuzzy random variables: synergy in hypothesis testing with fuzzy data. Fuzzy Sets and Systems, 157 (19), 2608-2613.

[5] González-Rodríguez, G., Colubi, A.. & Gil, M.A. (2006). A fuzzy representation of random variables: An operational tool in exploratory analysis and hypothesis testing. Computational Statistics & Data Analysis, 5, 163 – 176.

[6] Klement, E.P., Puri, M.L., & Ralescu, D.A. (1986). Law of large numbers and central limit theorems for fuzzy random variables. In: Trappl, (Ed.). Cybernetics and Systems Research, vol. 2. Elsevier, North-Holland, Amsterdam, 525–529.

[7] Körner, R. (2000). An asymptotic α-test for the expectation of random fuzzy variables. J. Statist. Plann. Inference, 83, 331–346.

[8] Kruse, R., & Meyer, K.D. (1987). Statistics with Vague Data. Reidel Publ. Co, Dordrecht.

[9] Li, S., Ogura, Y., Proske, F.N., & Puri, M.L. (2003). Central limit theorems for generalized set-valued random variables. J. Math. Anal. Appl., 285, 250–263.

[10] Molchanov, I. (1999). On strong laws of large numbers for random upper semicontinuous functions. J. Math. Anal. Appl., 235, 349–355.

[11] Montenegro, M., Casals, M.R., Lubiano, M.A., & Gil, M.A. (2001). Two-sample hypothesis tests of means of a fuzzy random variable. Inform. Sci, 133, 89–100.

[12] Montenegro, M., Colubi, A., Casals, M.R., & Gil, M.A. (2004). Asymptotic and Bootstrap techniques for testing the expected value of a fuzzy random variable. Metrika, 59, 31–49.

[13] Montenegro, M., González-Rodríguez, G., Colubi, A., & Gil, M.A. (2005). Bootstrap techniques: a valuable tool in statistical hypothesis testing about the means of fuzzy random variables. Proceedings of Joint EUSFLAT-LFA, 2005, 599–604.

[14] Proske, F.N., & Puri, M.L. (2002). Strong law of large numbers for Banach space valued fuzzy random variables. J. Theoret. Probab., 15, 543–551.

[15] Puri, M.L., & Ralescu, D.A. (1986). Fuzzy random variables. J. Math. Anal. Appl., 114, 409–422.

[16] Stanojević, J. (2019). Application of pseudo g-integral for insurance prmium calculation. XLVI International Symposium on Operational Research, 89-94.

[17] Zimmermann, H. J. (2001). Fuzzy Set Theory and its Applications (4th ed.). Boston: Kluwer Academic Publishers.

[18] Zadeh, L.A. (1975). Fuzzy Logic and Approximate Reasoning. Synthese, 30, 407-428.

Finansije i bankarstvo

Finance and Banking

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

НОВИ ПРИСТУПИ ОЦЕЊИВАЊУ СТЕПЕНА КОНЦЕНТРАЦИЈЕ И КОНКУРЕНЦИЈЕ: ПРИМЕР СЕКТОРА ОСИГУРАЊА У СРБИЈИ

NEW APPROACHES TO ESTIMATION OF CONCENTRATION AND COMPETITION DEGREE: EXAMPLE OF INSURANCE SECTOR IN SERBIA

РАЈКО М. БУКВИЋ[1]

[1] Почасни професор, Нижегородски инжењерско-економски државни универзитет, Књагињино (Русија), r.bukvic@mail.ru; r.bukvic@yandex.com

Rezime: *У раду се анализирају нови приступи оцењивању степена концентрације и конкуренције. Као пример одабран је сектор осигурања у Србији, а за променљиву на основу које су извршени обрачуни одговарајућих коефицијената и оцена стања концентрације и конкуренције узета је укупна премија по свим облицима осигурања, како је то дефинисано прописима о заштити конкуренције. Поред уобичајених и до сада најчешће коришћених показатеља (рацио концентрације CRn и Хиршман-Херфиндалов коефицијент HH) и нешто ређе коришћених (Џинијев коефицијент и коефицијент ентропије, односно Лоренцова крива), обрачунати су и анализирани практично у нашим условима до сада некоришћени Тајдман-Холов и Розенблатов коефицијент, као и нови приступи засновани на обрачуну индекса Линда, метод тржишних језгара и метод коефицијената на бази Гаусове криве распореда тржишних удела. Да би се избегао утицај могућих екстерних услова у једној години и ради оцене остварених тенденција коришћена је дужа временска серија, односно вредности показатеља остварене у току последње деценије.*

Кључне речи: *концентрација, конкуренција, осигурање, Србија, показатељи, нови приступи.*

Abstract: *The paper analyses new approaches to the estimation of the degree of concentration and competition. As example the insurance sector in Serbia is chosen, and as a variable for the calculation of necessary indicators the total premium is taken, as well as it were determined by the anti-monopoly law. There were used the usual and frequently used indicators (concentration ratio CRn and Hirschmann-Herfindahl coefficient HH), as well the rarely used (Gini coefficient and enthropy coefficient, i.e. Lorenz curve). Than we analyzed practically in analyses in Serbia not used Tideman-Hall and Rosenbluth coefficients, as well the new approaches that are based on the calculation of Linda indices, method of market nucleus and method of coefficients on the basis of Gauss' curve's distribution of market shares. To avoid the possible influence of extreme conditions in one year, there are used the many year time series, i.e. the coefficients in the last decade.*

Keywords: *concentration, competition, insurance, Serbia, indicators, new approaches.*

1. УВОД

У савременој економској мисли однос према конкуренцији, која се сматра фактором који обезбеђује ефикасност тржишне привреде, готово је јединствен. Концепција конкуренције има статус универзалног модела, применљивог не само у економији, већ и у социологији, антропологији, теорији игара и другим наукама и дисциплинама. Иако постоји већ двоиповековна традиција (оснивачем теорије конкуренције сматра се А. Смит, мада су се сличним проблемима бавили и други економисти и филозофи пре њега), теоријска мисао ни до данас није успела да изгради јединствену и општеприхваћену дефиницију конкуренције. Следствено, и многи други аспекти, појаве и чињенице повезане с конкуренцијом нису решени на задовољавајући начин. Једно од таквих питања је и проблем мерења конкуренције, што се може сматрати и једним од централних питања целе теорије, а што је од посебне важности у практичној примени резултата теорије (на пример, у спровођењу антимонополске, односно политике заштите конкуренције).

Непостојање задовољавајућег, тј. општеприхваћеног одговора на горе истакнуто питање најчешће резултује применом релативних оцена на неквантитативној скали, као што су јака конкуренција, умерена конкуренција, слаба конкуренција и сл., где се као основ за оцене таквог типа користе

експертске процене, социолошке анкете, или пак у нешто строжем приступу резултати, тј. последице конкуренције. Такви резултати могу бити број учесника (фирми) на тржишту, њихови приходи (дохоци) и профити, односно стечена имовина и капитал. На основу ових података затим се обрачунавају удели појединих учесника на тржишту у одговарајућим величинама, а који су остварени управо у процесу конкуренције.

Полазна тачка једног од најчешће коришћених приступа у оцењивању степена конкуренције на тржишту управо су остварени удели појединих тржишних учесника, на основу чијих распореда међу тржишним актерима се управо и оцењује конкуренција. У основи овог приступа налази се једноставно резоновање: што је мања концентрација удела, тим мање власти (моћи) на тржишту имају појединци учесници, и тим је већа могућност за развој конкуренције. И обрнуто. Оваква веза може се представити једноставним линеарним моделом

$$L = 1 - C \tag{1}$$

који показује постојање инверзног односа између конкуренције (L) и концентрације (C). Претпоставка о линеарном карактеру односа (1) крајње је поједностављена, а у основи вероватно и нетачна, будући да су истраживања показала да је тај однос другачији [1]. Ипак, нужно је њено прихватање, с обзиром да природа тог односа још увек није разјашњена. Допринос испитивању ове везе у нашој литератури дали су Лончар и коаутори [10], анализирајући банковна тржишта Србије, Хрватске, Румуније и Чешке.

Ниво, односно степен концентрације C у (1), оцењује се преко удела учесника на тржишту

$$s_i = \frac{Q_i}{Q} = \frac{Q_i}{\sum_{j=1}^{N} Q_j} \tag{2}$$

где је са N означен број учесника на тржишту, или неком његовом делу (грани, рецимо), Qi је обим производње (физички или новчано изражен, или пак нека друга величина – укупна средства, тј. актива, капитал, број запослених) i-тог учесника на тржишту. Степен концентрације у (1), очито, налазиће се на основу (2) између 1 (када на тржишту постоји само један учесник, па је и целокупна тржишна власт сконцентрисана код њега) и 1/N, када на тржишту постоји N учесника, који су сви (под)једнаке снаге. Када је N довољно велико, концентрација се приближава нули (C=1/N, C→0 када N→∞).

2. ПОКАЗАТЕЉИ КОНЦЕНТРАЦИЈЕ

За оцену степена концентрације развијен је и користи се већи број метода, односно показатеља. Међу њима највећу популарност стекли су коефицијент концентрације (CRn) и Хиршман-Херфиндалов коефицијент (HH), који су и најчешће коришћени. Први од њих представља прост збир удела првих n (по рангу, дакле најкрупнијих) учесника на тржишту

$$CRn = \sum_{j=1}^{n} s_j \ , \tag{3}$$

при чему се за n у емпиријским анализама најчешће узимало 4, иако за такав, или неки други, избор није дато никакво образложење. Без обзира на то колико се учесника (удела) узима у обрачун коефицијента, очито је да је овај показатељ усмерен на оно што се уобичајено назива „језгро" тржишта, а да занемарује његову „периферију", при чему граница између њих није јасно одређена.

За разлику од показатеља (3), Хиршман-Херфиндалов коефицијент одређује се узимањем у обзир удела свих учесника на тржишту. Пошто је збир удела свих учесника по дефиницији једнак јединици, у конструкцији овог коефицијента узимају се квадрати одговарајућих удела

$$HH = \sum_{j=1}^{N} s_j^2 \ . \tag{4}$$

Коефицијент концентрације (3) обрачунава се једноставно, потребно је имати свега неколико података. Он, међутим, има озбиљне недостатке (уз остало, он може имати исту вредност за различит распоред удела у оквиру „језгра"), а то значајно ограничава његову употребљивост. Често се истиче да код коефицијента (4) такав недостатак не постоји, а то га наводно чини знатно прихватљивијим. Ипак, пошто се његове вредности крећу у интервалу

$$\frac{1}{N} \leq HH \leq 1 \tag{5}$$

следи да његова минимална вредност зависи од броја учесника на тржишту, тако да је интерпретација коефицијента (4) у значајној мери отежана. То, наравно, важи утолико пре и за коефицијент (3). С

друге стране, очито је да ХН коефицијент већи значај придаје учесницима с већим уделом (пондер сваког удела заправо је сам тај удео). Међутим, важније од свега тога је што ХН не обезбеђује једнозначну везу између распореда удела и степена концентрације, тако да он може имати исту вредност за веома различите конфигурације тржишних удела [3].

У практичном спровођењу политике конкуренције код примене оба индекса појављују се и проблеми индентификовања типова (облика) конкуренције на основу њихових утврђених вредности. Они се решавају арбитрарним постављањем граница (на пример, код Хиршман-Херфиндаловог коефицијента уобичајене границе су 0,10 и 0,18, за неконцентрисана, умерено концентрисана и висококонцентрисана тржишта), да би се на основу вредности коефицијента (4) у одговарајућем сегменту одредио и тип конкуренције.

Исту логику агрегирања тржишних удела у један број прате и неки други, мање популарни и коришћени коефицијенти. Међу њима се истиче пре свега Ђинијев коефицијент, који налази широку примену у неким другим областима (као што су неједнакост у расподели доходака и сиромаштво). Он се може одредити на различите начине, а један од њих је следећи [9]

$$G = \frac{\sum_{i=1}^{N} S_i}{0{,}5\times(N+1)\sum_{i=1}^{N} s_i} - 1 \tag{6}$$

где S_j означава делимичне кумулативе s_i:

$$S_j = \sum_{j=1}^{i} s_j \,. \tag{7}$$

И Розенблатов коефицијент сумира све тржишне уделе (уређене у опадајући низ), али их пондерише одговарајућим ранговима, а коефицијент се обрачунава по формули [4]:

$$R = \frac{1}{2\times\sum_{i=1}^{N} R_i s_i - 1}\,. \tag{8}$$

На исти начин конструисан је и Тајдман-Холов коефицијент [6]

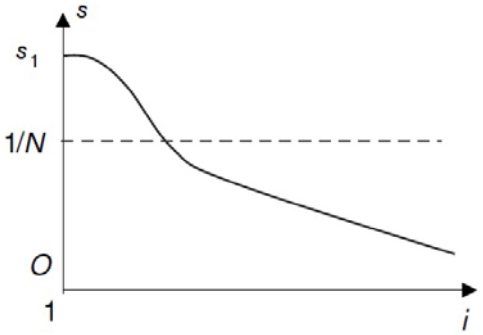
$$TH = \frac{1}{2\times\sum_{i=1}^{N} R_i s_i - 1} \tag{9}$$

али је код њега низ удела уређен у растући.

Другачија је логика у основи индекса, заправо – система индекса, који је још 1970-их конструисао Р. Линда [8]

$$IL_m = \frac{1}{m(m-1)}\sum_{i=1}^{m-1}\frac{m-i}{i}\cdot\frac{CRi}{CRm-CRi}\,, \tag{10}$$

који као резултат не даје један број, већ низ. Претходно је потребно уделе уредити у опадајући низ, а распоред добијених индекса открива (не)постојање олигополске структуре. Уколико је добијени низ индекса (10) монотоно опадајући, таква структура не постоји, а на њу, напротив, указује прво нарушавање опадајућег низа: $IL_m<IL_{m+1}$. Пошто, по дефиницији, олигополе чини три до четири („чврст”), односно седам до осам фирми („лабав”), индекси Линда израчунавају се негде до десетог у низу. На тај начин, и овај показатељ се задржава на „језгру” тржишта, али разлика у односу на CRn више је него уочљива.



Слика 1. Распоред удела фирми на тржишту

Другачији приступ распореду удела налази се у радовима С. Г. Светуњкова, видети рецимо [1]. Ту је представљен нови приступ, који се заснива на факту да (уређени) низ удела фирми на тржишту (2) формира монотоно опадајућу функцију. Та функција може бити представљена експоненцијалном кривом типа Гауса (11), са два непозната параметра (a и b), који се могу оценити методом најмањих квадрата, или директно, или после претходне логаритамске трансформације, у резултату које се добија линеарна функција. Међутим, како се за i=1 у (11) добија да је $b=s_1$, том заменом добија се функција с једним параметром (12), која логаритмовањем даје (13), одакле се параметар a може лако оценити (14). Коефицијенти $b=s_1$ и a репрезентују, односно одражавају својства посматраног распореда удела фирми на тржишту, тако да заправо представљају и својеврсне коефицијенте концентрације, што је за параметар b јасно само по себи.

$$s_i = be^{-a(i-1)} \tag{11}$$

$$s_i = s_1 e^{-a(i-1)} \tag{12}$$

$$ln\frac{s_i}{s_1} = -a(i-1)\,. \tag{13}$$

$$a = -\frac{\sum_{i=1}^{N} ln\frac{s_i}{s_1}}{\sum_{i=1}^{N}(i-1)} \tag{14}$$

Најзад, један од новијих приступа заснива се на рашчлањавању (разбијању) свих учесника на тржишту на основу њихових удела (2) на одговарајући број језгара, која показују структуру тржишта, односно степен конкуренције. Критеријуми које су развили Мотохин и Смарагдов довољно су комплексни, и захтевају вишеструка прерачунавања. Први од њих гласи

$$s_n > CR_{n-1}\left[\left[\frac{1}{2(n-1)} + \left[1 + \frac{1}{4(n-1)^2}\right]^{0,5} - 1\right]\right] \tag{15}$$

а након издвајања првог (основног) језгра поступак се понавља за преостале елементе скупа, уз примену нових критеријума. Видети, рецимо [2], где је метод примењен управо на сектор осигурања (у Русији).

3. ЕМПИРИЈСКА АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЉА: ПРИМЕР СЕКТОРА ОСИГУРАЊА У СРБИЈИ

Емпиријску проверу карактеристика наведених показатеља извршићемо на примеру сектора осигурања у Србији, на основу званичних података које даје Народна банка Србије (без података за банке на Косову и Метохији). Због специфичности конкуренције у овом сектору, неадекватно је користити као критеријум остварени приход, као што је то уобичајено у реалном сектору (уз физички обим производње, који овде нема пандана), тако да је најпре потребно изабрати променљиву према којој ће се одређивати концентрација и конкуренција. Према важећим прописима (Закон о заштити конкуренције, чл. 7), за оцену степена концентрације у овом сектору користи се укупна премија по свим облицима осигурања. И ми смо се овом приликом определили за ту променљиву, иако би за одређене сврхе, наравно, било пожељно користити и друге променљиве (укупна премија меживотног осигурања и укупна премија животног осигурања), као рецимо у раду [5]. Укупну премију користили су и други аутори, на пример [11].

У табели 1 приказане су вредности индекса концентрације и Хиршман-Херфиндаловог индекса. Све вредности су дате у процентима, дакле удели (2) помножени су са 100. То наравно ништа не мења на добијеним резултатима и њиховом тумачењу.

Табела 1: Вредности рација концентрације и Хиршман-Херфиндаловог индекса у сектору осигурања у Србији 2011–2020

Година	CR4	CR8	HH	Година	CR4	CR8	HH
2011.	72,1	88,6	1551	2016.	70,2	86,2	1496
2012.	71,6	87,5	1596	2017.	71,5	88,6	1543
2013.	70,3	85,6	1495	2018.	72,6	89,7	1597
2014.	70,8	87,7	1495	2019.	71,4	89,3	1545
2015.	70,9	87,5	1558	2020.	71,0	88,7	1526

Презентовани индекси указују на (релативно) висок ниво концентрације, без обзира на већ истакнут проблем одређивања граница између ниске, средње и високе концентрације (односно, било које друге класификације). Само по себи, то указује и на могућност постојања олигополске структуре, што ће бити потврђено у даљем, применом другачијег методолошког поступка. Ипак, треба нагласити да су овде презентоване вредности Хиршман-Херфиндаловог индекса значајно ниже него у годинама које су претходиле овде анализираном периоду (преко 2000 у 2006, 2007. и 2008, нешто изнад 1800 у 2009. и изнад 1600 у 2010), а што због ограниченог простора нисмо детаљније приказали.

Пре тога, укажимо на вредности других коефицијената, које смо назначили у претходном разматрању. Због ограничености простора задржаћемо се на само неколико последњих година. Тако су Тајдман-Холов и Розенблатов коефицијет имали следеће вредности, респективно, у годинама 2017–2020: (0,1595; 0,0366), (0,1557; 0,0391), (0,1518; 0,0393) и (0,1487; 0,0396). Као и када је реч о индексима у табели 1, и овде можемо запазити да у последњим годинама нема јасне тенденције у

кретању ових коефицијената. Наравно, остаје проблем тумачења добијених вредности, као и код других коефицијената, односно индекса овог типа. Исто треба рећи и за вредности Ђинијевог коефицијента у последњим годинама (0,5634; 0,5538; 0,5455).

Табела 2: Вредности индекса Линда у сектору осигурања у Србији 2011–2020

IL	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
IL2	0,7089	0,7272	0,7011	0,5840	0,5759	0,5772	0,6302	0,6434	0,6150	0,6723
IL3	0,4703	0,5966	0,5828	0,5240	0,6102	0,5977	0,6107	0,6175	0,6042	0,6056
IL4	0,4911	0,5403	0,4840	0,4692			0,4620	0,4718	0,4586	0,4548
IL5		0,5488	0,5189	0,4997			0,5009	0,5066	0,4736	0,4661

Као што се види у табели 2, вредности индекса Линда показују постојање чврстог олигопола, практично у свим годинама посматраног периода, без обзира на одређене разлике у појединим годинама. Низ ових вредности, наиме, прекида се у највећем броју случајева код петог по реду индекса (IL5>IL4), а у неким годинама и раније, што наводи на поменути закључак, при чему олигопол у највећем броју година формирају четири фирме..

На висок степен концентрације указују и коефицијенти a и b из модела (11). У последње четири године ови коефицијенти имали су следеће вредности: (0,2678; 0,2619), (0,2759; 0,3054), (0,2644; 0,3003) и (0,3700; 0,2891).

Најзад, применом метода разбијања на језгра, као новог поступка, видети на пример [2], добија се да прво, основно језгро чине две водеће компаније. Сложеност поступка и лимитираност простора ограничили су и овог пута наш обрачун на последње године (горњи резултат односи се на 2018, 2019. и 2020. годину). Као што се види, овај поступак даје још строже резултате, издвајајући две водеће компаније. Такође, наша анализа није овом приликом обухватила даље рашчлањавање (разбијање) свих учесника на друга језгра, а што би комплекснија анализа свакако морала да обухвати.

4. ЗАКЉУЧАК

Савремена економска теорија посматра конкуренцију као неизоставни фактор повећања ефикасности пословања. То се односи како на реални сектор привреде, тако и на инфраструктуру, конкретно на финансијски сектор, а у оквиру њега и на сектор осигурања. Овакав третман добија постепено финансијски сектор и у радовима наших истраживача, у којима се применом стандардних али и новијих метода анализирају концентрација и конкуренција. Број таквих истраживања, као и примењених методолошких поступака, до сада је нешто већи у банковном него у сектору осигурања, али се временом ситуација побољшава.

У овом раду извршена је анализа степена концентрације, последично и конкуренције, у сектору осигурања у Србији у последњој деценији. Примењени су стандардни коефицијенти, односно методи (рацио концентрације и Хиршшман-Херфиндалов индекс), као и неки ређе коришћени индикатори (Тајдман-Холов и Розенблатов, Ђинијев), али и неки од новијих, односно код нас још увек некоришћених методолошких поступака, као што су индекси Линда, метод тржишних језгара и метод коефицијената на бази Гаусове криве распореда тржишних удела.

Добијени резултати показују на (релативно) висок ниво концентрације, и сугеришу постојање олигополске тржишне структуре, при томе структуре типа „чврсти" олигопол. Током посматраног периода није дошло до значајнијих промена у степену концентрације (и конкуренције), иако се и запажа одређена флуктуација обрачунатих показатеља. Треба нагласити да је током протекле деценије број осигуравајућих компанија значајно опадао (са 23 у 2011, односно 24 у 2012. и 2013, до 16 у последње три године), што се по дефиницији не може сматрати као позитиван показатељ када је у питању конкуренција.

С обзиром на још увек мали број истраживања концентрације и конкуренције у сектору осигурања, неопходно је препоручити даља истраживања, наравно уз пожељну примену и других приступа.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Воробьёв, П. Ф. и С. Г. Светуньков. (2016). Новый подход к оценке уровня конкуренции. Современная конкуренция, 10(6), 5–19.

[2] Смарагдов, И. А. и Е. И. Нестерова (2015). Структура российского страхового рынка и конкуренция на нем, Концепт, 4, 1–7.

[3] Смарагдов, И. А. и В. Н. Сидорейко. (2015). Индексы рыночной концентрации: неоднозначная информативность, Концепт, 9, 1–8.

[4] Bikker, J. A. & K. Haaf. (2002). Measures of Competition and Concentration in the Banking Industry: a Review of the Literature, Economic & Financial Modelling, 9 (2), 53–98.

[5] Dimić, M. (2015). Analiza nivoa koncentracije u bankarskom sektoru i u sektoru osiguranja u zemljama centralne i istočne Evrope, doktorska disertacija, Beograd: Univerzitet Singidunum.

[6] Hall, M. and N. Tideman (1967). Measures of Concentration, Journal of the American Statistical Association, 62 (317), pp. 162–168.

[7] Kostić, M. (2009). Analiza koncentracije ponude u sektoru osiguranja Srbije, Industrija, 37 (2), 59–77.

[8] Linda, R. (1976). Methodology of concentration analysis applied to the study of industries and markets, Brussels: Commission of the European Communities.

[9] Lipczynski, J.; J. O. S. Wilson, J. Goddard. (2013). *Industrial Organization. Competition, Strategy and Policy*, Fifth Edition, Harlow: Pearson Education Limited.

[10] Lončar, D.; A. Đorđević, M. Lazić, S. Milošević, V. Rajić. (2016). Interplay Between Market Concentration and Competitive Dynamics in the Banking Sector: Evidence from Serbia, Croatia, Romania and the Czech Republic, Ekonomika preduzeća, 64 (5–6), 332–346.

[11] Maksimović, Lj. i M. Kostić (2012). Limitations in the Application of Concentration Indicators, Ekonomika preduzeća, 60 (3–4), 199–205.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

VALUTNA NEUSAGLAŠENOST U COVID-19 OKOLNOSTIMA

CURRENCY MISMATCH IN COVID-19 CIRCUMSTANCES

IRENA JANKOVIĆ[1]

[1] Univerzitet u Beogradu – Ekonomski fakultet, Beograd, irena.jankovic@ekof.bg.ac.rs

Rezime: *Valutna neravnoteža doprinosila je izbijanju velikog broja kriza tokom 1990-tih godina. Rad analizira značaj valutne neravnoteže u okolnostima pre i tokom poslednje globalne Covid-19 krize. Valutna neravnoteža na nivou zemlje rezultat je parcijalnih neusaglašenosti na nivou države, korporativnog sektora i sektora stanovništva. Dolarski dug korporacija zemalja u razvoju značajno raste od krize 2007-2008 do danas utičući na rast rizika nesolventnosti kompanija uz prelivanja negativnih efekata na bilans bankarskog sektora. U radu se analiziraju finansijski rizici koji proističu iz navedenih trendova i naglašavaju se neophodne aktivnosti za nadležne regulatorne politike. Ističe se da zemlje u razvoju imaju potencijal da izbegnu valutnom neravnotežom podržane krizne događaje ako unaprede ekonomske politike koje doprinose boljem nadzoru tržišta obveznica i procesa zaduživanja u stranim valutama. Navedeno je od posebnog značaja za održanje finansijske stabilnosti posmatranih i sa njima povezanih zemalja.*

Ključne reči: *valutna neusaglašenost, zemlje u razvoju, COVID-19 kriza.*

Abstract: *Currency mismatch contributed to the outbreak of a number of crises during the 1990s. The paper analyzes the significance of currency mismatch in the circumstances before and during the last global Covid-19 crisis. Currency mismatch at the country level is the result of partial mismatches at the level of the government, the corporate sector and the household sector. The dollar debt of corporations in developing countries has been growing significantly since the crisis of 2007-2008 until today, influencing the growth of the insolvency risk of companies with spillovers of negative effects on the balance sheet of the banking sector. The paper analyzes the financial risks arising from these trends and emphasizes the necessary activities for the relevant regulatory policies. It points out that developing countries have the potential to avoid currency-backed crisis events by advancing economic policies that contribute to better supervision of bond markets and foreign currency borrowing processes. This is of particular importance for maintaining the financial stability of the observed and related countries.*

Keywords: *Currency Mismatch, Developing Countries, COVID-19 Crisis.*

1. UVOD

Valutna neusaglašenost na makronivou jedne zemlje rezultat je ukupne neusaglašenosti na nivou ključnih aktera u sistemu – države, preduzeća i stanovništva. Rastući značaj u tekućim okolnostima ima denominacija duga korporativnog sektora u zemljama u razvoju [7]. Od svetske krize 2007-2008. godine do danas emisija obveznica denominovanih u američkim dolarima od strane kompanija sa sedištem izvan SAD dominira u inostranom zaduživanju. U većem broju zemalja u razvoju visok leveridž i valutna neusaglašenost kod korporativnog sektora povećala je rizik nesolventnosti sa efektom prelivanja na bilanse lokalnih poslovnih banaka.

Značajan rizik za finansijsku stabilnost počeo je da nastaje sa postkriznim (2007-2008) rastom dolarske likvidnosti [8]. Uporedo raste i zabrinutost tržišnih aktera da će eventualni porast dolarskih kamatnih stopa naneti štetu kompanijama sa sedištem van SAD koje su se zaduživale u dolarima [2]. Obveznice emitovane u američkim dolarima od strane ovih kompanija u tim okolnostima deluju najugroženije. COVID-19 pandemija doprinela je ovom scenariju. Kompanije su se suočile sa padom dolarskih prihoda dok se uporedo kapital povlačio iz zemalja u razvoju i lokalnih finansijskih instrumenata. Tada je FED naglo relaksirao monetarnu politiku i dugoročna kamatna stopa, ujedno pokazatelj globalne likvidnosti, dostigla je rekordno nizak nivo.1 Dugoročna stopa se može dekomponovati na dugoročno očekivanje o kretanju kratkoročne kamatne stope i ročnu premiju. Upravo je očekivanje o padu kratkoročnih kamatnih stopa dovelo do pada

[1] Stopa prinosa na 10-godišnje državne obveznice

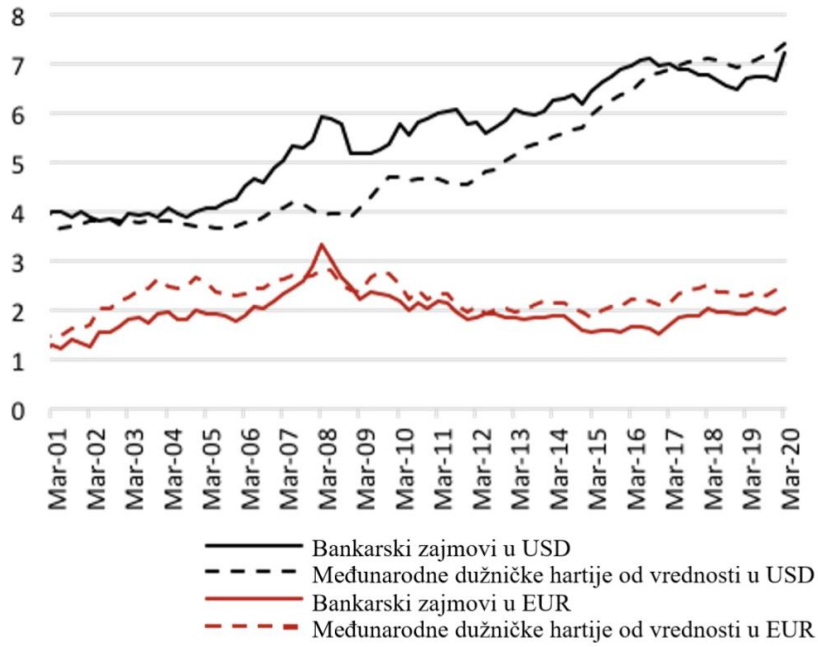
prinosa na 10-ogodišnje obveznice. Tržišni akteri su dobili signal da će najveće centralne banke držati kamatne stope na niskom nivou veoma dugo.

Krizom indukovane okolnosti dodatno su povećale tražnju za fiskalnim stimulusima navodeći neke centralne banke na kupovinu državnih obveznica, na taj način jače povezujući monetarnu sa fiskalnom politikom. Uprkos značajnom povećanju nivoa zaduženosti i učešća javnog duga u BDP-u ročne premije su i dalje na rekordno niskom nivou. Moguće je da investitori veruju da će se vlade oslanjati i na dalje na centralne banke kako bi se dugoročne kamatne stope održale na niskom nivou, nezavisno od toga koliko je loša fiskalna pozicija.

Do sredine 2020. godine finansijska sredstva su počela da se vraćaju u zemlje u razvoju i usmeravaju u obveznice i akcije. S obzirom na to da su dugoročne kamatne stope sada bile na još nižem nivou, mnoga preduzeća sa sedištem u ovim zemljama emitovala su još dolarskog duga. Time se rizik nesolventnosti ovih kompanija povećao učinivši ih osetljivim na pogoršanje uslova dolarskog zaduživanja.

2. GLOBALNA LIKVIDNOST I DENOMINACIJA DUGA NEBANKARSKOG SEKTORA ZEMALJA U RAZVOJU

Nakon jake kontrakcije po otpočinjanju globalne finansijske krize usledila je globalna ekspanzija međunarodnog zaduživanja u stranim valutama od strane nebankarskog sektora. Rastući količnik duga denominovanog u inostranim valutama prema BDP-u ukazuje na uvećanje leveridža. Ovaj trend se nastavio do pandemije, a uvećanje leveridža se ubrzalo. Do sredine 2020-e godine dolarski dug nebankarskog sektora izvan SAD prevazišao je iznos od 12 biliona USD što čini više od 14% svetskog BDP-a. Učešće inostranog duga u BDP-u je iznosilo ispod 10% u 2007. godini [7].



Grafikon 1: Međunarodni dug nebankarskog sektora u inostranim valutama (kao % svetskog BDP-a)
Izvor: [9]

Pored činjenice da se uvećava ukupno međunarodno zaduživanje u inostranim valutama, interesantno je da najveći deo tog rasta potiče od emisije obveznica, a ne od bankarskih kredita. Niske dugoročne kamatne stope ohrabrile su kompanije iz zemalja u razvoju na dugoročno zaduživanje na međunarodnom tržištu kapitala. Raznovrsni kanali posredovanja na ovom tržištu kreiraju pri tome sistemske rizike koji predstavljaju izazov za regulatore. Rizici su često slabo vidljivi jer potiču od slabije regulisanih učesnika na tržištu i hedžovani su na načine koji potencijalno uvećavaju mogući efekat zaraze.

Sve navedeno učinilo je obveznice zemalja u razvoju posebno osetljivim na šokove likvidnosti. Portfolio menadžeri koriste fondove obveznica kako bi postigli diversifikaciju portfolija obveznica zemalja u razvoju. Ti fondovi često oglašavaju dnevnu cenu investicionih jedinica i kad je bazna aktiva nedovoljno likvidna, stvarajući iluziju likvidnosti. Investitori, sa druge strane, posebno ako koriste zaduživanje za pribavljanje sredstava za investiranje, čine ovo tržište još volatilnijim.

Dodatno, zabrinjava i rast zajmova denominovanih u američkim dolarima. Usled toga što je udeo ovog duga znatno viši od udela trgovine sa SAD i privredama baziranim na dolarima, rast vrednosti dolara u odnosu na evro i druge valute bi otežao servisiranje inostranog duga bez pratećeg unapređenja međunarodne konkurentnosti. Devalvacije i deprecijacije ostalih valuta prema dolaru used toga mogle bi imati kontrakciono dejstvo. Uvećanje potrebnih iznosa u lokalnoj valuti za servisiranje dolarskog duga smanjuje raspoloživi dohodak i može navesti preduzeća da smanjuju investicije.

Konačno, razlog za zabrinutost potiče od potencijalne slabosti tržišta valutnih derivata. Veliki broj preduzeća iz zemalja u razvoju hedžuje svoje dugoročne dolarske obaveze kratkoročnim derivatnim instrumentima kao što su npr. tromesečni svop ugovori, računajući na to da će po dospeću konkretnog ugovora moći bez problema da ga obnove. Međutim, u trenucima finansijskih šokova, kada tražnja za dolarima raste, uslovi za zaštitu ovim ugovorima se mogu okrenuti protiv preduzeća koja imaju dugove u dolarima. Iznenadne promene cena, pa i nestanak derivatnih ugovora za pojedine valute, mogu destabilizovati zadužene kompanije.

Povećana valutna izloženost kompanija vodila je većoj zavisnosti od valutnih derivata. Prema statistici o vanberzanskim derivatima Banke za međunarodna poravnjanja vrednost aktivnih valutnih ugovora dostigla je 94 biliona USD do sredine 2020. godine, od čega se 26 biliona USD odnosi na valutne svop ugovore [9]. O nivou likvidnosti ovog segmenta tržišta dosta govori ponašanje raspona (međuvalutna baza) na tržištu valutnih svopova. Širenje raspona ukazuje na nižu likvidnost. Dobar proksi za pritiske na valutnom derivatnom tržištu na globalnom nivou jeste medijana raspona za 22 valute predložena od strane MMF-a [3]. Do 2007. godine njena vrednost je bila blizu nule ukazujući na pretežnu ispunjenost uslova pokrivenih pariteta kamatnih stopa. Od globalne krize međuvalutne baze mnogih valuta naspram dolara postale su znatno volatilnije. Raspon se proširio u martu 2020. godine i medijana raspona se uvećala na 70 baznih poena za valute zemalja u razvoju. Valutnu krizu sprečila je brza reakcija FED-a kroz aktivaciju dolarskih svop linija sa ostalim centralnim bankama. Taj potez suzio je međuvalutni raspon kod zemalja koje su ušle u ove aranžmane, ali ne i kod onih koje nisu.

3. VALUTNA NEUSAGLAŠENOST ZEMALJA U RAZVOJU

Pretnja finansijskoj stabilnosti usled uvećanog zaduživanja u stranim valutama od strane preduzeća iz zemalja u razvoju zavisi od veličine valutne neusaglašenosti. Nije dovoljno posmatrati samo agregatni nivo njihove međunarodne zaduženosti kroz emisiju obveznica u stranim valutama. Potrebno je uzeti u obzir i imovinu denominovanu u inostranim valutama koja je, takođe, značajno uvećana u posmatranom periodu, smanjenja drugih oblika obaveza u inostranim valutama (npr. bankarski zajmovi), kao i prihode generisane u stranim valutama (primarno po osnovu izvoza).

Usled odsustva sistematizovanih podataka i zvanične statistike za podatke korporativnog sektora autori Chui *et al*. (2016) izračunali su valutnu neusaglašenost za nedržavni sektor u kome, suštinski, korporativni sektor ima veliko učešće.

Mera valutne neusaglašenosti konkretne zemlje (ili konkretnog sektora u zemlji) ima sledeći oblik:

$$ACM_{i,t} = \frac{NFCA_{i,t}}{X_{i,t}} \quad (1)$$

gde je

$$NFCA_{i,t} = FCA_{i,t} - FCL_{i,t} \quad (2)$$

pri čemu se:

$ACM_{i,t}$ odnosi na agregatnu meru valutne neusaglašenosti (sektora preduzeća) zemlje *i* u periodu *t*

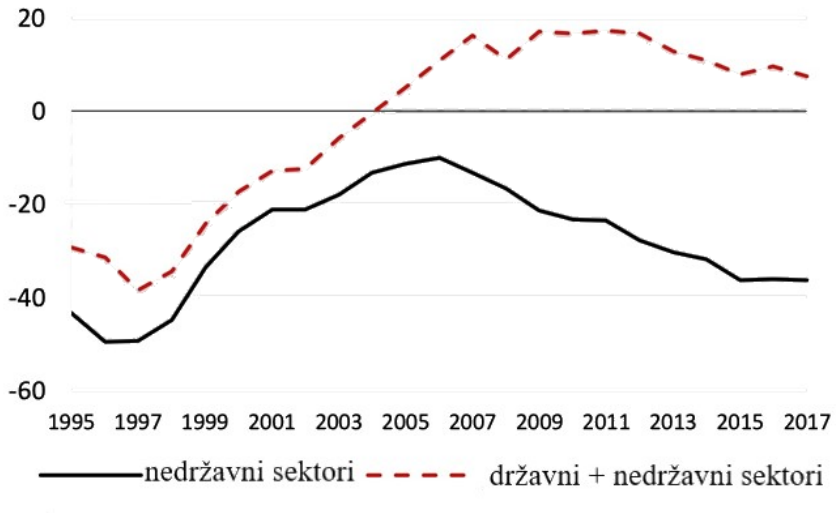
$NFCA_{i,t}$ odnosi na neto vrednost imovine u stranim valutama (sektora preduzeća) u zemlji *i* u periodu *t*

$FCA_{i,t}$ na vrednost imovine u stranim valutama (sektora preduzeća) u zemlji *i* u periodu *t*

$FCL_{i,t}$ na vrednost obaveza u stranim valutama (sektora preduzeća) u zemlji *i* u periodu *t*

$X_{i,t}$ na vrednost izvoza zemlje *i* u periodu *t*

Na grafikonu broj 2 prikazano je kretanje mere agregatne valutne neravnoteže za uzorak zemalja u razvoju. Crvena isprekidana linija prikazuje kretanje prosečne mere valutne neravnoteže na nivou zemalja, dok crna linija prikazuje kretanje prosečne mere valutne neravoteže za nedržavne sektore u kojima dominiraju korporativni sektori posmatranih zemalja.



Grafikon 2: Neto imovina u stranoj valuti (kao % izvoza)
* Uzorak zemalja u razvoju: Brazil, Čile, Kolumbija, Republika Češka, Mađarska, Indonezija, Malezija, Meksiko, Peru, Filipini, Poljska, Južna Afika, Tajland i Turska
Izvor: [7]

Kako rezultati pokazuju, agregatna mera valutne neravnoteže još uvek je pozitivna na nivou posmatranih zemalja ukazujući na to da deprecijacija lokalnih valuta još uvek poboljšava spoljnotrgovinski bilans kroz tekući deo platnog bilansa i podsticaj izvozu. Ipak, ovaj količnik opada tokom poslednje decenije čineći agregatnu zaštitu kroz spoljnotrgovinski bilans nižom nego pre globalne krize. Ranjivost posmatranih zemalja suštinski značajno raste usled rasta neto duga korporativnog sektora u inostranim valutama koji dostiže 40% godišnje vrednosti izvoza krajem 2017. godine. Obim duga u dolarima znatno varira po regionima. Dolarski dug Kine porastao je sa 6% 2008. godine na 20% vrednosti izvoza 2019. godine. U jugoistočnoj Aziji učešće dolarskog duga u vrednosti izvoza poraslo je sa 24% na čak 70%, a u Latinskoj Americi sa 70% na 106% [7].

4. OPASNOSTI DUGA DENOMINOVANOG U STRANIM VALUTAMA ZA SPROVOĐENJE EKONOMSKIH POLITIKA

Visoki iznosi duga u inostranim valutama imaju sistemski uticaj iz nekoliko razloga:

- Veliki broj preduzeća koja ne generišu prihode u dolarima zadužila su se u dolarima bez adekvatnog hedžinga svojih valutnih izloženosti [5]. Dodatno, preduzeća su često ulagala pozajmljena sredstva u dolarima u visokoprinosnu imovinu denominovanu u lokalnoj valuti [4]. U kriznim situacijama i pritiscima na lokalne valute kompanije kupuju dolare kako bi servisirale dolarske dugove. Deprecijacija lokalnih valuta otežava servisiranje inostranog duga povećavajući dodatno tražnju za dolarima sa pojačanim negativnim efektom na vrednost domaćih valuta.
- Pored duga u stranoj valuti, visok leveridž kod preduzeća iz zemalja u razvoju povećava njihovu finansijsku osetljivost. Dugovi u stranim valutama pojačavaju ovaj efekat, posebno ako preduzeća posluju u neizvoznim sektorima [1]. Navedeno može imati posledice na makronivou jer preduzeća sa dolarskim dugovima smanjuju obim investicija.
- Otežavajuće okolnosti kod dolarskog zaduživanja preduzeća prete stabilnosti lokalnog bankarskog sektora. Aktiviranjem potcenjenih kreditnih linija dolazi do istiskivanja drugih zajmotražilaca sa tržišta zajmova dok gašenje lokalnih depozita utiče na likvidnost i solventnost lokalnih banaka.

Visok nivo zaduženosti u inostranim valutama otežava sprovođenje monetarne politike u kriznim uslovima. Tada se postavlja pitanje – kako sprovoditi ekspanzivnu monetarnu politiku u borbi protiv recesije bez podsticanja deprecijacije lokalne valute koja bi bila poguba za korporativni sektor sa pretežno dolarskim dugovima? Snižavanje referentne kamatne stope u tim okolnostima može imati efekat kontrakcije.

Neke centralne banke (npr. Indonezije, Filipina, Južne Afrike) primenile su strategiju prema kojoj nisu snižavale referentnu stopu, kako bi očuvale vrednost domaće valute, već su kupovale državne obveznice. Nekim bankama u Latinskoj Americi bilo je dozvoljeno da kupuju državne hartije i hartije privatnog sektora na sekundarnom tržištu. Mnoge centralne banke koristile su kvantitativno popuštanje bez dostizanja nulte

kamatne stope. Ovakave promene u procesu sprovođenja monetarne politike pogodovale su dodatnom zaduživanju države [6].

Tražnja inostranih investitora za državnim obveznicama zemalja u razvoju denominovanim u lokalnim valutama podstaknuta je postkriznim decenijski niskim prinosima državnih obveznica razvijenih zemalja. Povećano učešće državnih obveznica zemalja u razvoju u portfolijima međunarodnih investitora ojačalo je interakcije između deviznog tržišta i tržišta obveznica. Utoliko su inostrani investitori, ulaganjem u ove hartije, postali dvostruko izloženi.

Viši iznosi državnih obveznica i ostalih finansijskih instrumenata kojima se trguje na otvorenom tržištu omogućava obimnije kupovine finansijske aktive od strane centralnih banaka. Kvantativno popuštanje često je podržano zvaničnim merama koje ohrabruju lokalne banke i druge domaće investitore da kupuju državne obveznice koje stranci u periodu kriza prodaju. Otklanjanje rizika na tržištu obveznica pomaže stabilizaciji domaćeg finansijskog sistema jer se državne obveznice koriste kao nerizična imovina i pouzdan kolateral kod zaduživanja. Stabilnost na ovom tržištu podstiče ponovno poverenje investitora i podržava stabilizaciju deviznog kursa. Ovakav sled događaja protivi se ortodoksnom stavu da kvantitativne olakšice utiču na slabljenje lokalne valute. Značajan rast spredova prinosa obveznica zemalja u razvoju usled nepovoljnog toka COVID-19 pandemije u martu 2020. godine odlučno je preokrenut navedenim aktivnostima i kompanije su nastavile zaduživanje emisijom u dolarima denominovanih obveznica.

5. ZAKLJUČAK

Finansijski rizici koji proističu iz značajnog rasta obaveza u dolarima za korporativne sektore zemalja u razvoju u prethodnom periodu i periodu COVID-19 pandemije zahtevaju adekvatan odgovor kreatora nadležnih ekonomskih politika.

Kao prvo, potrebno je otkloniti nedostatke u međunarodnom regulatornom okviru koji pokriva tržišta obveznica. Uočene slabosti i povezanost nebankarskih sektora na međunarodnom nivou zahtevaju povezanu akciju regulatora sa čime, čini se, postoji saglasnost najvećih zemalja na globalnom nivou. Drugo, makroekonomske politike u zemljama u razvoju su, skoro u potpunosti, fokusirane na banke i zaduživanje putem zajmova dok su slabo pokrivale rizike visokog leveridža i valutnih i ročnih neusaglašenosti koje stvaraju nebankarske finansijske institucije. Uočava se da je nova finansijska kriza neizbežna ukoliko se tržišta kapitala efektivnije ne pokriju adekvatnom regulativom. Centralne banke zemalja u razvoju moraju razviti nove alate kojima će obeshrabriti strategije rizičnog zaduživanja kompanija i zaštititi domaće banke od posledica takvog zaduživanja. Konačno, centralne banke ovih zemalja suočavaju se sa složenim izborom u domenu sprovođenja monetarne politike. Sa jedne strane, njihova sposobnost da se bore sa recesijom putem snižavanja referentne kamatne stope ograničena je usled visokog iznosa duga u stranoj valuti lokalnog korporativnog sektora. Sa druge strane, vremenom razvijena i dublja lokalna finansijska tržišta učinila su primenu strategije kvantitativnog popuštanja efektivnijom, kako za stabilizovanje domaćeg bankarskog sistema, tako i za podršku agregatnoj tražnji. Koliko dobro ova strategija funkcioniše zavisi od fiskalne pozicije svake konkretne zemlje i poverenja javnosti u to da će nezavisna centralna banka održavati inflaciju na niskom nivou.

Rast zaduživanja u stranoj valuti, u epohi niskih kamatnih stopa na globalnom nivou, kreira značajan rizik od povećanja broja i iznosa neizmirenih obaveza u budućnosti.

LITERATURA

[1] Alfaro, L., Asis, G., Chari, A., & Panizza, U. (2019). Corporate debt, firm size and financial fragility in emerging markets. NBER Working Paper 25459, January.

[2] Acharya, V., Cecchetti, S., de Gregorio, J., Kalemli-Ozcan, S., Lane, P., & Panizza, U. (2015). Emerging economy corporate debt: the threat to financial stability. VoxEU.org, 5 October. https://voxeu.org/article/emerging-economy-corporate-debt-threat-financial-stability

[3] Barajas, A., Deghi, A., Fendoglu, S., & Xu, Y. (2020). Strains in offshore US dollar funding during the COVID-19 crisis. MCM Analytical Notes 20/01, IMF.

[4] Bruno, V., & Shin, H.S. (2020). Currency depreciations and emerging market corporate distress. Management Science, 66(5), 1935-1961.

[5] Chui, M., Kuruk, E., & Turner, P. (2016). A new dimension to currency mismatches in the emerging markets: non-financial companies. BIS Working Papers 550

[6] Forni, L. (2020). Private and public debt interlinkages in bad times. Journal of International Money and Finance, 109(C).

[7] Forni, L., & Turner, P. 2021. Global liquidity and dollar debts of emerging market corporates. VoxEU.org, 15 January. https://voxeu.org/article/global-liquidity-and-dollar-debts-emerging-market-corporates

[8] Robert Triffin International – RTI. (2019). Managing global liquidity as a global public good. RTI Paper no 11.

[9] www.bis.org

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

SOVEREIGN CREDIT RATING TRANSITION MATRIX ESTIMATION USING DIFFERENTIAL EVOLUTION

SRĐAN JELINEK[1], DRAGANA MAKAJIĆ-NIKOLIĆ[1], PAVLE MILOŠEVIĆ[1]

[1] Faculty of Organisational Sciences, Belgrade, {srdjan.jelinek, dragana.makajic-nikolic, pavle.milosevic}@fon.bg.ac.rs

Abstract: *In this paper, a new methodology for credit rating transition matrix estimation using differential evolution algorithm is proposed. The first step of the proposed algorithm is assigning a numeric value to each credit rating, and then represent each credit rating pair over two consecutive years with a linear equation where the unknown values are obtained from the transition matrix, which represent probabilities of a credit rating transition to any other credit rating. Then, differential evolution is used to solve a system of linear equations with the constraints obtained from general rules of the transition matrix probabilities. The methodology is tested on a nineteen-year (from 2000 to 2018) historical credit rating time series for 83 countries from all over the world, in order to demonstrate its benefits and limitations.*

Keywords: *Transition Matrix, Sovereign Credit Rating, Differential Evolution*

1. INTRODUCTION

Credit rating represents an estimation of the credit risk in the short (1 year) or long (10 or more years) future period. It is used to classify the ability of a subject (e.g. sovereign, public or private company) to fulfil its obligations toward its creditors [7]. There is no explicit formula showing how a credit rating is calculated, and therefore there are many different internal models which were developed for that purpose. These models are used and developed by individuals (mostly for academic and research purposes), companies (for the internal use), or publicly recognized institutions specialized in credit rating estimation [1]. The three biggest institutions for the credit rating estimation are Standard & Poor's (*S&P*), Moody's Investor Services (*Moody's*) and Fitch Ratings (*Fitch*). The credit ratings can roughly be divided into two categories: a) the corporate ratings, which are issued for the companies, and b) the sovereign ratings, issued for the states [14]. When determining the sovereign rating, a vast analysis needs to be done, including encompassing and estimation of the several criteria, such as political stability, economic strength and growth, fiscal and monetary policies, social aspects, etc [3]. Therefore, it is clear why there is no publicly available and explicit methodology for the credit rating estimation [12], which would be universally used for all the subjects, as there are too many variables and aspects which are not easily quantified.

Any credit rating assigned to a particular entity is subject to a change as it is recalculated over period of time, e.g. each year. The three major credit rating institutions use the alphabetic scales, where 'D' is mostly used as the worst and 'AAA' as the best grade, together with the + and – modifiers, which show the relative position of a credit rating inside the main credit rating categories [3]. In contrast to most financial instruments, credit rating tends to remain the same over time. Even when that is not the case, it is rarely the case that the credit rating is upgraded or downgraded more than one or two places on a credit rating scale. In order to classify the probabilities of how ratings change over the years a credit rating transition probability matrix (TPM [4]) is used. It is a square matrix containing the transition probabilities of each credit rating to any other credit rating, including itself over specified period of time [11]. Alongside with publishing credit ratings every year, institutions also publish transition matrices, usually for periods of one, three and ten years[5].

In general, the models which are used to determine TPM for the credit ratings are considered as black boxes. There are several attempts to model the TPM either by using historical data [5], Bayesian approach [12], or Markov chains [6]. Therefore, there is an opportunity to use the machine learning techniques and algorithms in order to replicate the real algorithm of generating a TPM. The unsupervised machine learning algorithms

[1] https://www.spratings.com/documents/20184/774196/Corporate+Ratings+Methodology.pdf/8fd4392a-4aae-4669-bd74-a9b86e18d781
[2] https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1698547/000119312519091962/d721318dex99e2nrsro.pdf
[3] https://www.spglobal.com/ratings/_division-assets/pdfs/guide_to_credit_rating_essentials_digital.pdf
[4] In this paper TPM is used as an abbreviation for the credit rating transition probability matrix.
[5] https://www.fitchratings.com/research/corporate-finance/2020-transition-default-studies-31-03-2021

do not require expert knowledge in order to use them, which is a prerequisite for this kind of problem. In order to estimate the credit rating transition matrix, we first set the model equations using the historical credit rating time series, define the constraints and then use the algorithm to generate the TPM by minimizing the forecasting error.

The optimization algorithm used in this paper is Differential Evolution (DE), an algorithm first proposed by Storm and Price [13], which comes from the family of genetic algorithms. It is an algorithm used in evolutionary computation, which is a set of algorithms based on trial-and-error premise and inspired by biological evolution. The algorithm is often used in conjunction with various machine learning algorithms, such as Support Vector Machines (SVN) [10], Neural Networks (NN) [9], and others. DE is based on a premise of improving the set of initial solutions, called population, over the number of predetermined iterations. In each iteration, new candidates for the next generation are created from the previous set of solutions, tested via optimization function, and then the better performing solutions are kept in the next generation. There are many applications of the DE algorithm in financial sector, with portfolio optimization being one of the more common problems being solved as explained in [8, 2, 4]. So far, there was one attempt of estimating TPM using a subtype of DE algorithm, JADE, in [15] by using only two-year periods to obtain the one-year TPM, and then expanding it by raising it to a power in order to get the estimation for the long-term TPM.

In this paper, we try to estimate the TPM using the historical credit ratings for 83 countries over a nineteen-year long period by using a set of equations representing all the one-year transitions. In order to estimate the TPM, we first define the model equations by using the historical credit rating time series. Next, we define the constraints and then use the basic DE algorithm to generate the TPM by minimizing the forecasting error. The DE algorithm used to solve the system of the linear equations is the basic one with the empirically obtained control parameters. Such combination of representing credit rating transitions using the system of linear equations which are later solved by a DE algorithm is both highly customizable (due to credit rating numeric values scheme) and easy to implement (due to vanilla DE algorithm being publicly available).

The paper is structured in a following manner. In Section 2 we give a description of the proposed model, together with all the constraints and data used for testing. Section 3 contains the testing results and comparison against the credit matrices published by *Fitch* institution. Finally, a conclusion and discussion about further improvements is given in the Section 4.

2. MODEL

2.1. Data

The sovereign credit ratings used in this study are obtained from the *Fitch* credit rating agency, for the period of 19 years, from 2000 to 2018. Even though the credit ratings are published on a yearly basis, and therefore 19 years cannot be considered a very long period (as it would be if some other financial instrument or trading is to be tested on the same time range), the period is definitely sufficient for the testing as it encompasses both the periods of economic development, stagnation and the volatile years around 2008, when the financial crises occurred. The crises resulted in many credit ratings being overestimated and, as a consequence, going downwards in the later years. Still, this turn of events was more oriented towards the private sectors rather than the sovereign ratings.

There are 83 countries used in this study from the four major world regions, Europe, North and South America, Asia and Africa. This results in total of 1577 ratings for the observed period, which will be used in order to estimate the transition matrix.

2.2. Model

The original *Fitch* credit rating scale has 25 different ratings on the alphabetical scale, from 'AAA' to 'DDD', where + and – modifiers can also be applied, resulting in ratings such as AA+, A-, BB+, etc. In order to make these ratings applicable in the formulas such as Equation (1) and throughout the model, a numerical value between 0 and 100 is assigned to each rating according to Table 1.

Table 1: Credit rating numerical values

Rating	Value	Rating	Value	Rating	Value	Rating	Value
AAA	100	A-	72	BB-	52	CCC-	32
AA+	88	BBB+	68	B+	48	CC	28
AA	85	BBB	65	B	45	C	22

AA-	82	BBB-	62	B-	42	RD	15
A+	78	BB+	58	CCC+	38	D	8
A	75	BB	55	CCC	35	DD/DDD	5/2

The numerical values are chosen in a manner to maximize both the distances between the credit rating categories, and within each category. This is done in order to maximize the accuracy of putting the forecasted credit ratings into the appropriate category. Even though the model is made in order to support a large-scale system of equations, we deceived to reduce the scale of 25 ratings to 6 ratings by combining the ratings within the same categories, as shown in Table 2. Namely, 6 cohorts are denoted with an asterisk after the name, in order not to confuse them with the ratings having the same name.

Table 2: Cohort credit ratings

Rating Cohort	Ratings	Value	Occurrences
AAA*	AAA	100	280
AA*	AA+, AA, AA-	85	198
A*	A+, A, A-	75	272
BBB*	BBB+, BBB, BBB-	65	309
BB*	BB+, BB, BB-	55	240
B*	B+, …, DDD	45	278

For instance, the numerical value of 85 for the AA* cohort is used for all the credit ratings between AA- and AA+, and similarly for the other five cohorts, where the last cohort contains 12 ratings, from B+ to DDD. The TPM for the six credit rating cohorts from Table 2 is shown in Table 3, where each element, $p_{i,j}$, represents a probability of a credit rating going from the rating in the i^{th} row to rating in the j^{th} column in one year, where $1 \le i, j \le 6$.

The dimension reduction is done due to some ratings appearing much less than the others, and therefore there is no need to increase the dimensionality of the problem without enough test cases to support it. Another reason for the dimensionality reduction is that *Fitch* publishes the transition matrix not only for all the credit ratings, but for the credit rating cohorts as well, which therefore allows for the comparison between their published TPM and the TPM which is the output of our model.

The TPM presented in Table 3 can be used for any (n) number of credit ratings. However, as it is explained above, we are dealing with problem when $n = 6$. When doing the TPM optimization by changing probabilities, to additional constraints are introduced. First condition is that each probability needs to be between 0 and 1, while the second condition is that the sum of the probabilities for each row in a TPM is equal to 1.

Table 3: Model TPM

Rating	AAA*	…	B*
AAA*	$p_{1,1}$	…	$p_{1,6}$
…	...	$p_{i,j}$	...
B*	$p_{6,1}$	…	$p_{6,6}$

As said earlier that the data range for each country is 19 years, from 2000 to 2019. Therefore, 18 one-year transition credit rating pairs, $\{R_k, R_{k+1}\}$, are formed for every country, where $1 \le k \le 18$. Next, an equation representing the rating transition from R_k to R_{k+1} is formed for every pair, as shown in the Equation (1):

$$R_i + \sum_{j=1}^{n} \left(p_{i,j} \left(R_j - R_i \right) \right) = R_{i+1} \tag{1}$$

The Equation (1) can be split into three parts. The first part is the initial rating, R_i, which is the rating on the k^{th} year and is located on the first $(j = 0)$ column of the i^{th} row of the TPM T. The second part is the final rating, R_{i+1}, which is the rating on the $(k+1)^{th}$ year and is located on the first $(i = 0)$ row of the j^{th} column of the TPM. Finally, a sum-product of the TPM probabilities from the i^{th} row and their respective credit ratings is added to the initial rating. It encompasses all the possible rating transitions from the rating R_i to every rating

from the $(i=0)$ row. The Equation (1) is then rewritten as shown in the Equation (2), so that it can be used as a part of the DE optimization function.

$$R_i + \sum_{j=1}^{n}\left(p_{i,j}\left(R_j - R_i\right)\right) - R_{i+1} = 0 \tag{2}$$

The model consists out of series of the equations such as Equation (2), where each equation represents a one-year credit rating transition. The DE algorithm is then used to obtain the optimal one-year credit rating transition probabilities. This is achieved by summing the left-hand side (LHS) parts of all the equations and then solving the equation for transition probabilities, p, while minimizing the equation right-hand side (RHS). For example, if the country has the following credit ratings: AA, AA, AA, AAA, over the span of four years, the DE optimization function is formed as shown in the Equation (3):

$$f_{DE} = 2\times\left(85 + \sum_{j=1}^{6}\left(p_{2j}\left(R_j - 85\right)\right) - 85\right) + \left(85 + \sum_{j=1}^{6}\left(p_{2,j}\left(R_j - 85\right)\right) - 100\right) \tag{3}$$

where 85 is the numerical value for the AA rating, 100 is the numerical value for the AAA rating, R_j is any rating from AAA $(j=1)$ to B $(j=6)$ range, and p_{2j} is its respective transition probability from the transition matrix T. In the testing data set, there are 83 countries with ratings over 19 years, which totals to 1494 credit rating pairs, and consequentially 1494 equations used for the DE optimization function.

With the DE optimization function defined, the DE parameters need to be set before running the algorithm. Each of the following parameters is obtained empirically. The population size is set to 1000, where each initial solution represents a TPM with randomly generated probabilities for each row, where the probabilities satisfy the constraints mentioned earlier in the section. The values of DE parameters, *F* and *CR*, are respectively 0.8 and 0.9, where *F* is the scaling value representing how much will newly mutated vectors differ from their respective vectors from the previous population, while the crossover rate, *CR*, determines the diversification of the new vectors, where higher values of *CR* indicate the higher similarity of the newly generated vectors with the mutated vectors, than with the vectors from the previous generation. Both parameters were tested in range between 0 and 1 with a 0.1 step, with values of 0.8 for *F* and 0.9 for *CR* yielded the best results. Finally, the number of algorithm iterations is limited to one million, with an additional constraint to stop the algorithm if the optimization function does not improve over 1000 consecutive iterations.

3. RESULTS

The TPM which is the output of the model presented in Section 2 is presented in Table 4. The model converged to a solution after 4287 iterations. As expected, the matrix is close to diagonal, indicating that the most probable outcome is for the rating not to change. The TPM matrix which was published by Fitch in 2019[6] is given in Table 5.

Table 4: Model TPM for 2019

Rating	AAA*	AA*	A*	BBB*	BB*	B*
AAA*	95.27	4.73	-	-	-	-
AA*	5.63	91.7	2.67	-	-	-
A*	-	12.53	84.14	3.33	-	-
BBB*	-	13.29	10.52	63.28	8.49	4.42
BB*	-	-	-	5	90	5
B*	-	-	-	-	17.54	82.44

Table 5: Fitch TPM for 2019

Rating	AAA*	AA*	A*	BBB*	BB*	B*
AAA*	100	-	-	-	-	-
AA*	-	100	-	-	-	-
A*	-	-	100	-	-	-

[6] https://www.fitchratings.com/research/sovereigns/sovereign-2019-transition-default-study-28-04-2020

BBB*	-	-	-	100	-	-
BB*	-	-	-	4.76	85.71	9.52
B*	-	-	-	-	3.33	96.67

Source: https://www.fitchratings.com/research/sovereigns/sovereign-2019-transition-default-study-28-04-2020

The two matrices are fairly similar, with the *Fitch* matrix being a bit closer to the diagonal matrix. This is the consequence of the model TPM being generated from the period of 19 years, which includes more transitions between the cohorts than the period of one year, between 2018 and 2019. The model testing data also encompasses the financial crises around 2008, and other less impactful spikes, which results in the probability distributions for the ratings having thicker tails, and therefore higher probabilities of a rating going upwards or downwards rather than staying the same. In general, one should be careful with how to choose a testing time range, as having more data points (years) increases the information the model encompasses, but at the same time some spikes and outliers from the past can be included, and given that they happened a long time ago, they can reduce the model accuracy. Therefore, if one chooses a longer time range, it is advised to adjust the model with the appropriate customization of the numeric values for the credit ratings. It is also worth noting that the both matrices, especially the model TPM, indicate that there is higher probability of a credit rating changing if it falls in one of the middle cohorts, than if it belongs to either great (AA* or AAA*) or bad (B** or B*) cohorts.

Finally, a MSE between the model TPM and Fitch TPM is 76.17, which we consider as expected and a well performance, especially given the model simplicity and the room for improvement due to model flexibility.

4. CONCLUSION

In this paper, we have presented a new model for the estimation of TPM based on a system of linear equations describing the historical credit rating time series, where a numerical value is assigned to every credit rating. A DE algorithm is then used to calibrate the TPM probabilities by minimizing the DE optimization function value, where the optimization function is represented as a sum of previously generated linear equations. The high values of control parameters, *F* and *CR*, indicate that a model works better with the diversified population, which is to be expected as the probabilities in the TPM are not uniformly distributed, and therefore a wider search for the optimal solution works better than the fine-combing in the area close to the initial generation.

The model does not require any expert knowledge of how TPM are generated, with the only necessary input being the historical credit rating time series for a country, company or any other legal entity. It is easily understandable and implementable, by using the linear equations which represent the change of credit rating over a one-year period.

The resulting TPM, which was forecasted using the proposed model is fairly close to the one published by *Fitch* credit rating institution. The discrepancies between the two matrices are attributed to the use of the historical time series of 19 years in case of model TPM, which slightly broadens the diagonal probabilities, indicating that there is slightly more chance for a rating to not stay in the category which it belonged in the previous year.

The main strength of the model, beside the simplicity, is its customization. The first customizable part is the mapping of the numerical values to credit ratings which can be entity-specific, meaning that it does not have to be unique and symmetric around the entities which are used in forming TPM. Secondly, the model can be reduced to only the credit ratings which were already present in the historical time series, similar to how it was done by grouping the credit ratings to cohorts. By doing this, one increases the model accuracy over by eliminating the ratings highly unlikely to happen in the future. DE model can also be customized by changing the object of the optimization. Instead of doing the optimization by looking for the optimal TPM, one can optimize each of the TPM rows separately. This is possible due to TPM rows being independent, as each row represents the probabilities of one of the credit ratings moving to any other credit rating in one year. The DE model can be split into *n* smaller scale DE models, where *n* represents the number of different credit ratings in the TPM and the DE optimization function and the inputs remain the same. The only difference is therefore an object of the DE optimization where, in the smaller-scale example it is a matrix row, rather than the entire matrix. In order to maintain the same model performance as for the general model, number of iterations is divided with the number of credit ratings, and the result is assigned to each of the smaller-scale DE models.

For the future work, we plan to test the model on the more recent and narrow time range and therefore avoid the volatile periods resulted from the periods with the financial crises. The model numerical values for the credit ratings will also be adjusted to depict the different financial, economic and other parameters of the countries used in the testing data set. In other words, in this paper we have presented this model in general,

while in the papers to come, we will explore the possibilities of the model customization in order to increase the accuracy.

LITERATURE

[1] Afonso, A., Gomes P., Rother, P. (2007). What 'Hides' Behind Sovereign Debt Ratings?. European Central Bank.

[2] Ardia, D., Boudt, K., Carl, P., Mullen, K., Peterson, B. (2011). Differential Evolution with DEoptim: An Application to Non-Convex Portfolio Optimization. The R Journal, 3, 27-34.

[3] Cantor, R., Parker, F. (1996). Determinants and Inputs of Sovereign Credit Ratings. FRBNY Economic Policy Review, 2, 37-53.

[4] Hagströmer, B., Binner, J. (2010). Stock portfolio selection with full-scale optimization and differential evolution. Applied Financial Economics, 19, 2009.

[5] Hu, Y., Kiesel, R., Perraudin, W. (2002). The estimation of transition matrices for sovereign credit ratings. Journal of Banking & Finance, 26, 1383-1406.

[6] Israel, R., Rosenthal, J., Wei, J. (2001). Finding Generators for Markov Chains via Empirical Transition Matrices, with Applications to Credit Ratings. Mathematical Finance, 11, 245-265.

[7] Kisgen, D. J. (2006). Credit Ratings and Capital Structure. The Journal of Finance, 61, 1035-1072.

[8] Krink, T., Paterlini, S. (2011). Multiobjective optimization using differential evolution for real-world portfolio optimization. Computational Management Science, 8, 157–179.

[9] Leema N, Nehemiah HK, Kannan A. (2016). Neural network classifier optimization using differential evolution with global information and back propagation algorithm for clinical datasets. Applied Soft Computing, 49, 834-844.

[10] Li J., Ding L., Li B. (2016). Differential evolution-based parameters optimisation and feature selection for support vector machine. International Journal of Computational Science and Engineering, 13, 355-363.

[11] Löeffler, G., Posch, P. N. (2007). Credit Risk Modeling Using Excel and VBA. Wiley.

[12] Stefanescu, C., Tunaru R., Turnbull, S. (2009). The credit rating process and estimation of transition probabilities: A Bayesian approach. Journal of Empirical Finance, 16, 216–234.

[13] Storm, R., Price, K. (1997). Differential evolution: A simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. Journal of Global Optimization, 11, 341-359.

[14] Weber, R. H., Darbellay, A. (2008). The regulatory use of credit ratings in bank capital requirement regulations. Journal of Banking Regulation, 10, 1-16.

[15] Zhang, J., Avasarala, V., Subbu, R. (2010). Evolutionary optimization of transition probability matrices for credit decision-making. European Journal of Operational Research, 200, 557-567.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

VALUTNI SVOP IZMEĐU POSLOVNIH BANAKA I NARODNE BANKE SRBIJE

CURRENCY SWAP BETWEEN COMMERCIAL BANKS AND THE NATIONAL BANK OF SERBIA

Dr Ivana Jeremić

Srpska banka a.d. Beograd, ivana.jeremic1977@gmail.com

Rezime: *Analiza tržišta valutnog svopa je od ključnog značaja za razumevanje monetarne politike i analizu finansijske stabilnosti. Transakcije valutnog svopa su bitne za pružanje domaćem bankarskom sistemu likvidnosti u određenoj valuti.*

U radu je izložen postupak ugovaranja i saldiranja valutnih svop transakcija između Narodne banke Srbije i poslovnih banaka. Posebna pažnja je posvećena algebri valutnih svop transakcija sa ciljem razumevanja postupka utvrđivanja terminskog deviznog kursa i identifikacije rizika svojstvenih ovom tipu transakcije. Ukazano je na ulogu i značaj valutnog svopa prilikom upravljanja aktivom i pasivom banke.

Tokom pandemije korona virusa Narodna banka Srbije je nastavila da održava redovne devizne svop aukcije EUR/RSD u skladu sa kalendarom redovnih svop aukcija, ali je organizovala i dodatne aukcije. Time je ostvaren i postavljeni cilj, podrška efikasnijem upravljanju likvidnošću bankarskog sektora

Ključne reči: *valutni svop, spot devizni kurs, terminski devizni kurs, kamatni diferencijal, svop poeni*

Abstract: *The FX swap market analysis is of key importance for understanding monetary policy and finance stability analysis. FX swap transactions are important for providing domestic banking system with liquidity in ceirtain currency.*

In the paper is presented process of negotiation and settlement FX swap transactions between the National Bank of Serbia and Commercial Banks. Special attention is dedicated to FX swap transactions algebra in order to understand the way of determining forward currency rate and to identify different types of risk immanent to this sort of transactions. The FX swap role and significance in asset/liability management has been pointed out.

During the coronavirus pandemic the National Bank of Serbia continued to organize regular FX swap auctions (EUR/RSD) in accordance with the calendar of regular FX swap auctions but additional swap auctions were organized as well. The goal is reached, support banks in liquidity management.

Key words: *currency swap, spot currency rate, forward currency rate, interest rate differential, swap points*

1. UVOD

Narodna banaka Srbije sprovodi režim rukovođeno plivajućeg deviznog kursa. Devizni kurs se formira slobodno, na osnovu ponude i tražnje deviza, a NBS može da sprovodi intervencije na deviznom tržištu radi ublažavanja prekomernih kratkoročnih oscilacija kursa dinara prema evru, kao i radi očuvanja stabilnosti cena i finansijskog sistema i održavanja adekvatnog nivoa deviznih rezervi, u skladu sa Memorandumom Narodne banke Srbije o ciljanju (targetiranju) inflacije kao monetarnoj strategiji i programima monetarne politike [2].

U skladu sa Odlukom o uslovima i načinu obavljanja svop kupovine i svop prodaje deviza između NBS i banaka [5], Narodna banka Srbije definiše svop transakciju kao ugovaranje spot kupovine/prodaje deviza za dinare (spot transakcija) i terminske prodaje/kupovine tih deviza za dinare (terminska transakcija) između Narodne banke Srbije i banke.

Narodna banka Srbije (dalje u tekstu: NBS) može sa poslovnim bankama da vrši svop transakcije deviza na međubankarskom tržištu tako što će vršiti svop prodaju deviza (evra) za dinare i svop kupovinu deviza (evra) za dinare.

2. UGOVARANJE I SALDIRANJE VALUTNIH SVOP TRANSAKCIJA IZMEĐU NARODNE BANKE SRBIJE I POSLOVNIH BANAKA

Poslovna banka mora zadovoljiti uslove propisane pravnim okvirom da bi mogla da ugovara i zaključuje valutne svop transakcije sa NBS.

Poslovna banka zaključuje sa NBS okvirni ugovor o svop kupovini/prodaji deviza kojim se uređuju međusobni poslovni odnosi vezani za zaključenje pojedinačnih svop transakcija i njihovo saldiranje.

NBS može obavljati pojedinačne svop transkacije na aukcijama ili bilateralno. Banke koje učestvuju na aukcijama dostavljaju ponude za svop kupovinu ili prodaju deviza po utvrđenim pravilima i u određenom roku. Svop kupovina i prodaja deviza se može vršiti i bilateralno na osnovu pojedinačne ponude banke ili NBS.

Svop kupovinu/prodaju deviza bankama na aukcijama, NBS vrši korišćenjem veb platforme „Monetarne operacije Narodne banke Srbije“-aplikacija za trgovinu devizama. Ovim putem se šalje obaveštenje o organizovanju aukcije, primaju ponude banaka za kupovinu ili prodaju deviza, vrši njihova obrada i prihvatanje. Za navedene potrebe se može koristiti i elektronska pošta ili telefaks, ali i primeniti elektronski servis kao što je Rojters.

NBS može vršiti aukcijsku svop kupovinu/prodaju deviza-evra za dinare po unapred utvrđenom spot kursu a po: 1. fiksnom metodu-svop poenima koje je NBS unapred utvrdila i saopštila bankama i 2. varijabilnom metodu-svop poenima koje NBS nije unapred utvrdila ni saopštila bankama.

Aukcija po varijabilnom metodu može biti 1. aukcija po višestrukim svop poenima, kad NBS kupuje/prodaje devize po svop penima koje je ponudila banka čija je ponuda prihvaćena na aukciji ili 2. aukcija po jedinstvenim svop poenima, kada NBS kupuje/prodaje devize po istim svop poenima od svake banke čija je ponuda prihvaćena na aukciji.

Guverner ili ovlašćeno lice donosi odluku o organizovanju aukcija na kojoj će se obaviti svop kupovina/prodaja deviza, koja sadrži sledeće osnovne podatke:

1. datum održavanja aukcije,
2. vrstu svop transakcije,
3. metod aukcije,
4. visinu spot kursa,
5. visinu svop poena ukoliko se organizuje aukcija po fiksnom metodu,
6. ročnost svop transakcije,
7. datum spot transakcije,
8. datum dospeća svop kupoprodaje deviza,
9. broj ponuda koje banka može dostaviti ako se organizuje aukcija po varijabilnom metodu,
10. najmanji iznos na koji ponuda banke može da glasi,
11. rok za dostavljanje ponuda banaka.

Dodatno, navedena odluka može da sadrži i podatke o najvišem iznosu sredstava deviza koje NBS svop kupuje/prodaje, o najnižim ili najvišim svop poenima koje ponuda banke može da sadrži da bi bila primljena u obradu, o najvećem iznosu ponude i dr.

Ovlašćeno lice donosi odluku kojom se utvrđuje kalendar redovnih svop aukcija koje NBS planira da organizuje i ta se odlluka objavljuje na internet prezentaciji NBS.

Ako se organizuje aukcija po varijabilnom metodu, banka može NBS dostaviti jednu ili više ponuda, u skladu sa odlukom o organizovanju aukcije, u kojoj su navedeni iznosi deviza koje banka svop kupuje/prodaje sa svop poenima.

Redosled pojedinačnih ponuda banaka na aukciji po varijabilnom metodu utvrđuje se prema visini svop poena navedenoj u tim ponudama, i to počev od najnižih do najviših svop poena ukoliko NBS svop prodaje devize, a od najviših do najnižih svop poena ukoliko NBS svop kupuje devize.

Nakon utvrđivanja redosleda, ovlašćeno lice odlučuje o najnižim, odnosno najvišim svop poenima koje ponuda banke može da sadrži da bi bila prihvaćena (granični svop poeni), kao i o ukupnom iznosu sredstava koje NBS svop prodaje/kupuje.

Ako se organizuje aukcija po višestrukim svop poenima, NBS svop kupuje/prodaje devize po svop poenima koje su ponudile banke čije je ponude prihvatila. Ako se organizuje aukcija po jedinstvenim svop poenima, NBS od svih banaka čije je ponude prihvatila svop kupuje/prodaje devize po istim svop poenima, i to po graničnim svop poenima.

Banci čiju je ponudu potpuno ili delimično prihvatila, NBS dostavlja poseban svop Ugovor. Banci čiju ponudu NBS nije prihvatila, šalje obaveštenje o neprihvatanju ponude. Nakon održavanja aukcije, NBS objavljuje saopštenje o održanoj aukciji.

NBS može obavljati bilateralnu svop kupovinu/prodaju deviza s bankama tako što će pozvati banke da joj dostave svoje ponude za svop kupovinu/prodaju deviza; dati svoju ponudu na osnovu pojedinačnog zahteva banke za svop kupovinu/prodaju deviza; prihvatiti ponudu banke za svop kupovinu/prodaju deviza. Ovlašćeno lice odlučuje o obavljanju bilateralne svop kupovine/prodaje deviza.

NBS o svakoj pojedinačnoj svop transakciji obavljenoj na aukciji ili bilateralno zaključuje poseban svop ugovor. NBS i banka obavezne su da međusobno potvrde elemente posebnog svop ugovora razmenom SWIFT poruka formata MT300.

3. ALGEBRA VALUTNIH SVOP TRANSAKCIJA

U cilju dostavljanja konkurentnih ponuda za učešće na aukciji ili u bilateralnom odnosu, poslovne Banke primenjuju sledeće formule za izračunavanje svop poena i terminskog kursa u svop transakcijama:

$$\text{Svop poeni=spot kurs x } \left[\frac{1+\left(\frac{k2}{100} x \frac{d}{360}\right)}{1+\left(\frac{k1}{100} x \frac{d}{360}\right)} - 1\right] x\ 10.000 \quad (1)$$

$$\text{Terminski kurs=spot kurs} + \frac{\text{svop poeni}}{10.000} \quad (2)$$

Gde je:

k1-godišnja kamatna stopa za evro (EUR) s dva decimalna mesta,

k2- godišnja kamatna stopa za dinar (RSD) s dva decimalna mesta,

d- ročnost trajanja transakcije.

Svop poeni izražavaju se zaokruženo, bez decimala. Terminski kurs izražava se s četiri decimalna mesta. Navedene formule su sastavni deo Odluke propisane od strane NBS.

Put ka razumevanju valutnog svopa počinje od spot i terminske (forvard) kupovine i prodaje deviza. Terminska kupovina/prodaja deviza (forvard) podrazumeva da se devize kupuju/prodaju na datum u budućnosti različit od spot datuma valute.

U međunarodnoj literaturi [1] se može pronaći sledeća jednačina za izračunavanje forvard kursa (terminski kurs):

$$\text{Forvard kurs= spot kurs x } \frac{\left(1+\left(kamatna\ stopa\ za\ varijabilnu\ valutu\ x\ \frac{broj\ dana}{godina}\right)\right)}{\left(1+\left(kamatna\ stopa\ za\ baznu\ valutu\ x\ \frac{broj\ dana}{godina}\right)\right)} \quad (3)$$

Za pojedine valute je pretpostavka da godina ima 360 dana dok je za druge da ima 365 dana.

Terminski kurs se može izraziti i na sledeći način:

Forvard kurs= spot + forvard svop (4)

U međunarodnoj literaturi [1] se može pronaći sledeća jednačina za izračunavanje forvard svopa:

$$\text{Spot kurs } \mathbf{x} \frac{\left(\left(\textbf{kamatna stopa varijabilne valute } x \frac{\textbf{broj dana}}{\textbf{godina}}\right) - \left(\textbf{kamatna stopa bazne valute } x \frac{\textbf{broj dana}}{\textbf{godina}}\right)\right)}{\left(1 + \left(\textbf{kamatna stopa bazne valute } x \frac{\textbf{broj dana}}{\textbf{godina}}\right)\right)} \quad (5)$$

Ukoliko je broj dana u godini po konvenciji jednak za obe valute i broj dana mali, može se koristiti sledeća formula za aproksimaciju:

$$\text{Forvard svop} \approx \text{spot kurs x razlika kamatnih stopa x } \frac{broj\ dana}{godina} \quad (6)$$

Navedena aproksimacija nije tačna za duže periode. Dodatno, tačnost se gubi sa povećanjem kamatne stope na baznu valutu.

Na osnovu prethodnih jednačina može se zaključiti da kada je kamatna stopa na baznu valutu niža nego na varijabilnu valutu, terminski kurs je viši od spot kursa. Drugim rečima, bazna valuta vredi više jedinica varijabilne valute na terminski datum u poređenju sa spot datumom. Navedeno se može protumačiti kao nadoknada za nižu kamatnu stopu.

Valuta sa višom kamatnom stopom vredi manje forvard nego spot izraženo u jedinicama druge valute i kaže se da ima terminski (forvard) diskont. Ukoliko je to bazna valuta, forvard poeni su negativni. Valuta sa nižom kamatnom stopom vredi više forvard nego spot izraženo u jedinicama druge valute i kaže se da ima terminsku (forvard) premiju. Ukoliko je to bazna valuta, forvard poeni su pozitivni.

Uzmimo primer svop aukcije EUR/RSD koju za poslovne banke organizuje NBS i čija ročnost iznosi 91 dan. Hipotetička forvard pozicija Banke može biti u skladu sa podacima navedenim u Tabeli 1. Pretpostavka za sve tri navedene transakcije je da poslovna banka u prvom kraku prodaje NBS iznos EUR 1.000.000,00 po spot kursu i da u drugom kraku kupuje EUR 1.000.000,00 po terminskom kursu utvrđenom na datum ugovaranja transakcije, dva radna dana pre spot datuma. Minimalni iznos transakcije na svop aukcijama NBS inače i iznosi EUR 1.000.000,00.

Tabela 1: Hipotetički primer svop pozicije poslovne banke

Spot datum valute	**Spot kurs**	**Kamatna stopa za EUR (u %)**	**Kamatna stopa za RSD (u %)**	**Terminski datum valute (Datum dospeća valutnog svopa)**	**Terminski kurs**	**Svop poeni**	**Referentna kamatna stopa(u %)**	**Kamatna stopa na depozitne olakšice (u %)**
20.01.2021	117,5806	0	0,2	21.04.2021.	117,6400	594	1,00	0,1
03.02.2021	117,5708	0	0,2	05.05.2021	117,6302	594	1,00	0,1
24.02.2021	117,5765	0	0,2	26.05.2021	117,6359	594	1,00	0,1

Izvor:Hipotetički primer autora na osnovu publikovanih podataka od strane NBS

U slučaju prve navedene transakcije u Tabeli 1 navedeno znači da poslovna banka spot prodaje EUR 1.000.000,00 NBS po kursu 117,5806 i da na terminski datum, 21.04.2021.godine kupuje od NBS EUR 1.000.000,00 po kursu 117,6400.

Devizni kurs EUR/RSD odlikuje stabilnost i minimalna volatilnost na dnevnom, mesečnom i godišnjem nivou. Za izračunavanje svop poena za učešće na aukciji NBS ročnosti 91 dan, pretpostavka je da kamatna stopa na EUR iznosi 0, dok za RSD se prati stopa na depozitne olakšice, tržišna dešavanja i dodaje određena premija.

Redovne svop aukcije NBS organizuje po metodu varijabilnih višestrukih svop poena. Pretpostavljena kamatna stopa na valutu RSD primenjena prilikom učestvovanja na aukciji iznosi 0,2%.

Poslovna Banka na spot datum valute prima dinarsku protivvrednost prodatih deviza koju treba da uveća adekvatnim plasmanom u skladu sa svojom strategijom upravljanja aktivom i pasivom banke. Ukoliko izuzmemo bankarske proizvode koji nude više stope prinosa zbog prisutnih rizika plasmana, prinos na ostale potencijalne plasmane NBS je regulisan Odlukom o kamatnim stopama koje NBS primenjuje u postupku sprovođenja monetarne politike. U skladu sa važećom navedenom odlukom [3], utvrđeno je da Narodna banka Srbije plaća kamatu:

- na iznos ostvarenog prosečnog dnevnog stanja izdvojene dinarske obavezne rezerve u obračunskom periodu koji ne prelazi iznos obračunate dinarske obavezne rezerve-po kamatnoj stopi u visini 0,10% na godišnjem nivou;
- na iznos sredstava koje je banka deponovala kod NBS u smislu odluke kojom se utvrđuju uslovi i način deponovanja viškova likvidnih sredstava banaka kod NBS-po kamatnoj stopi u visini referentne kamatne stope umanjene za 0,90 procentnih poena.

Motivi poslovne banke za realizaciju valutnih svop transakcija mogu biti različiti:1. uočavanje potencijalnih tržišnih distorzija i očekivanje zarade na osnovu svop transakcije, 2. privremena korekcija pozicije izloženosti u određenoj valuti, 3. obezbeđenje nedostajuće likvidnosti u određenoj valuti, 4. zaštita od promene kursa, 5. ostali razlozi.

Valutni svop je instrument koji je senzitivan na promenu kamatnih stopa više nego na promenu deviznog kursa. Kada banke zauzimaju forvard tj. terminske pozicije, one uzimaju u obzir očekivanja o kretanjima kamatnih stopa na odabarane valute pre nego kretanje deviznog kursa. Bitan je kamatni diferencijal između različitih valuta. Na ovaj način se kombinuju dva različita tržišta.

4. ZAKLJUČAK

Svet se od 2020.godine bori sa pandemijom korona virusa koja je izazvala ogromne ekonomske promene. U skladu sa programom monetarne politike NBS je nastavila da sprovodi režim rukovođeno plivajućeg deviznog kursa. Kurs je ostao stabilan uprkos izazovima u međunarodnom okruženju. NBS je nastavila da održava redovne svop aukcije ali i da organizuje dodatne devizne svop aukcije u cilju obezbeđenja likvidnosti.

Vrednost valutnog svopa odražava razliku kamatnih stopa između dve valute. Valutni svop je osetljiviji na promenu razlike kamatnih stopa dvaju valuta nego na promenu spot kursa. Za razvoj tržišta valutnog svopa bitna je razvijenost tržišta klasičnog terminskog kursa, odnosno razvijenost deviznog tržišta u zemlji.

Valutna svop transakcija uvek uključuje saldiranje na dva datuma, spot i terminski. Drugim rečima, uvek se vrši „kupi i prodaj“ ili „prodaj i kupi“. Valutni svop „kupi i prodaj“ baznu valutu se može posmatrati kao uzimanje na zajam određenog iznosa bazne valute i davanje na zajam (plasman) varijabilne valute. Forvard diler koji očekuje da se razlika kamatnih stopa promeni u korist bazne valute (na primer, kamatne stope na baznu valutu rastu ili kamatne stope na varijabilnu padaju) će ugovoriti "kupi i prodaj“ baznu valutu.

U trenutku ugovaranja valutne svop transakcije, ugovornim stranama je poznat i spot i terminski kurs transakcije. Osnovni rizik transakcije je rizik glavnice, odnosno da poslovna banka neće moći da ispuni svoju ugovornu obavezu što će nametnuti rizik zatvaranja pozicije i izmenjenih tržišnih uslova usled promene deviznog kursa.

LITERATURA

[1] ACI DIPLOMA COURSE, Markets International Ltd., 13.januar 2010.godine, Odeljak o valutnom svopu i terminskom kursu.

[2] Internet stranice NBS, https://www.nbs.rs/sr_RS/indeks/.

[3] Odluka o kamatnim stopama koje NBS primenjuje u postupku sprovođenja monetarne politike, IO NBS br.56 od 08.avgusta 2019.godine.

[4] Odluka o obavljanju poslova s finansijskim derivatima („Službeni glasnik RS“, br.76/2018; IO NBS br.86; 8.oktobar 2018.godine).

[5] Odluka o uslovima i načinu obavljanja svop kupovine i svop prodaje deviza između NBS i banaka (IO NBS br.13 od 16.februara 2011.godine).

[6] Odluka o uslovima i načinu rada deviznog tržišta („Službeni glasnik RS“, br.10/2011, 109/2012, 55/2014, 51/2015, 17/2016, 91/2016, 82/2017, 37/2018, 86/2018 i 67/2020; IO NBS br.12 od 16.februara 2011.godine).

[7] Odluka o utvrđivanju režima kursa dinara („Službeni glasnik RS“, br. 95/2010; SG NBS br.6 od 13, decembra 2010.godine).

[8] Okvirni ugovor o svop kupovini i svop prodaji deviza; Internet stranica NBS; pristupljeno: 25.03.2021.godine.

[9] Uputstvo za obavljanje aukcijske spot/svop kupovine/prodaje deviza između Narodne banke Srbije i banaka (“Službeni glasnik RS”, br.11/2011 i 18/2012; O.br.3 18.februara 2011.godine, Beograd).

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

SYSTEMIC RISKS AND STATIC INDICATORS OF BANK ASSETS QUALITY: HOW COINTEGRATION CAN BE LOST

ŽELJKO JOVIĆ[1]

[1] National bank of Serbia, zeljko.jovic@nbs.rs; Faculty of Economics, University of Belgrade, zeljko.jovic@ekof.bg.ac.rs

Abstract: *Numerous studies have shown that systemic risks coming from the real sector of the economy can significantly affect the quality of banks' assets. The application of cointegration tests in many cases confirmed the existence of a long-term relationship between the movement of gross domestic product and bank assets quality. However, the question arises as to why in certain cases the cointegration relationship between these two variables is lost due to the extension of the observation period, which leads us to the conclusion that the previously confirmed cointegration relationship is time-unstable and conditional. In the downward phase of the business cycle, the decline in gross domestic product causes a pronounced growth of NPLs and confirmation of the presence of cointegration links, while in the upward phase of the business cycle the growth of gross domestic product is accompanied by milder growth of NPLs and loss of cointegration link. This changed nature of the relationship between these two variables in the ascending phase of the business cycle can be partly attributed to the shortcomings of static indicators of asset quality, and partly to the fact that in the ascending phase of the business cycle changes in asset quality are more a consequence of specific than systemic risks.*

Keywords: *Systemic risk, Specific risk, Bank assets quality, Cointegration test, Static indicators.*

1. INTRODUCTION

In the economic literature, can often be seen empirical research that applying econometric model confirms the importance of system variables in explaining asset quality in banks (credit risk). The impact of systemic variables on the deterioration of asset quality in banks is considered a systemic risk. Systemic risks that come from the real part of the economy, such as the decline in gross domestic product, are often the most significant determinants of asset quality [3,5,6,9].

In economic theory, the connection between trends in the real part of the economy and changes in the financial part of the economy is defined as the phenomenon of financial acceleration [1,2]. The growth of economic activity, measured by the growth of gross domestic product, is accompanied by the growth of lending activity and satisfactory quality of assets in banks, while the decline in economic activity leads to a decrease in lending activity and a deterioration in the quality of assets.

In previously selected empirical research, NPL (Non-Performing Loans) was used as an indicator of asset quality in banks, which is the predominant approach in this area of research. NPL represents a stock of non-performing loans in total banks' assets and as such is a static indicator of the quality of banks' assets.

In selected studies, a strong link between the decline in gross domestic product and the growth of NPLs was confirmed. In the research that included the banking sector of the Republic of Serbia after the World Financial Crisis from 2008 [5], the application of the cointegration test confirmed the presence of a long-term equilibrium relationship between GDP decline and NPL growth. The question arises whether this strong connection can be lost over time? Whether the loss of the cointegration connection can occur due to methodological reasons or due to a change in the nature of the relationship between these two variables at another time of observation, which would open up certain economic implications. In order to test these hypotheses, the time period of the research was extended in order to examine whether the initially confirmed cointegration link in the movement of gross domestic product and NPL is maintained or lost.

2. THE DATA

The research since we started [5] covered the period from the end of 2008 to the end of 2014. The reason for choosing 2008 as the starting year for the research is that official and reliable data on NPLs in Serbia have only existed since September 2008. In this case, it coincided that the beginning of the spillover effects of the

crisis on Serbia, measured by the decline in gross domestic product, also began to be visible from the second half of 2008 (see Figure 3).

Our task is to check whether the extension of the observation period, before 2008 and after 2014, would maintain a long-term equilibrium relationship between the movement of gross domestic product and the movement of NPLs. Unlike the period before September 2008, after 2014 there are available data on NPLs (see Figure 1).

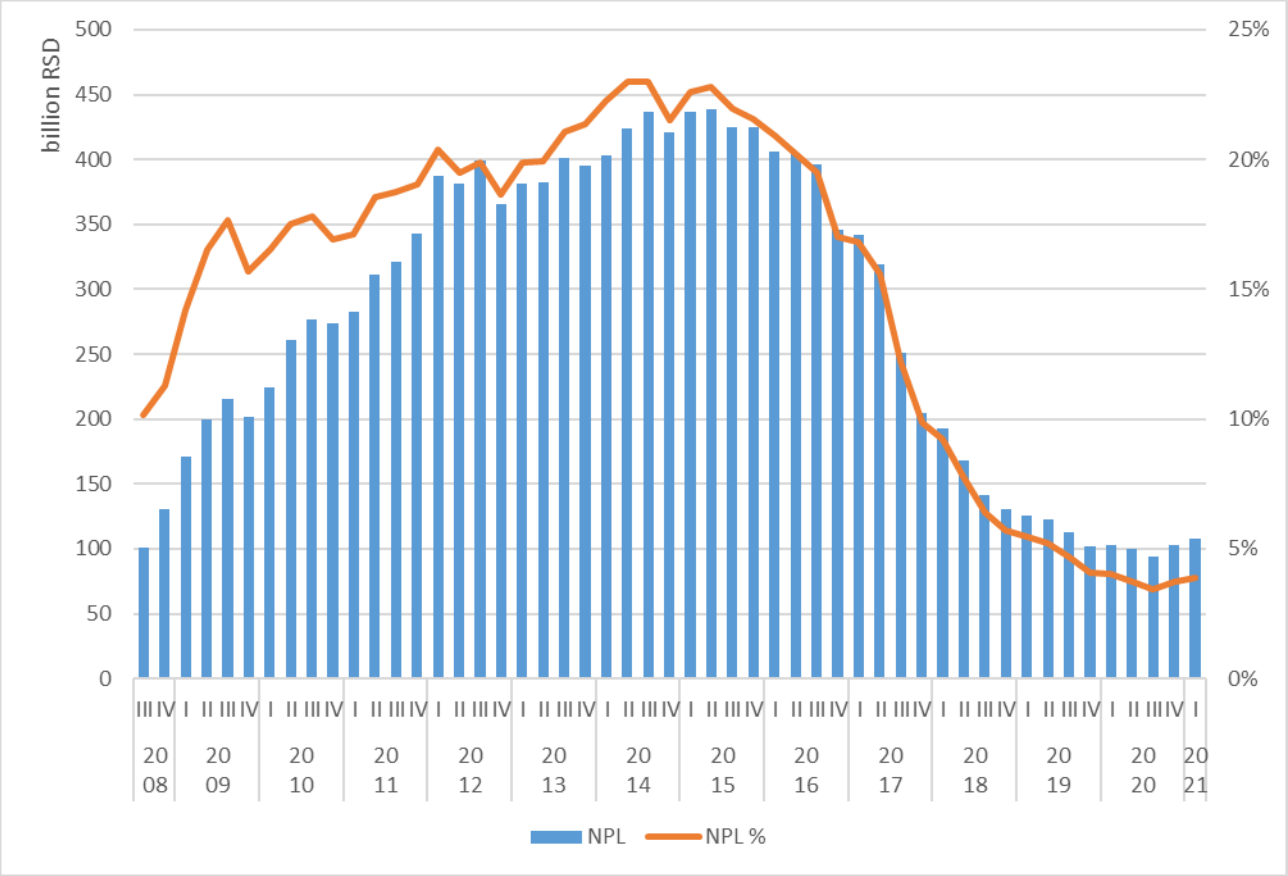


Figure 1: NPLs in the banking sector of the Republic of Serbia

Source: National banko f Serbia

However, the period after 2014 is greatly influenced by a number of measures adopted by the Republic of Serbia in 2015 within the strategy for resolving NPLs, which had the effect of a significant reduction in NPL indicator in the coming years. An attempt to model the time series extended for data after 2014 and examine its dependence on the change in gross domestic product did not yield results. The long-term link between the movement of NPLs and gross domestic product after 2014 was lost due to the presence of measures from the strategy for resolving the issue of NPLs whose individual impact could not be isolated by applying artificial variables.

However, the absence of the possibility of further modeling of data after 2014 cannot be attributed to the fact that the level of NPLs was successfully reduced by administrative measures that cannot be modeled, but to the fact that NPLs contain all the shortcomings of static indicators. Bearing in mind that this is an indicator of the stock of bad assets, the presence of administrative measures that reduce that stock cannot be a methodological constraint for modeling. The limitation should be sought in the shortcomings of an appropriate dynamic indicator that would make it easier to capture the growth of new problem loans and link that growth to the change in gross domestic product. Unfortunately, the limited availability of dynamic asset quality indicators and the frequent use of static asset quality indicators such as NPLs are the main culprits for the lack of econometric modeling of these relations.

An extension of the NPL series before September 2008 can be done by using an alternative indicator to measure the quality of assets in banks. Bad assets as the value of bank receivables classified in D and E rating categories in accordance with the regulations of the National Bank of Serbia give a fairly accurate

approximation of the quality of banks' assets, which largely coincides with the movement of NPLs (see Figure 2).

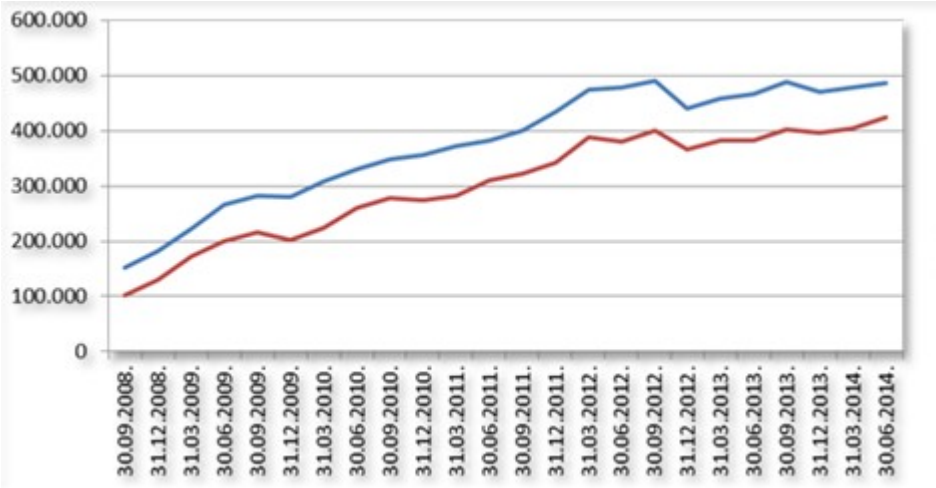


Figure 2: NPLs (red) and bad assets (blue) in the banking sector of the Republic of Serbia
Source: National bank of Serbia

Based on available data on bad assets and NPLs in the period 2008-2014, a model was developed that estimated the values of NPLs for the period from 2006 to June 2008. By applying this approach, the observation period was extended backwards until the beginning of 2006 (additional ten quarters), so that the period of the ascending phase of the business cycle in the Republic of Serbia is included. In what follows, we will try to analyze the relationship between the extended time series on NPLs and the movement of gross domestic product in this way.

3. METHODOLOGY

In the research since when did we start, for the period 2008-2014, on time series that describe the movement of gross domestic product and the movement of NPL, the cointegration test confirmed the presence of a long-term equilibrium relationship between these two variables, and based on that set the model with equilibrium error correction and vector autoregression (VAR) model, which describes long-term and short-term impact of falling gross domestic product on NPL growth. Here we will try to apply the same methodological approach on extended time series, for the period from 2006 to 2014, evaluate the existence of cointegration and the possibility of constructing a model for an extended period.

The quantitative methodology we will apply here includes [4,7,8]:

- analysis of stationarity of extended time series,
- analysis of cointegration of time series and development of models with correction of equilibrium error (in case of confirmed cointegration),
- application of VAR model: assessment of causality (Granger test of causality), decomposition of variance of prediction error and analysis of impulse response function.

The analysis of stationarity confirmed that both time series are non-stationary and have one unit root each. Due to the present nonstationarity of the basic values of time series, the classical linear regression model cannot be applied. The classical linear regression model applied to the first differences of these time series did not give results that confirm the presence of correlation in the motion of these time series. We continue the analysis by applying the cointegration test to extended time series.

4. EMPIRICAL ANALYSIS

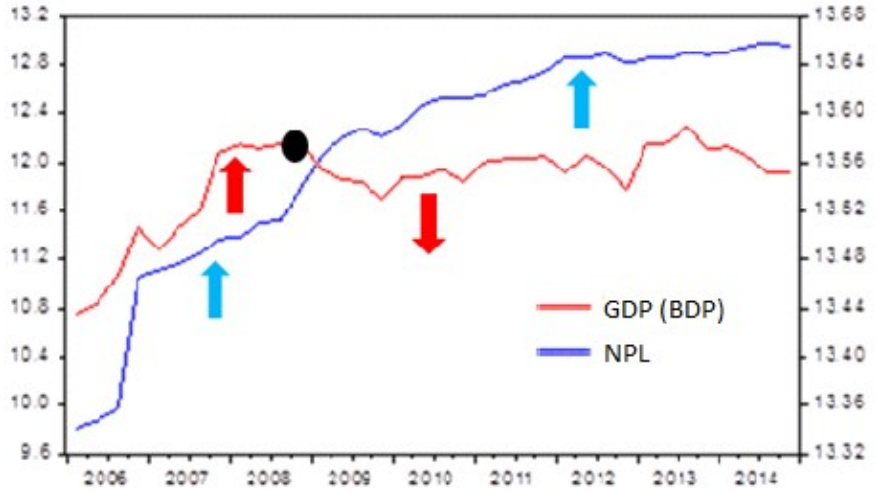
In order to adequately view the results of this empirical analysis, we start from the results of previous research [5]. The cointegration test applied for the period from 2008 to 2014 shows that there is a long-term equilibrium relationship between the movement of gross domestic product and the movement of NPLs. This was confirmed by the values of the Dickie Fuller (DF) test statistic of -4.62, which is less than the critical value of the Dickie Fuller residual test, which is used to estimate cointegration for time series of this length (is -4.05). We will now apply the cointegration test to extended time series and the results can be seen in Table 1.

Table 1: The Dickey–Fuller test

Time period	Value of DF test statistics
30.09.2008. – 31.12.2014.	-4,62
31.03.2006. – 31.12.2014.	-2,39
30.06.2008. – 31.12.2014.	-2,12
31.03.2008. – 31.12.2014.	-2,13

Source: EViews, calculation by the author

The results given in the table show us that by extending the time series which describes the movement of NPLs for ten quarters backwards, i.e., by the beginning of 2006, it affects the increase in the value of DF statistics above the critical value (-4.05). This confirms to us that with the extension of the time series for a little more than two years, there is a loss of cointegration in the movement of gross domestic product and NPL. The exceptional sensitivity of the cointegration connection of these two variables is noticed by the fact that the cointegration connection is lost abruptly with the addition of one or two quarters backwards. Also, the application of the VAR model (Granger's causality test) did not confirm the existence of causality in the movement of these two variables, so that with the extension of the period, the causality between the movement of gross domestic product and the movement of NPL was lost and previously confirmed.
The question arises as to why there was a sudden loss of the long-run equilibrium relationship in the movement of gross domestic product and NPLs. We will use visual analysis of Figure 3.



Slika 3: NPLs and GDP in the Republic of Serbia (log value)

Source: EViews, calculation by the author

Figure 3 shows that throughout the period the NPL has a tendency to grow, while the gross domestic product (GDP / GDP) has a tendency to grow until the third quarter of 2008 and then enter a period of decline. In time, this coincides with the spillover of the effects of the World Financial Crisis on Serbia and the entry of our economy into the descending phase of the business cycle. In the previous picture, the moment of the turn - the third quarter of 2008, was marked as a black dot. Until then, there is a positive relationship in the movement of these two variables, which is confirmed by the fact that the growth of gross domestic product follows the growth of NPLs. From that moment, the relationship between these two variables becomes negative, so that the decline in gross domestic product causes the growth of NPLs. The confirmed cointegration link in the period after the third quarter of 2008 gives us the right to say that the movements of the gross domestic product affect the movements of the NPL, while this is not the case for the period before the third quarter of 2008. Moreover, in the extended time series, the significance of the short-term impact of the change in gross domestic product on the movement of NPLs has not been confirmed.

By visual analysis of the previous picture, from a purely quantitative point of view, it is clear why the extension of the period led to the loss of the cointegration connection by including quarters (observations) in which the relationship between these two variables is opposite to the one that existed in the original observation period. However, from the economic point of view, it is difficult to accept that the connection between the movement of gross domestic product and the quality of banks' assets is completely lost in the

ascending phase of the business cycle. There are several possible facts that may explain the finding of this research.

First, there are always bad loans, regardless of the business cycle phase, only these amounts are smaller and rarer in the upward phase of the business cycle, in contrast to their pronounced growth in the downward phase of the business cycle. That is why it is said that there is a natural level of bad assets even when the period of economic growth is immune to positive general circumstances. Hence, the decline in gross domestic product is called systemic risk that comes from the real part of the economy and is noticeably manifested in the period of economic decline, in the downward phase of the business cycle. The period of rise, the ascending phase of the business cycle, creates only positive systemic assumptions (space deprived of some systemic risks), so that in such circumstances the impact on the growth of bad assets comes only from specific factors (high indebtedness of debtors, individual job loss, etc.). In relation to that, it could be said that bad assets react asymmetrically to some systemic variables, such as gross domestic product, so that in the descending phase of the business cycle there is an increase in bad assets due to the presence of some systemic risks, while in the ascending phase there are no systemic risks, as well as that the movement of bad assets is left to the action of some other factors, mostly specific factors. Therefore, both the cointegration link between the movement of gross domestic product and bad assets in the phases of economic growth may be temporarily reduced or lost. Viewed through a longer horizon, the connection between economic activity and the quality of assets in banks is always present.

Secondly, these are the previously mentioned shortcomings of static indicators of the quality of banks' assets. Dynamic indicators of bank asset quality, such as the growth of bad loans (share of NPL growth in total loans), probability of default, etc., provide a greater opportunity to show a periodic decline in their value due to growth of gross domestic product in the upward phase of the business cycle. In contrast, static asset quality indicators are cumulative indicators, so that without a more serious outflow of goods from bad assets, even a small increase in bad assets can create the impression that banks' asset quality is deteriorating. Such a tendency can create the image that the movement of bad assets is not related to the positive movements of gross domestic product as a systemic variable.

Third, they represent the characteristics of the banking sector itself in terms of its propensity (appetite) for risks. If the banking sector has a greater risk appetite (higher risk appetite), then banks in the ascending phase of the business cycle will take on more risks that will manifest long before the whole economy enters the downward phase of the business cycle. Such a banking sector will already have high rates of participation of bad assets in total assets before entering the phase of falling gross domestic product. In such circumstances, it is even more difficult to link the movement of bad assets with the movement of gross domestic product as a systemic variable.

5. CONCLUSION

Economic theory through the phenomenon of financial acceleration and numerous empirical studies have confirmed the existence of a significant connection between the business cycle and trends in the financial sector. The application of econometric models has repeatedly confirmed the impact of the decline in gross domestic product as a systemic variable on the deterioration of asset quality in banks. The decline in gross domestic product has been repeatedly confirmed as a systemic risk for maintaining the quality of assets in banks, which is manifested through short-term and long-term impacts (the presence of a co-integration link).

This study showed that the loss of cointegration link between gross domestic product and asset quality in banks, as well as the loss of short-term impact inherent in the upward phase of the business cycle, characterized by gross domestic product growth, may be due to the predominance of specific risk factors there are favorable systemic circumstances. This absence of the manifestation of systemic risks determines that the quality of assets in banks has an asymmetric reaction to the change in gross domestic product at different stages of the business cycle. Further research on this topic could go in the direction of exploring the possibility of separating parts of bad assets that are a consequence of systemic risks from parts that are the result of the exclusive action of specific factors, in order to model the impact of the associated risk group.

An additional reason that may have a methodological impact on the loss of cointegration in the movement of gross domestic product and asset quality in banks is the use of static indicators to measure asset quality in banks, due to their pronounced insensitivity to changes in systemic circumstances in the ascending business cycle. A special challenge is some future research on the existence of a long-term equilibrium relationship between gross domestic product and the movement of a dynamic indicator of asset quality, such as bad asset growth (NPL growth), probability of default, etc., as well as examining the sustainability of this relationship in positive conditions systemic circumstances.

No less important reason that can explain the loss of cointegration link in the movement of gross domestic product and the quality of assets in banks is the appetite of banks for risks in the ascending phase of the business cycle. The high appetite of banks for risks in the upward phase of the business cycle often results in the quality of banks' assets deteriorating significantly even before the economy enters the downward phase of the business cycle. In such cases, the sharp decline in asset quality in the downward phase of the business cycle, in addition to the business cycle effect, may be significantly due to factors brought from the downward phase of the business cycle, due to insufficiently measured risk appetite of banks.

LITERATURE

[1] Bernanke, B., Gertler M., & Gilchrist, S. (1996). The Financial Acceleratorand Flight to Quality. The Review of Economics and Statistics, 78 (1), 1-15.

[2] Bernanke, B., Gertler M., & Gilchrist, S. (1999). The Financial Accelerator in a Quantitative Business: Cycle Framework. In J. Taylor & M. Woodford (Eds.), Handbook of Macroeconomics (1341-1393), Amsterdam: Elsevier.

[3] Festic, M., Kavkler, A. & Repina, S. (2011). The macroeconomic sources of systemic risk in the banking sectors of five new EU member states. Journal of Banking and Finance, 35 (1), 310-322.

[4] Greene, W.H. (2002), Econometric Analysis. (5th ed.). New Jersey: Prentice Hall.

[5] Jović, Ž. (2017). Determinants of credit risk-the case of Serbia. Economic Annals, LXII (212), 155-188.

[6] Klein, N. (2013). Non-Performing Loans in CESEE: Determinants and Macroeconomic Performance. IMF Working Paper 13/72, Washington, DC: International Monetary Fund.

[7] Mladenović, Z. & Nojković, A. (2011). Analiza vremenskih serija: Primeri iz srpske privrede. Ekonomski fakultet u Beogradu: Centar za izdavačku delatnost.

[8] Mladenović, Z. & Nojković, A. (2015). Primenjena analiza vremenskih serija (II izdanje). Ekonomski fakultet u Beogradu: Centar za izdavačku delatnost.

[9] Salas, V. & Saurina, J. (2002). Credit Risk in Two Institutional Regimes: Spanish Commercial and Savings Banks. Journal of Financial Services Research, 22, 203–224.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

OCENA REPNOG FAKTORA RAZVOJA ŠTETA EKSTRAPOLACIJOM TEORIJSKOG OBLIKA KRIVE

ESTIMATION OF LOSS DEVELOPMENT TAIL FACTOR WITH CURVE FITTING METHOD

JELENA KOČOVIĆ[1], MARIJA KOPRIVICA[2]

[1] Ekonomski fakultet, Beograd, jelena.kocovic@ekof.bg.ac.rs
[2] Ekonomski fakultet, Beograd, marija.koprivica@ekof.bg.ac.rs

Rezime: *U radu se razmatra metoda ekstrapolacije teorijskog oblika krive u svrhe ocene repnog faktora razvoja prilikom formiranja rezervi za štete. Dobijeni rezultati pokazuju da uključenje repnog faktora dovodi do značajnog povećanja ocenjenih rezervi za štete u vrstama osiguranja sa dugim repom. Pri tome, izabrani oblik krive opredeljuje vrednost repnog faktora i, samim tim, rezervi za štete. Metodološka razmatranja u radu su potkrepljena ilustracijom primene metode ekstrapolacije na konkretnim podacima o štetama u osiguranju.*

Ključne reči: *rezerve za štete, metoda lančanih lestvica, repni faktor, ekstrapolacija teorijskog oblika krive.*

Abstract: *The paper deals with the curve fitting method for the purposes of estimating the tail factor in the formation of loss reserves. The obtained results show that the inclusion of the tail factor leads to a significant increase in the estimated loss reserves in long-tail lines of business in insurance. In addition, the chosen curve determines the value of the tail factor and, thus, the loss reserves. Methodological considerations in this paper are supported by an illustration of curve fitting method implementation on data on insurance losses.*

Keywords: *loss reserves, Chain Ladder method, tail factor, curve fitting method.*

1. UVOD

Rezerve za štete predstavljaju procenjeni iznos obaveza osiguravača za štete koje su nastale, a nisu rešene do kraja tekućeg obračunskog perioda. Od nastanka štete do njenog konačnog rešavanja može proteći vremenski period različite dužine, u zavisnosti od vrste osiguranja. Budući da obaveza osiguravača da nadoknadi štetu efektivno nastupa kada šteta nastane, potrebno je izdvojiti sredstva namenjena pokriću nerešenih šteta. Ukupne rezerve za štete se razvrstavaju na rezerve za prijavljene, a nerešene štete i rezerve za štete koje su nastale, ali nisu prijavljene do kraja tekućeg perioda.

Ocena rezervi za nastale ali neprijavljene štete je jedan od osnovnih zadataka aktuara u oblasti neživotnih osiguranja. U date svrhe se koriste aktuarske metode rezervisanja, koje mogu biti zasnovane na obrascu razvoja šteta u prošlosti, poput metode lančanih lestvica. Kada iskustvo osiguravača u pružanju određene vrste osiguranja nije dovoljno obimno, postoji opasnost da razvoj šteta koje potiču iz najranijih perioda nije završen. Kako bi se sprečilo da rezerve za štete budu potcenjene, njihova ocena mora uzeti u obzir tzv. rep razvoja šteta. Predmet rada je ocena repnog faktora razvoja šteta metodom ekstrapolacije teorijskog oblika krive. Nakon prikaza metodoloških postulata, u radu će biti ilustrovana primena ove metode na konkretnim podacima o štetama u osiguranju, i ukazano na njene prednosti i nedostatke.

2. ZNAČAJ MODELIRANJA REPNOG FAKTORA PRI FORMIRANJU REZERVI ZA ŠTETE

Najčešće korišćena metoda određivanja rezervi za nastale ali neprijavljene štete je metoda lančanih lestvica (engl. Chain Ladder Method). Na osnovu raspoloživih podataka o štetama iz prošlosti, ova metoda izvodi odgovarajuće faktore razvoja šteta, čijom se primenom u odnosu na iste podatke projektuju budući konačni iznosi šteta, potrebni za određivanje rezervi za štete [6].

Neka slučajna promenljiva $C_{i,j}$ predstavlja iznos šteta koje potiču iz i-tog perioda nastanka $(i=1,...,I)$, a koje su rešene (prijavljene) do kraja j-tog perioda razvoja $(j=1,...,I)$. Njene realizovane vrednosti, koje su poznate za svako $i+j \le I+1$, obrazuju trougao šteta (Tabela 1).

Tabela 1: Trougao kumulativnih iznosa šteta

Period nastanka	**Period razvoja**						
	1	**2**	**...**	j	**...**	$I-1$	I
1	$C_{1,1}$	$C_{1,2}$	...	$C_{1,j}$	...	$C_{1,I-i}$	$C_{1,I}$
2	$C_{2,1}$	$C_{2,2}$	...	$C_{2,j}$	...	$C_{2,I-i}$	
...	...	...	...	...	...		
i	$C_{i,1}$	$C_{i,2}$	...	$C_{i,j}$			
...	...	...	...				
$I-1$	$C_{I-1,1}$	$C_{I-1,2}$					
I	$C_{I,1}$						

Prirast kumulativnog iznosa šteta između j-tog i $(j+1)$-og perioda razvoja opisuje faktor razvoja f_j, kao nepoznati parametar koji ne zavisi od perioda nastanka šteta. Ocena faktora razvoja $\hat{f}_j$ dobija se na osnovu obrasca:

$$\hat{f}_j = \frac{\sum_{i=1}^{I-j} C_{i,j+1}}{\sum_{i=1}^{I-j} C_{i,j}}, 1 \le j \le I-1 \tag{1}$$

Za štete koje su nastale u i-tom periodu, konačan iznos $C_{i,I}$ se projektuje na osnovu njihovog kumulativnog iznosa zaključno sa tekućim kalendarskim periodom $C_{i,I+1-i}$ i ocenjenih faktora razvoja:

$$\hat{C}_{i,I} = C_{i,I+1-i} \cdot \hat{f}_{I+1-i} \cdot \ldots \cdot \hat{f}_{I-1} = C_{i,I+1-i} \cdot \prod_{j=I+1-i}^{I-1} \hat{f}_j, 2 \le i \le I \tag{2}$$

Rezerve za štete R_i po pojedinim periodima nastanka šteta se ocenjuju u vidu razlike:

$$\hat{R}_i = \hat{C}_{i,I} - C_{i,I+1-i}, 2 \le i \le I \tag{3}$$

Chain Ladder metoda je zasnovana na pretpostavci da je razvoj šteta koje potiču iz najranijeg perioda nastanka završen u poslednjem obuhvaćenom periodu razvoja. U periodima koji slede, faktori razvoja date kohorte šteta izjednačavaju se sa jedinicom. Međutim, ukoliko osiguravajuća kompanija nema dovoljno obimno iskustvo u pružanju odgovarajuće vrste osiguranja, ili je reč o vrsti sa tzv. dugim repom, koju karakteriše višegodišnji vremenski gep između nastanka i konačnog rešavanja šteta (kakav je slučaj sa različitim vrstama osiguranja od odgovornosti), ova pretpostavka neće biti ispunjena [7]. Kao posledica, biće potcenjen konačan iznos šteta, a samim tim i iznos rezervi za štete po svim periodima nastanka. Time se direktno ugrožava solventnost osiguravača, kao dugoročna sposobnost izmirenja preuzetih obaveza prema osiguranicima. Empirijska istraživanja upravo pokazuju da je potcenjenost rezervi za štete jedan od ključnih uzročnika nesolventnosti neživotnih osiguravača [9, 8, 2]. Stoga je, u cilju formiranja adekvatnog iznosa rezervi za štete, neophodno da Chain Ladder metoda rezervisanja bude dopunjena modeliranjem repnog faktora.

Repnim faktorom se aproksimira obrazac razvoja šteta nakon poslednjeg perioda razvoja koji je obuhvaćen trouglom šteta, ili nakon poslednjeg ocenjenog faktora razvoja čija se vrednost može smatrati verodostojnom. Tada je ocena konačnog iznosa šteta koje potiču iz i-tog perioda nastanka $C_{i,ult}$ jednaka:

$$\hat{C}_{i,ult} = \hat{C}_{i,I} \cdot \hat{f}_t, 1 \le i \le I \tag{4}$$

gde je $\hat{f}_t$ ocena repnog faktora f_t, dok ocena rezervi za štete sa repnim faktorom postaje jednaka:

$$\hat{R}_i = \hat{C}_{i,ult} - C_{i,I+1-i}, 2 \le i \le I \tag{5}$$

U literaturi se predlažu četiri kategorije metoda za ocenjivanje repnog faktora [1]. Nedostajući faktori razvoja se, najpre, mogu nadomestiti repernim faktorima koje, po vrstama osiguranja, objavljuju specijalizovane rejting agencije, profesionalna udruženja ili organi nadzora u oblasti osiguranja. Međutim, u situacijama izraženih specifičnosti posmatranog osiguravajućeg portfelja, ili jednostavnog nepostojanja repernih podataka za tržište osiguranja, repni faktor se ocenjuje prevashodno, ili isključivo, na bazi internih podataka osiguravača.

Metoda koja je zasnovana na tzv. Bondy principu koristi poslednji ocenjeni faktor razvoja kao repni faktor, što može biti opravdano u slučaju vrsta osiguranja sa kratkim repom. Za vrste osiguranja sa dugim repom prikladnija je modifikovana Bondy metoda, prema kojoj se repni faktor izjednačava sa dvostrukom ili sa kvadriranom vrednošću poslednjeg ocenjenog faktora razvoja. Iako konzervativnije u odnosu na osnovnu Bondy metodu, modifikovane metode nemaju odgovarajuće teorijsko utemeljenje i ne pružaju zadovoljavajući nivo pouzdanosti pri modeliranju dugog repa razvoja šteta [5].

Algebarske metode za ocenjivanje repnog faktora zasnovane su na pravilnosti prema kojoj se prijavljene štete razvijaju relativno brže od rešenih šteta. U svojoj rudimentarnoj formi, one se svode na izjednačavanje konačnog kumulativnog iznosa prijavljenih i rešenih šteta koje potiču iz najranijeg perioda nastanka šteta. Pouzdanost rezultata ove metode zavisi od pouzdanosti ocene konačnog iznosa prijavljenih šteta. Stoga je Sherman (1984) predložio algebarsku metodu ocenjivanja repnog faktora koja umesto prijavljenih šteta koristi podatke o rezervama za prijavljene, ali nerešene štete. Ipak, korektnost njenog rezultata može biti narušena neadekvatnošću rezervi za prijavljene, ali nerešene štete.

Konačno, repni faktor može biti ocenjen ekstrapolacijom krive, koja je prethodno prilagođena razvoju šteta koji prethodi „repu“, što je najčešće korišćen pristup u aktuarskoj praksi.

3. METODA EKSTRAPOLACIJE TEORIJSKOG OBLIKA KRIVE

Metoda ekstrapolacije teorijskog oblika krive može da se primeni neposredno na podatke o rešenim (ili prijavljenim) štetama, ili na ocenjene vrednosti faktora razvoja (što je češći slučaj u praksi). Iz familije krivih, za koju se pretpostavlja da odražava razvoj šteta konkretnog portfelja, bira se ona kriva kojom se, u najboljoj mogućoj meri, aproksimiraju raspoloživi podaci, ocenjujući njene parametre metodom najmanjih kvadrata. Samo prilagođavanje odgovarajućeg teorijskog oblika krive podrazumeva primenu jednostavnog regresionog modela u kome se period razvoja javlja kao promenljiva kojom se objašnjava obrazac razvoja šteta. Kako funkcije koje se koriste u date svrhe odražavaju nelinearne zavisnosti promenljivih, ocenjivanju parametara prethodi prevođenje tih funkcija u njihovu linearnu formu.

Ekstrapolacija vrednosti zavisne promenljive se vrši za dovoljno veliki broj perioda razvoja, za koji budući faktori razvoja konvergiraju ka jedinici. Ocena repnog faktora predstavlja proizvod svih ekstrapoliranih faktora, počev od I-tog do zadatog konačnog perioda razvoja šteta. Za narednih m perioda razvoja, ocena repnog faktora će biti jednaka:

$$\hat{f}_t = \prod_{j=I}^{I+m-1} \hat{f}_j \tag{6}$$

Bilo koji faktor razvoja, koji se ocenjuje Chain Ladder metodom, može biti prikazan u vidu zbira tzv. razvojnog dela d_j i jedinice:

$$\hat{f}_j = \frac{\sum_{i=1}^{I-j} C_{i,j+1}}{\sum_{i=1}^{I-j} C_{i,j}} = \frac{\sum_{i=1}^{I-j} \left(C_{i,j} + S_{i,j+1} \right)}{\sum_{i=1}^{I-j} C_{i,j}} = 1 + \frac{\sum_{i=1}^{I-j} S_{i,j+1}}{\sum_{i=1}^{I-j} C_{i,j}} = 1 + d_j, 1 \le j \le I-1 \quad (7)$$

gde su:

$\hat{f}_j$ - ocena faktora razvoja za j-ti period razvoja,

$C_{i,j}$ - iznos šteta koje potiču iz i-tog perioda nastanka, a koje su rešene (prijavljene) do kraja j-tog perioda razvoja,

$S_{i,j}$ - iznos šteta koje potiču iz i-tog perioda nastanka, a koje su rešene (prijavljene) u j-tom periodu razvoja.

Krive koje se koriste u svrhe modeliranja repa razvoja šteta međusobno se razlikuju prema pretpostavljenom ponašanju razvojnog dela faktora razvoja. U Tabeli 2 prikazani su teorijski oblici krivih koje imaju najčešću primenu, kao i njihovi odgovarajući linearni oblici (dobijeni logaritmovanjem izraza za razvojni deo faktora razvoja), na osnovu kojih se određuju ocene parametara neophodne za ekstrapolaciju krivih za buduće periode razvoja.

Tabela 2: Teorijski oblici krivih koje se prilagođavaju ocenjenim faktorima razvoja

Kriva	Teorijski oblik krive	Razvojni deo faktora razvoja	Linearni oblik krive
Funkcija eksponencijalnog trenda	$f_j = 1 + a \cdot e^{b \cdot j}$	$d_j = f_j - 1 = a \cdot e^{b \cdot j}$	$\ln\left(f_j - 1\right) = \ln\left(a\right) + b \cdot j$
Weibull-ova funkcija	$f_j = \frac{1}{1 - e^{-a \cdot j^b}}$	$d_j = \frac{e^{-a \cdot j^b}}{1 - e^{-a \cdot j^b}}$	$\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{f_j}\right)\right) = \ln\left(a\right) + b \cdot \ln\left(j\right)$
Stepena funkcija	$f_j = 1 + a \cdot j^b$	$d_j = a \cdot j^b$	$\ln\left(f_j - 1\right) = \ln\left(a\right) + b \cdot \ln\left(j\right)$
Stepena funkcija sa pomakom	$f_j = 1 + a\left(j + c\right)^b$	$d_j = a \cdot \left(j + c\right)^b$	$\ln\left(f_j - 1\right) = \ln\left(a\right) + b \cdot \ln\left(j + c\right)$

Pod pretpostavkom da razvojni deo faktora razvoja opada po konstantnoj stopi između sukcesivnih perioda razvoja, kriva faktora razvoja se može iskazati pomoću funkcije eksponencijalnog trenda. Međutim, ukoliko je reč o vrsti osiguranja sa veoma dugim, tj. relativno sporo opadajućim repom, model eksponencijalnog trenda može dovesti do potcenjenosti repnog faktora. U takvoj situaciji, ocenjenim faktorima razvoja se prilagođava neki od teorijskih oblika krivih koji rezultuje „težim“ repom razvoja šteta. Takav je slučaj sa Weibull-ovom, stepenom funkcijom ili stepenom funkcijom sa pomakom, za koje stopa pada razvojnog dela faktora razvoja nije konstantna, već se smanjuje protekom vremena.

Metoda ekstrapolacije uzima u obzir celokupan razvoj šteta, što je njena prednost u poređenju sa drugim metodama za ocenjivanje repnog faktora. Za postizanje bolje prilagođenosti realnim podacima, parametri datih funkcija mogu da se ocenjuju na osnovu manjeg broja kasnijih perioda razvoja, čime se dobija relativno veći repni faktor [3]. Ograničenja ove metode se ogledaju u zahtevu da vrednosti svih faktora razvoja budu striktno veće od jedinice, kao i u arbitrarnosti izbora dužine perioda projekcije [4].

4. PRIMENA METODE EKSTRAPOLACIJE KRIVE NA KONKRETNIM PODACIMA

Polazište za primenu Chain Ladder metode rezervisanja su trouglovi šteta po pojedinim vrstama osiguranja. U Tabeli 3 prikazan je trougao kumulativnih iznosa rešenih šteta u osiguranju od autoodgovornosti u slučaju jedne osiguravajuće kompanije koja posluje u Srbiji.[1] Primenom obrasca (1) ocenjeni su faktori razvoja $f_1, \ldots, f_9$, čije vrednosti indiciraju da razvoj šteta koje potiču iz najranije godine nastanka još uvek nije završen. Stoga je, radi determinisanja najbolje ocene rezervi za štete u datoj vrsti osiguranja, neophodno oceniti repni faktor razvoja.

[1] Iz razloga poverljivosti, svi podaci su skalirani proizvoljno izabranom konstantom.

Tabela 3: Trougao kumulativnih iznosa rešenih šteta (u milionima RSD)

Godina nastanka (i)	Godina razvoja (j)									
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
2011	396,65	558,25	766,07	856,23	951,06	1.000,31	1.069,32	1.114,03	1.150,87	1.151,96
2012	221,59	613,08	784,28	899,81	1.022,21	1.084,75	1.175,70	1.207,65	1.212,54	
2013	356,47	586,11	697,78	818,68	1.072,81	1.245,37	1.266,23	1.304,26		
2014	480,98	746,29	979,48	1.155,14	1.305,92	1.375,79	1.426,89			
2015	524,16	932,46	1.383,59	1.695,15	1.754,58	1.791,44				
2016	703,27	1.245,33	1.433,39	1.587,19	1.746,98					
2017	705,22	1.234,41	1.462,82	1.503,04						
2018	590,23	968,72	1.223,42							
2019	312,64	510,49								
2020	351,60									
Ocenjeni faktori razvoja ($\hat{f}_j$)	**1,7233**	**1,2682**	**1,1342**	**1,1200**	**1,0640**	**1,0493**	**1,0327**	**1,0180**	**1,0009**	

U Tabeli 4 prikazane su ocenjene funkcije koje su prilagođene ocenjenim faktorima razvoja. U slučaju stepene funkcije sa pomakom, optimalna vrednost pomaka od $-0,0625$ je postignuta pri minimalnoj sumi kvadrata odstupanja između ocenjenih faktora razvoja i prilagođenih vrednosti krive za posmatrane godine razvoja. Kriterijum izbora krive je faktor determinacije, čija je vrednost najveća u slučaju Weibull-ove funkcije (92,64%).

Tabela 4: Teorijski oblici krivih prilagođenih ocenjenim faktorima razvoja

Kriva	Ocenjena funkcija	Faktor determinacije	Ocenjena vrednost repnog faktora
Funkcija eksponencijalnog trenda	$f_j = 1 + 1,3726 \cdot e^{-0,6395 \cdot j}$	85,83%	1,0048
Weibull-ova funkcija	$f_j = \frac{1}{1 - e^{-0,8409 \cdot j^{0,7926}}}$	92,64%	1,0165
Stepena funkcija	$f_j = 1 + 1,3722 \cdot j^{-2,2477}$	73,14%	1,0416
Stepena funkcija sa pomakom	$f_j = 1 + 1,2076\left(j - 0,0625\right)^{-2,1887}$	72,77%	1,0431

Weibull-ovom funkcijom ekstrapolirani faktori razvoja dostižu jediničnu vrednost nakon 11 godina od poslednje godine razvoja koja je obuhvaćena trouglom šteta. Njihov proizvod prema obrascu (6) predstavlja ocenjenu vrednost repnog faktora u iznosu od 1,0165.

Tabela 5: Rezultati ocenjivanja rezervi za štete Chain Ladder metodom (u milionima RSD)

Godina razvoja i	Rešene štete zaključno sa tekućom godinom $C_{i,I+1-i}$	Proizvod ocenjenih faktora razvoja $\prod_{j=I+1-i}^{I-1} \hat{f}_j$	Projektovani konačni iznos šteta bez repnog faktora $\hat{C}_{i,I}$	Ocenjene rezerve za štete bez repnog faktora $\hat{R}_i$	Ocenjeni repni faktor $\hat{f}_t$	Projektovani konačni iznos šteta sa repnim faktorom $\hat{C}_{i,ult}$	Ocenjene rezerve za štete sa repnim faktorom $\hat{R}_i$
2011	1.151,96	1,0000	1.151,96	0	1,0165	1.170,97	19,00
2012	1.212,54	1,0009	1.213,69	1,15	1,0165	1.233,71	21,17
2013	1.304,26	1,0189	1.328,96	24,70	1,0165	1.350,88	46,62
2014	1.426,89	1,0522	1.501,40	74,52	1,0165	1.526,17	99,28
2015	1.791,44	1,1041	1.977,87	186,44	1,0165	2.010,50	219,06
2016	1.746,98	1,1748	2.052,31	305,34	1,0165	2.086,17	339,19
2017	1.503,04	1,3157	1.977,60	474,56	1,0165	2.010,22	507,18
2018	1.223,42	1,4924	1.825,79	602,37	1,0165	1.855,91	632,49
2019	510,49	1,8926	966,14	455,64	1,0165	982,07	471,58
2020	351,60	3,2615	1.146,73	795,13	1,0165	1.165,65	814,05
			Ukupno:	**2.919,85**		**Ukupno:**	**3.169,63**

Tabela 5 daje uporedni prikaz rezultata ocenjivanja rezervi za štete sa i bez repnog faktora, primenom Chain Ladder metode rezervisanja. Kumulativni iznosi šteta $C_{i,j}, i+j>11$ su projektovani do konačnog iznosa $\hat{C}_{i,I}$ na osnovu obrasca (2)**.** Razlika između šteta rešenih zaključno sa tekućom godinom $C_{i,I+1-i}$ i projektovanih konačnih iznosa šteta ($\hat{C}_{i,I}$) predstavlja ocenjene rezerve za štete bez repnog faktora za svaku godinu nastanka $i, 1 \le i \le 10$ u skladu sa obrascem (3). Projektovani konačni iznos šteta sa repnim faktorom $\hat{C}_{i,ult}$ dobijen je prema obrascu (4), a odgovarajuća ocenjena vrednost rezervi za štete prema obrascu (5). Dobijeni rezultati pokazuju da uključenje repnog faktora dovodi do značajnog povećanja projektovanog konačnog iznosa šteta i, samim tim, iznosa rezervi za štete, u vrstama osiguranja sa dugim repom.

5. ZAKLJUČAK

U situacijama u kojima se ne raspolaže dovoljno dugom vremenskom serijom podataka o štetama, ili je jednostavno reč o vrsti osiguranja sa dugim repom, primena Chain Ladder metode rezervisanja dovodi do potcenjenosti rezervi za štete. Ocenjeni faktori razvoja se tada dopunjuju repnim faktorom, kako bi, što realnije, bio odmeren konačan iznos šteta i potrebnih rezervi za njihovo pokriće.

Repni faktor značajno utiče na ukupan iznos rezervi za štete, budući da se primenjuje prilikom projektovanja konačnog iznosa šteta po svakom od perioda nastanka. Međutim, kako odražava razvoj šteta nakon poslednjeg obuhvaćenog perioda razvoja, znatno ga je teže oceniti u poređenju sa faktorima razvoja koji se ocenjuju na bazi raspoloživog trougla šteta.

U radu su prikazana četiri najčešće korišćena teorijska oblika krivih koje se prilagođavaju faktorima razvoja dobijenim Chain Ladder metodom rezervisanja u svrhe ocenjivanja repnog faktora. Krive se međusobno razlikuju u pogledu pretpostavljene dinamike kojom faktori razvoja šteta opadaju protekom vremena. Ukoliko izabrani oblik krive nije adekvatan za raspoložive podatke i/ili njeni parametri nisu tačno ocenjeni, tada ni repni faktor neće biti verodostojan, čime se dovodi u pitanje dovoljnost rezervi za štete. Otuda je preporuka da se primeni više oblika krivih i uporede dobijeni rezultati u cilju što pouzdanije ocene repnog faktora. Subjektivna procena aktuara u pogledu odgovarajućeg teorijskog oblika krive i dužine perioda projekcije opredeljuje konačan izbor repnog faktora. Zbog toga je veoma važno razumevanje obrasca razvoja šteta i poznavanje faktora koji ga opredeljuju u svakom konkretnom slučaju.

LITERATURA

[1] Boor, J. (2006). Estimating Tail Development Factors: What to do When the Triangle Runs Out. CAS Forum Winter. Arlington: Casualty Actuarial Society, 345–390.

[2] EIOPA (2018). Failures and near misses in insurance: Overview of the causes and early identification. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

[3] Herman, S. C. *et al.* (2013). The estimation of loss development tail factors: A summary report. Arlington: Casualty Actuarial Society, CAS Tail Factor Working Party.

[4] Institute and Faculty of Actuaries (1997). Claims Reserving Manual. Vol. 1, Edinburgh: Institute and Faculty of Actuaries.

[5] Jovović, M. (2015). Merenje rizika pri utvrđivanju solventnosti neživotnih osiguravača. Doktorska disertacija. Beograd: Univerzitet u Beogradu – Ekonomski fakultet.

[6] Kočović, J., Mitrašević, M., & Trifunović, D. (2019). Advantages and disadvantages of loss reserving methods in non-life insurance. Yugoslav Journal of Operations Research, 29(4), 553–561.

[7] Kočović, J., Rajić, V., & Jovović, M. (2012). Prednosti i nedostaci Chain Ladder metoda za procenu rezervi za štete. XXXIX Simpozijum o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2012), zbornik radova, Beograd: Visoka građevinsko-geodetska škola, 4 strane.

[8] Leadbetter, D., & Dibra, S. (2008). Why Insurers Fail: The Dynamics of Property and Casualty Insurance Insolvency in Canada. The Geneva Papers on Riks and Insurance, 33, 464–488.

[9] Sharma, P. *et al.* (2002). Prudential Supervision of Insurance Undertakings. Conference of Insurance Supervisory Services of the Member States of the European Union. Brussels: European Commission.

[10] Sherman, R. E. (1984). Extrapolating, Smoothing and Interpolating Development Factors. Proceedings of the CAS, Vol. LXXI, Arlington: Casualty Actuarial Society, 122–155.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

DISKONT ZA NEUTRŽIVOST AKCIJA: PRIMENA U SRBIJI

DISCOUNT FOR LACK OF MARKETABILITY: APPLICATION IN SERBIA

NINA MILENKOVIĆ

KPMG, Beograd, nmilenkovic@kpmg.com

Rezime: *Utvrđivanje diskonta za neutrživost akcija predstavlja jedan od zahtevnijih zadataka u proceni vrednosti kapitala, naročito kada su u pitanju manje, uglavnom zatvorene kompanije koje posluju na slabije razvijenim tržištima. U radu su opisani različiti metodi utvrđivanja ovog diskonta u uslovima razvijenih tržišta, kao neka od mogućih kvantitativnih rešenja primenljivih u procenjivačkoj praksi u Srbiji.*

Ključne reči: *diskont za neutrživost, zatvorene kompanije, QMDM, Mandelbaumovi faktori.*

Abstract: *Determining the discount for lack of marketability is one of the most challenging tasks in a business valuation, especially when it comes to smaller, closely held companies, operating in emerging markets. This paper describes different methods of determining this discount in the developed markets, as well as some of the possible quantitative solutions applicable in valuation practice in Serbia.*

Keywords: *discount for lack of marketability, closely held companies, QMDM, Mandelbaum factors.*

1. UVOD

Većina metoda procene vrednosti kapitala koristi kao inpute i parametre tržišne podatke (komponente diskontne stope, tržišne multiplikatore, tržišne cene sredstava i sl). Time se implicitno podrazumeva da osnovni rezultat predstavlja kapital koji je moguće u kratkom vremenu pretvoriti u gotovinu uz minimalne troškove (uobičajeno se koristi izraz "kao da je utrživ", eng. "as if marketable"). Kada su u pitanju kompanije čije se akcije kotiraju na slabo razvijenim berzama, privatne kompanije ili zatvorena društva, pretpostavka (pune) utrživosti uglavnom ne važi. Stoga je potrebno osnovni rezultat umanjiti za određeni diskont kako bi konačna procenjena vrednost kapitala odražavala činjenicu ograničene utrživosti.

U radu su ukratko opisani značenje i primena diskonta za neutrživost, dat kratak pregled metoda za njegovo utvrđivanje, a zatim su opisani neki od metoda primenljivi u proceni kapitala srpskih privrednih društava za različite svrhe.

Radi jednostavnosti, kada se govori o kapitalu kompanije koja je predmet procene, u radu je korišćen termin "akcije", bez obzira na pravnu formu kompanije, tj. da li je akcionarsko društvo ili društvo sa ograničenom odgovornošću. Takođe, za većinu važnijih izraza navedeni su originali na engleskom jeziku.

2. DEFINICIJA, ZNAČENJE I NAČINI UTVRĐIVANJA

2.1. Definicija i značenje

Najrasprostranjenija definicija diskonta za neutrživost akcija je ona iz Međunarodnog terminološkog rečnika pojmova vezanih za procenu vrednosti kapitala (International Glossary of Business Valuation Terms - IGBVT[1]), koju koristi i Američko udruženja procenjivača (American Society of Appraisers, ASA). Prema ovoj definiciji, diskont za neutrživost (Discount for Lack of Marketability, u daljem tekstu: DLOM) predstavlja "iznos ili procenat za koji se umanjuje vrednost vlasničkog interesa da bi se odrazilo relativno odsustvo utrživosti"[2]. Utrživost se definiše kao "mogućnost brze konverzije imovine u gotovinu uz minimalne troškove"[3]. Često se uz ovu definiciju dodaje i da utrživost podrazumeva da se gotovina realizuje u roku od tri do pet radnih dana.

[1] IGBVT je sastavni deo velikog broja procenjivačkih standarda, udžbenika i publikacija, ali se u publikacijama u koje je ovaj autor imao uvid ne navodi godina njegovog usvajanja.

[2] Prevod autora na osnovu [1].

[3] Isto.

Iz definicije proizlazi i značenje – ako je umanjena mogućnost da se imovina konvertuje u gotovinu ili je potrebno više vremena da se gotovina realizuje, investitor će zahtevati nižu cenu i/ili više stope prinosa.

Na utrživost vlasničkog udela u privatnoj ili zatvorenoj kompaniji utiču dva faktora: vreme transakcije i troškovi transakcije. Budući da se akcije kompanije ne kotiraju na berzi, ne postoji mehanizam za brzu promenu vlasništva. Troškovi transakcije mogu biti direktni troškovi i oportunitetni troškovi. Direktne troškove predstavljaju troškovi pravnih i finansijskih savetnika i naknade za transakcije, dok oportunitetne troškove predstavljaju prinosi od alternativnih ulaganja kojih se prodavac odrekao kao rezultat njegove nemogućnosti da proda vlasnički udeo za kratko vreme. Prema [6], nepoznato vreme transakcije i oportunitetni troškovi smatraju se osnovnim razlogom za primenu DLOM.

Koncept utrživosti često se meša sa konceptom likvidnosti. Likvidnost se u [5] i [1] definiše kao "mogućnost brze konverzije imovine u gotovinu ili isplate obaveze" . U starijoj literaturi iz oblasti procene, ovi termini su često ravnopravno korišćeni, uz napomene da se uglavnom utrživost više vezuje za mogućnost (pravo) konverzije, a likvidnost za njenu brzinu. U novijoj literaturi pravi se jasnija razlika između ova dva pojma. Primera radi, u [3] se navodi da se utrživost odnosi na pravnu ili ugovornu mogućnost vlasnika da imovinu proda ili na drugi način prenese vlasništvo, dok se likvidnost odnosi na relativnu jednostavnost konverzije imovine u gotovinu bez žrtvovanja dela njene suštinske vrednosti. U oba slučaja radi se o fleksibilnosti u pogledu promene vlasništva, ali iz drugačijih uglova. Kao što je i intuitivno jasno, neutrživost podrazumeva i nelikvidnost, dok obrnuta veza ne važi.

2.2. Načini utvrđivanja

Kao i kod većine parametara koji se koriste u proceni, a koje nije moguće eksplicitno empirijski izmeriti ili utvrditi, ne postoji jedinstvena ili opšteprihvaćena metodologija utvrđivanja DLOM. Kao i kod većine parametara koji se koriste u proceni, a koje nije moguće eksplicitno empirijski izmeriti ili utvrditi, ne postoji jedinstvena ili opšteprihvaćena metodologija utvrđivanja DLOM. Procenjivačima su na raspolaganju izvori i alati koji se mogu svrstati u nekoliko grupa:

- Empirijski modeli,
- Teorijski modeli,
- Specijalizovani softveri,
- Drugi izvori, kao što su akademske studije i sudska praksa u SAD.

Detaljan pregled pojedinih načina utvrđivanja DLOM može se videti u [8], a u nastavku će biti navedene njihove osnovne karakteristike.

Empirijski modeli bazirani su na podacima o izvršenim transakcijama čiji su predmet bile akcije smanjene utrživosti. Postoje tri vrste empirijskih modela: studije vezane za akcije sa ograničenjima na trgovanje (restricted stock studies), studije o transakcijama pre inicijalne javne ponude (pre-IPO studies) i model troškova puštanja u opticaj (flotation cost model). Kao osnovni nedostaci ovih modela navode se suštinske razlike između akcija na koje se pomenute studije odnose i vlasničkog interesa u privatnim i zatvorenim kompanijama, širok raspon diskonta, netransparentnost i nedostupnost svih informacija, kao i činjenica da je veliki broj ovih studija stariji od 30 godina.

Teorijski modeli koji se najčešće koriste su modeli koji koriste vrednovanje opcija (option-pricing models), dugoročne opcije (long-term equity anticipation securities), model diskontovanog novčanog toka i model baziran na stopama prinosa. Najpoznatiji modeli baziranim na opcijama su Chaffee model (zasniva se na evropskoj put opciji i njenom vrednovanju pomoću Black-Sholes modela), Longstaff model (daje gornju graanicu za DLOM uz pretpostavku da vlasnik ima savršenu mogućnost izbora pravog trenutka za transakciju) i Finnerty model (koristi put opciju sa prosečnom izvršnom – strike – cenom, izračunatom kao prosek spot cena u određenom periodu). Među modelima diskontovanog novčanog toka najrasprostranjeniji je Mercerov Kvantitativni model diskonta za neutrživost (QMDM – Quantitative Marketability Discount Model), o kome će biti više reči u sledećem poglavlju. Osnovna kritika svih ovih modela leži u velikom broju pretpostavki i/ili subjektivnosti u određivanju inputa.

Specijalizovani softveri bazirani su na različitim metodologijama, u zavisnosti od toga da li je kreator firma koja se pretežno bavi statističko-metodološkim istraživanjima ili procenjivačkom praksom. Osim kritika koje se odnose na samu konkretnu metodologiju, nedostaci leže i u tome što je korisniku nepoznat način na koji je metodologija primenjena, kao i u načinu određivanja ključnih inputa.

Akademske studije bile su popularan izvor podataka u ranijem periodu, ali se, s obzirom na činjenicu da su objavljene u periodu 1989-2002, danas ne bi mogle smatrati relevantnim niti aktuelnim izvorom informacija.

Sudske presude su relativno često korišćen izvor među američkim procenjivačima (pojedincima i manjim firmama), što nije neobično jer su sporovi u kojima se koriste procene vrednosti veoma česti, a sudska praksa

u toj oblasti razvijena. Iako vodeći specijalisti ne preporučuju ovaj izvor, jer sudske odluke nisu uvek zasnovane na procenjivačkim principima, primer iz sudske prakse koji je našao široku primenu je model tzv. Mandelbaumovih faktora [4], o kome će takođe više reči biti u sledećem poglavlju.

Procenjivačka profesija kontinuirano radi na razvoju modela za utvrđivanje DLOM i u relevantnoj literaturi se često pojavljuju novi ili inovirani predlozi – jedan od najsvežijih primera je inovirani Finertijev model [2].

3. PRIMENA DLOM U PROCENJIVAČKOJ PRAKSI U SRBIJI

Neutrživost je karakteristika velikog broja kompanija u Srbiji i širem regionu. Iako berze formalno postoje, obim trgovanja je mali, a veoma malim brojem akcija se trguje kontinualno. U skladu s tim, diskont za neutrživost, teorijski gledano, trebalo bi da bude često primenjivan u procenama vrednosti kapitala.

U praksi, nažalost, nije uvek tako. S jedne strane, značajan broj domaćih klijenata koji imaju vlasnički interes u privatnim ili zatvorenim privrednim društvima ne poznaje i ne razume principe metodologije i ne želi da prihvati umanjenje vrednosti po osnovu neutrživosti. S druge strane, izvori informacija za utvrđivanje DLOM za procenjivače u Srbiji uglavnom su nedostupni, često tehnički, a još češće finansijski (ukoliko nisu zaposleni u međunarodnim firmama koje pristup izvorima obezbeđuju kroz globalnu ili regionalnu mrežu). Stoga procenjivači kapitala u Srbiji uglavnom koriste javno dostupne izvore (pretežno internet), a potom prikupljene podatke, u zavisnosti od znanja i iskustva, koriguju radi prilagođavanja konkretnim uslovima i faktorima.

Poseban slučaj predstavljaju specifične svrhe procene, kao što je (bila) tenderska privatizacija, kada se očekivalo da će se pojaviti zainteresovani kupci, pa su primenjivane veoma niske vrednosti DLOM, ili procena vrednosti akcija u slučaju otkupa manjinskih paketa, kada postoji mogućnost nesaglasnih akcionara, gde se pragmatično-intuitivni stav da je poželjno izbeći umanjenje vrednosti i smanjiti verovatnoću tužbe uobičajeno obrazlaže pretežnom američkom sudskom praksom, po kojoj, u cilju zaštite prava manjinskih akcionara, fer vrednost[4] predstavlja proporcionalno (pro rata) učešće u vrednosti kompanije, tj. da u slučajevima njihove nesaglasnosti ne treba primenjivati diskonte koji bi uobičajeno proizašli iz činjenice da je u pitanju manjinski paket [9].

Pri odlučivanju o primeni diskonta za neutrživost moraju se uzeti u obzir sledeći elementi:

- Pravo prodaje pod unapred poznatim uslovima (ako vlasnik ima takvo pravo, njegov udeo će vredeti više);
- Istorija isplate dividende;
- Potencijalni kupci (kada postoji jedan ili više potencijalnih kupaca, udeo vredi više);
- Veličina akcija (veće pakete akcija je teže prodati od pojedinačnih akcija / udela);
- Zakonske i podzakonske odredbe koje ograničavaju prenosivost vlasništva rezultiraće većim diskontom;
- Pristup informacijama i njihova pouzdanost.

Navedeni elementi obuhvaćeni su u velikoj meri kroz dva relativno rasprostranjena metoda u regionu: QMDM model i model Mandelbaumovih faktora.

3.1. QMDM model

Kao što je već pomenuto, Kvantitativni model diskonta za neutrživost razvio je Christopher Mercer, jedan od vodećih svetskih teoretičara i praktičara u oblasti procene vrednosti kapitala.

QMDM pripada grupi modela diskontovanog novčanog toka i primenjuje se tako što se razvijaju dva skupa pretpostavki i dobijaju dva rezultata, jedan koji predstavlja utrživi paket i drugi koji predstavlja neutrživi paket, tako da njihov odnos predstavlja DLOM.

Inputi modela prikazani su u tabeli na sledećoj strani.

Prikazani primer odnosi se na domaću kompaniju iz oblasti teške industrije, koja je u proteklom periodu ostvarivala relativno niske stope dobiti, sa očekivanim rastom na nivou dugoročne inflacije (projekcije poslovanja bile su iskazane u EUR).

Treba napomenuti da se kao cena akcije uglavnom upisuje standardizovana vrednost 1 ili 100.

[4] Termin fer vrednost koji se u američkim standardima i praksi koristi u ovakvim situacijama ne treba poistovećivati sa pojmom fer vrednosti u smislu računovodstvenih standarda.

Tabela 1. Inputi QMDM modela

QMDM model - inputi	
1. Očekivani period držanja vlasničkog interesa do prodaje	3
2a. Prinos na dividendu / Distribucija dobiti	5.00%
2b. Očekivani rast dividende / distribucije	2.00%
2c. Vremenski raspored (sredina ili kraj godine)	kraj
3a. Rast novčanog toka u periodu do prodaje	0.00%
3b. Premije/Diskonti na očekivanu vrednost	0.00%
4. Zahtevani prinos za vreme držanja (diskontna stopa)	12.25%
5. Cena po akciji	1

Razvijanje novčanog toka i obračun DLOM prikazani su u sledećoj tabeli:

Tabela 2. Diskontovani novčani tok

QMDM model - obračun				
Period držanja	1.000	2.000	3.000	0.000
Novčani tok	1	1	1	0
Distribucija (udeo u novčanom toku)	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%
Iznos dividende (udela)	0.05	0.05	0.05	0
Diskontni faktor	0.8909	0.7936	0.7070	0.0000
Neutrživa vrednost diskontovanog novčanog toka	0.04	0.04	0.04	0.00
Neutrživa vrednost reziduala	0.71			
Utrživa vrednost po akciji	1.00			
Neutrživa sadašnja vrednost po akciji	0.83			
Diskont za neutrživost	**17.34%**			

Kao što je već pomenuto, osnovne kritike ovog modela odnose se na veliki broj inputa i subjektivnost pri određivanju. Iako ove kritike imaju smisla, autor modela u [7] daje argumentaciju protiv, a iskustvo autora ovog rada jeste da je većina inputa već utvrđena ukoliko je rađena procena vrednosti prinosnim pristupom.

3.2. Mandelbaum faktori

Primena Mandelbaum faktora zaista zahteva veći udeo subjektivnosti u određivanju njihovog uticaja na DLOM u konkretnom slučaju, te ovaj metod ne bi trebalo koristiti kao jedini metod za utvrđivanje DLOM.

Primena Mandelbaum faktora prikazana je u sledećim tabelama:

Tabela 3.

Mandelbaum faktori - uticaj na DLOM					
Faktori	**Visok**	**<==**	**Srednji**	**==>**	**Nizak**
	0	**1**	**2**	**3**	**4**
1. Finansijska analiza			2		
2. Politika i istorija isplate dividendi	0			3	
3. Profil kompanije (istorijat, tržišna pozicija, perspektiva)			2		
4. Upravljanje				3	
5. Stepen kontrole u paketu koji se prodaje					4
6. Ograničenja na prodaju akcija	0				
7. Period držanja u posedu		1			
8. Politika otkupa sopstvenih akcija				3	
9. Troškovi potencijalne javne ponude			2		
	0	**1**	**6**	**9**	**4**
Ukupno poena			**20**		

Tabela 4.

Zaključak o DLOM		
	DLOM	**Broj poena**
Puna utrživost	0%	36
Neutrživost	40%	0
Ukupno poena		**20**
Diskont za neutrživost (DLOM)	**17.8%**	

Radi se o istoj kompaniji i u konkretnom slučaju dobijen je sličan iznos DLOM (što nije uvek slučaj).

Treba napomenuti da je jedan od nedostataka ovog metoda i problem sa utvrđivanjem početne vrednosti diskonta, što je najčešće vrednost preuzeta iz nekih od empirijskih studija i nosi sve njihove nedostatke.

4. UMESTO ZAKLJUČKA

Neutrživost je uobičajena karakteristika vlasničkog interesa u privatnim kompanijama, te je u formiranju konačnog zaključka o procenjenoj vrednosti potrebno primeniti odgovarajući diskont. Većina procenjivača koristi jedan model ili studiju, ali moderni trendovi u proceni (a sve češće i procenjivački standardi) zahtevaju razmatranje i diskusiju više modela.

U radu je dat primer kako je neke od modela moguće primeniti u procenjivačkoj praksi u Srbiji

LITERATURA

[1] American Society of Appraisers (2009): ASA Business Valuation Standards, Glossary

[2] Finnerty, J.D. (2019): A General Formula for the Discount for Lack of Marketability, Joint ASA 2019 Advanced Business Valuation and International Appraisers Conference, http://www.appraisers.org/docs/default-source/event_doc/2019_bvc_presentations_finnerty---discount-for-lack-of-marketability.pdf?sfvrsn=2

[3] Finnerty, J.D. & Park, R.W. (2015): Collars, Prepaid Forwards, and the DLOM: Volatility Is the Missing Link, Business Valuation Review, Vol. 34, Issue 1, Spring, str. 24-30

[4] Hawkins, G.B. & Paschall, M.A. (2003): Marketability Discounts - The Mandelbaum Case Raises Key Issues, Banister Financial Inc. https://www.businessvalue.com/resources/Valuation-Articles/Mandelbaum-Case-Analysis.pdf

[5] International Glossary of Business Valuation Terms, adopted by American Institute of Certified Public Accountants, American Society of Appraisers, National Association of Certified Valuation Analysts, The Canadian Institute of Chartered Business Valuators, The Institute of Business Appraisers

[6] Khairajani, R.C. (2021): Discount for the lack of marketability, KNAV Valuation Newsletter, https://knavcpa.com/wp-content/uploads/2021/03/DISCOUNT-FOR-THE-LACK-OF-MARKETABILITY-UK.pdf

[7] Mercer, C. (2017): The Quantitative Marketability Discount Model's (QMDM) 20th Anniversary, https://chrismercer.net/the-quantitative-marketability-discount-models-qmdm-20th-anniversary/

[8] Milenković, N. (2016). Diskont za neutrživost akcija: utvrđivanje i primena. Paper presented at FINIZ 2016 - Risks in Contemporary Business. doi:10.15308/finiz-2016-130-134

[9] Quackenbush, W.C. (2016): DLOMs in N.Y. Statutory Fair Value Cases—A Follow-Up to Matthews, Business Valuation Update, Vol. 22, No.3, March, preuzeto u seeptembru 2016. sa https://www.bvresources.com/products/business-valuation-update

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

DRIVERS OF RISE IN PUBLIC DEBT DURING COVID-19 PANDEMIC: A DECOMPOSITION APPROACH

SAŠA RANĐELOVIĆ[1]

[1] Faculty of Economics, University of Belgrade, sasa.randjelovic@ekof.bg.ac.rs

Abstract: *The crisis caused by the COVID-19 pandemic has led to strong rise in public debt, which in 2020 in Europe increased by an average of over 12 percent of GDP, reaching a level of over 75 percent of GDP. In this paper, we apply a decomposition approach to analyze the relative importance of relevant drivers of public debt growth in Europe, based on which the impact of the pandemic crisis on the sustainability of public finances is assessed. The results show that about 57 percent of public debt growth in Europe is due to the fiscal deficit, and the rest is due to other factors - the depth of the recession, exchange rate gains and losses and previously formed government deposits. About half of the fiscal deficit in Europe in 2020 was due to the automatic adjustment of the fiscal position to economic trends, while the other half is a consequence of the application of discretionary measures of expansionary fiscal policy. During the pandemic, the structural fiscal deficit in European countries increased by about 3.8 percent of potential GDP, which indicates that the pandemic crisis may have a long-term negative effects on the sustainability of public finances of European countries.*

Keywords: *COVID-19 pandemic, expansionary fiscal policy, public debt, public finance sustainability*

1. UVOD

The COVID-19 pandemic has posed one of the largest challenges of the current generation. Severe consequences for public health and unprecedented containment measures implemented by the most of countries had a very large negative impact on economic outcomes – in terms of downturn of economic activity, spike in unemployment, rising inequality and distress to the financial system. Outbreak of COVID-19 pandemic triggered the highest degree of uncertainty in the last two decades [12]. This has had negative impact on consumption and investment decisions of households and companies. At the beginning of pandemic, consumption soared, due to stockpiling and then plummeted. Because of the sharp decline in turnover, many businesses, especially small and medium-sized, faced liquidity constraint. US Business survey data at the early stage of pandemic showed that almost two thirds of businesses expect to shut down if the pandemic is to last for six months or longer [2]. These developments have had adverse impact on unemployment, with further negative consequences on consumption, as in developed countries around one third of households spend the most of cash flow they receive [4]. In short, economic crisis caused by the COVID-19 pandemic, started as a supply shock, due to disruption of global supply chains, which has been magnified then by introduction of containment measures. Supply-side shock had a first round negative impact on global economy. However, this has triggered adverse trends on the demand side as well – rise in unemployment, decline in disposable income and rising uncertainty that has motivated households and firms to increase savings (and to postpone consumption and investment). Decline on the demand side has had additional adverse effect on supply, which means that the pandemic has triggered a sort of negative race between supply and demand, which has threatened to further deepen the crisis. As the effects of the crisis have been especially strong at the lower parts of income distribution, this has caused rise in inequality of income and opportunities, which according to empirical results from past pandemics, may have negative impact on social cohesion [11].

To reduce negative consequences of the crisis, governments have launched very large programmes of fiscal and monetary expansion [6]. On the fiscal side, governments have increased spending on healthcare services, introduced tax cuts and reliefs and wage subsidies to firms/employees, while some countries (e.g. US, Canada, Malta, Serbia) also made universal basic transfers to households. Such a large fiscal expansion, led to soaring fiscal deficit and triggered spike in public debt. Massive fiscal stimuli implemented by the governments are considered justified. However, considering the size and duration of fiscal expansion (which continued in 2021, albeit at the lower scale), this may have adverse impact on public finance sustainability in many countries, thus undermining long-run economic growth in the future [9]. The aim of this paper is to

estimate relative importance of particular factors of rise in public debt in Europe in 2020, by applying decomposition approach to annual macroeconomic data from the World Economic Outlook database. Based on the results, the impact of COVID-19 pandemic on long-run sustainability of public finance in Europe is evaluated.

2. METHODOLOGY AND DATA

The level of public debt (D_{t+1}) relative to GDP, as a stock variable, is determined by the inherited debt from the previous period (D_t), and the dynamics of fiscal flows, i.s. fiscal balance in the current period (FB_{t+1}), dynamics in economic activity, i.e. GDP growth rate, and other factors (Ω_{t+1}), such as exchange rate gains/losses, level of deposits, etc. (equation 1):

$$D_{t+1} = \frac{D_t - FB_{t+1}}{(1+r_{t+1})Y_t} + \Omega_{t+1} \quad (1)$$

The impact of fiscal balance on the dynamics of public debt depends on the level of the balance - a positive balance can reduce public debt if used to repay previously formed debt, while a negative balance increases public debt to the extent that (deficit) is financed by government borrowing [1]. The amount of the fiscal balance in a certain period depends on the discretionary decisions of the government, as well as on the movement of economic activity that automatically affects the changes of public revenues and public expenditures, and thus the amount of the fiscal balance. Therefore, the total fiscal balance in a certain period (equation 2) can be disaggregated into discretionary (DFB_{t+1}) and automatic component ($AAFB_{t+1}$):

$$FB_{t+1} = DFB_{t+1} + AAFB_{t+1} \quad (2)$$

For example, government decisions to pay one-off subsidies to companies affected by the pandemic lead to an increase in public spending and an increase in the fiscal deficit, thus increasing the discretionary component of the fiscal balance. The decline in GDP, which reflects the slowdown in economic activity, also leads to a decline in the collection of tax revenues. If t represents the share of tax revenues in the country's GDP ($0<t<1$), the negative growth rate of the economy (r_{t+1}), i.e. a decrease in GDP by 1 percent will cause the decline in tax revenues by t percent, which will lead to automatic fiscal balance adjustment. Accordingly, the discretionary fiscal balance can be estimated, as the difference between the actual fiscal balance and the automatic adjustment of the fiscal balance caused by the movement of economic activity (equation 3):

$$DFB_{t+1} = FB_{t+1} - r_{t+1}t_{t+1} \quad (3)$$

Therefore, using the data from the International Monetary Fund database and the European commission data on tax revenues-to-GDP ratios [5]. this paper provides decomposition of the change in public debt during the pandemic (in 2020) in Europe, into the fraction attributed to fiscal balance and the fraction attributed to dynamics of economic activity. In the next step, we disaggregate the actual fiscal balance (in 2020) into a discretionary and automatic component, in order to estimate which part of rise in public debt is caused by discretionary (anti-crisis) stimulus programmes and which part is attributed to automatic adjustments of fiscal flows to economic activity.

The sustainability of public debt is determined by the level of debt, its dynamics in the previous period, as well as the level of the fiscal balance. However, when analyzing the impact of the fiscal balance on sustainability of public debt, it is necessary to determine whether fiscal balance (e.g. very large fiscal deficit) is a consequence of one-time decisions (e.g. one-time payments to retirees), cyclical factors (temporary economic downturn) or permanent measures that lead to a decline in public revenues and an increase in public expenditures (e.g. a permanent increase in pensions). Therefore, to analyze and assess the impact of the fiscal balance on the sustainability of public debt, it is necessary to take into account the level of the structural fiscal balance (i.e. cyclically and absorption-adjusted fiscal balance), which shows what the fiscal balance would be if the economy grew at its natural rate, if external balance was at equilibrium, and if there were no one-off measures that trigger changes in public revenues or expenditures [3, 8]. This means that in two countries with the same level of public debt, where the first country has a higher nominal fiscal deficit but a lower structural fiscal deficit than the second country, the public debt of the first country would be more sustainable, because its deficit is attributed to temporary factors that will not lead to further rise in public debt in the future. Accordingly, this paper will analyze the change in the structural fiscal balance by

European countries, which occurred during the COVID-19 pandemic. Based on the level of public debt, its dynamics, the decomposition of the drivers of public debt growth during the pandemic, and the dynamics of the structural fiscal balance, the impact of the pandemic crisis on the sustainability of public debt of European countries is analyzed.

3. RESULTS

In response to COVID-19 pandemic, governments have raised healthcare spending, in order to strengthen the healthcare systems. In addition to that, governments have launched massive fiscal stimuli, to strengthen the liquidity of the companies, to help them survive temporary disruption in operations. In spite of buoyant fiscal and monetary interventions, global output declined by 3.3 percent in 2020. Due to severity of pandemic crisis, stringency of containment measures and sectoral structure of the economy, Europe has faced deeper recession, with decrease in GDP by 6.3 percent [10].

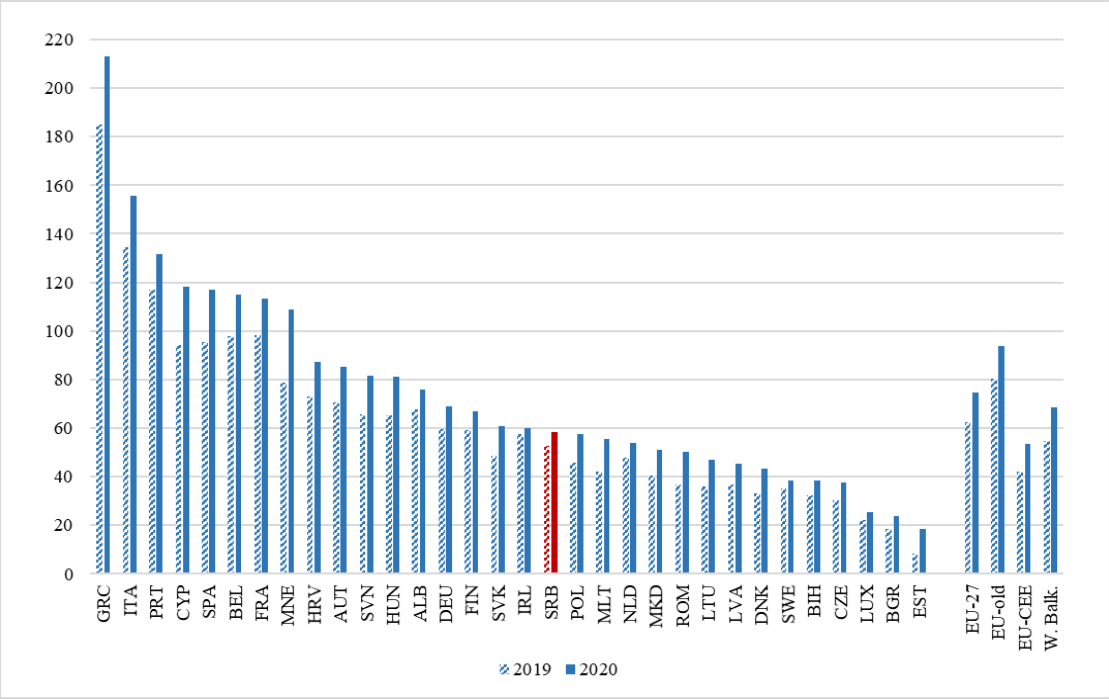


Figure 1: Public debt dynamics in Europe during COVID-19 pandemic (percent of GDP)
Source: Author's calculations based on the IMF WEO data

As suggested by equation (2), massive fiscal expansion that was mostly financed by means of lending and drop in GDP have both contributed to soaring public debt in Europe, which rose in 2020 by 12.3 percent of GDP, thus reaching 74.7 percent of GDP at the end of 2020 (Figure 1). Rise in public debt was more pronounced in the old-EU member states and the Western Balkans countries, than in the new EU member states from the Central and Eastern Europe (CEE).

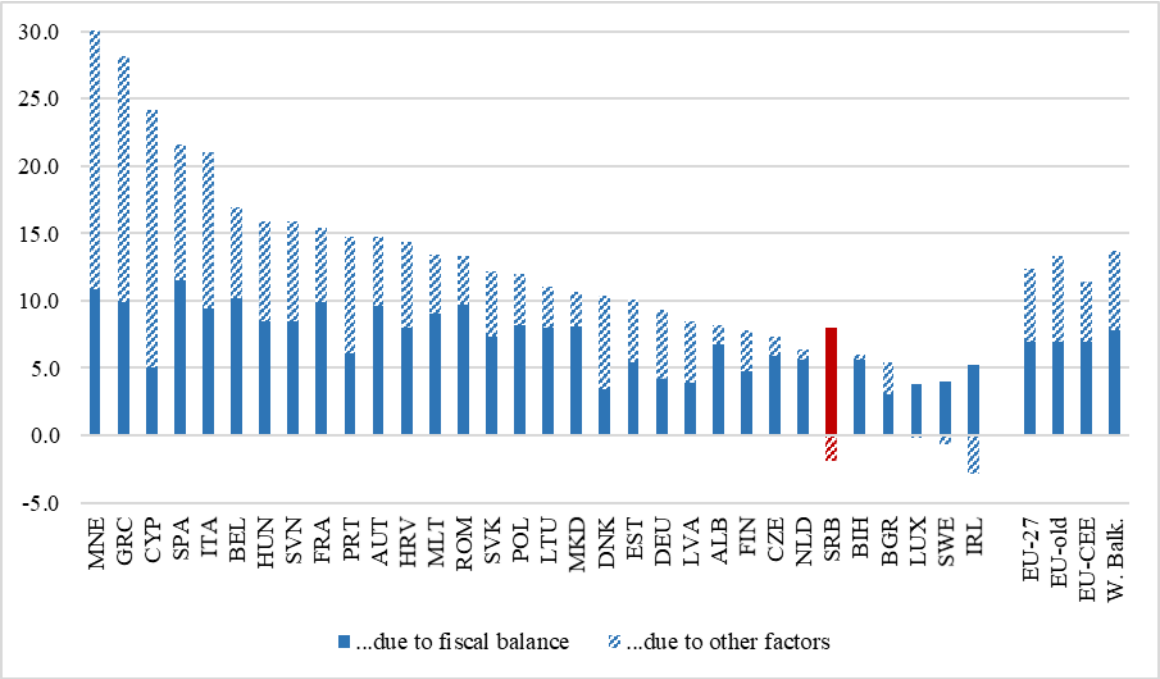


Figure 2: Decomposition of change in public debt in 2020 (percent of GDP)
Source: Author's calculations based on the IMF WEO data

Rise in the relative level of public may be attributed to large fiscal balance posted in 2020, but also to the other factors, such as severity of recession, foreign exchange gains/losses and the level of government deposits, accumulated by the end of 2019, which could have been used to finance part of the deficit generated in 2020. While fiscal deficit accounts for around 57 percent of rise in public debt, the remaining share is attributed to the other factors (Figure 2). The results also show that the share of rise in public debt attributed to fiscal deficit is higher in the CEE and Western Balkans countries, than in the developed European countries. It can be noted than in some countries (Serbia, Ireland, Sweden and Luxembourg), other factors have triggered decline in public debt – primarily due to foreign exchange gains related to appreciation of national currency to Euro and/or the US dollar and the previously accumulated reserves.

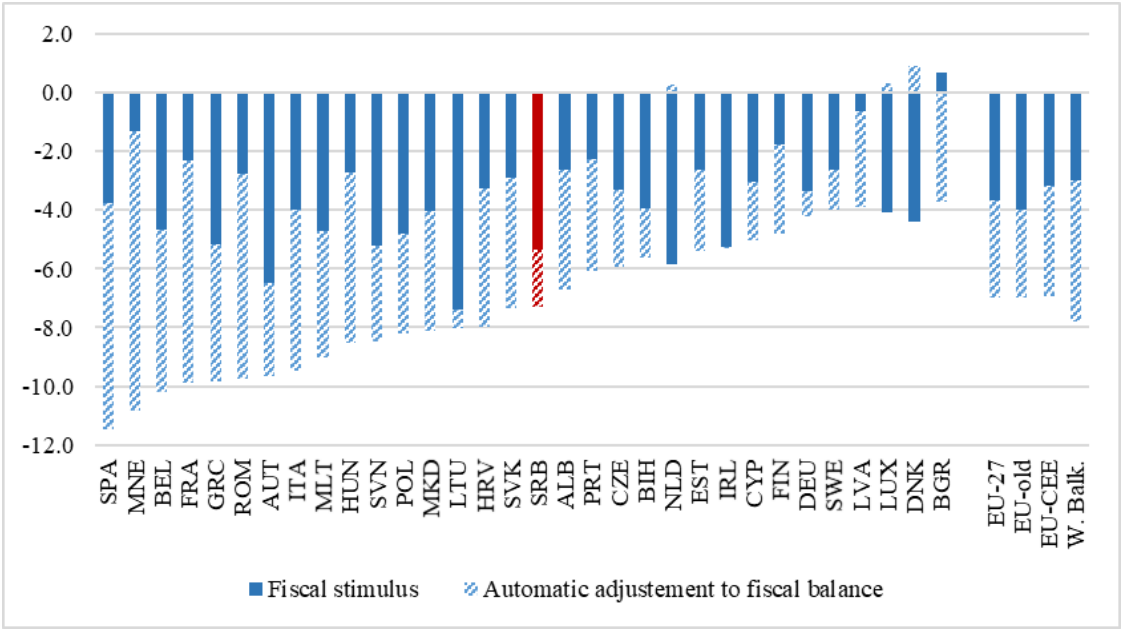


Figure 3: Disaggregation of fiscal balance in 2020 (percent of GDP)
Source: Author's calculations based on the IMF WEO data

European countries have posted average fiscal deficit of around 7 percent of GDP in 2020, which is significantly above the deficit posted in the previous years. Using the decomposition method (equations 2 and 3), it is estimated that approximately one half of the 2020 fiscal deficit in Europe comes from the

automatic adjustment to fiscal deficit due to recession, while the other half is caused by the discretionary measures of fiscal policy aimed to curb the negative economic trends (Figure 3). Observed by country-groups, it is noted that in the Western Balkans and CEE countries automatic adjustment to fiscal balance accounts for more than a half of total fiscal deficit (62 percent and 54.4 percent respectively), while in the old EU member states less than 43 percent of fiscal deficit is caused by automatic adjustment, while more than 57 percent is linked to massive discretionary fiscal interventions. In Serbia, around ¾ of 2020 fiscal deficit is linked to discretionary measures of fiscal policy, while less than ¼ is caused by the automatic adjustment of fiscal balance to general macroeconomic trends. Variation in the relative share of discretionary measures of fiscal policy and automatic adjustments in shaping the 2020 fiscal stance is linked to the profile of economic policy response to the crisis and the countries' characteristics in terms of exposure to foreign exchange risks and accumulation of deposits in the pre-crisis period.

Unprecedented public health and economic crisis required extraordinary approach to design and implementation of economic policy response to the crisis. In that respect, almost all European countries opted for strongly expansionary fiscal policy in 2020, in order to underpin healthcare system and curb the negative consequence of the pandemic crisis. Although massive fiscal intervention in the times of extraordinary crisis is justified, fiscal expansion should also be evaluated from the point of view of its impact on long-term sustainability of public finance. In that respect, it is relevant to analyze to what extent was the rise in (discretionary) fiscal balance temporary *versus* structural.

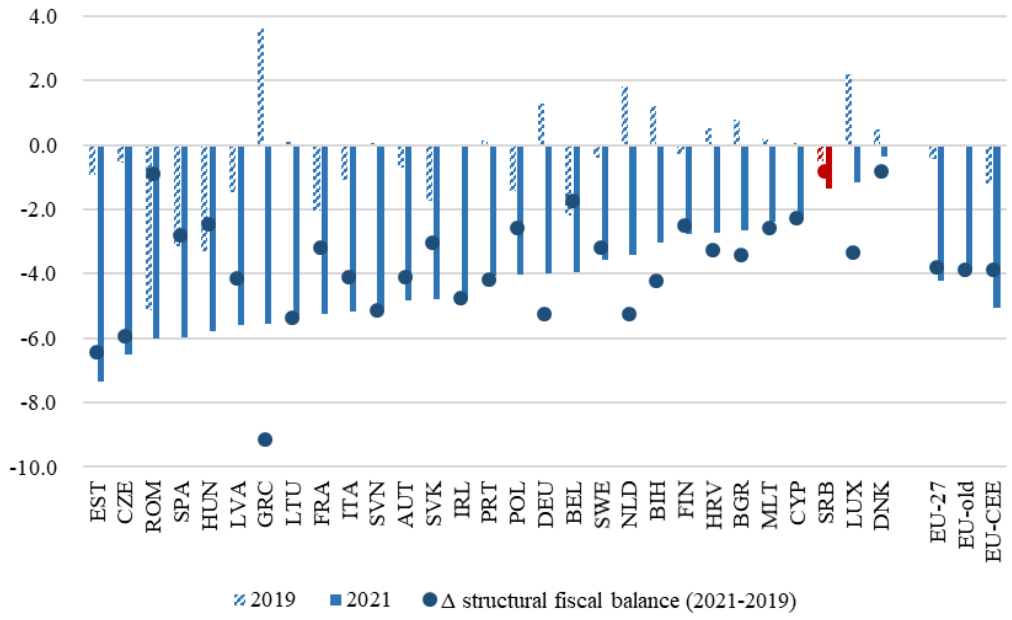


Figure 4: Structural fiscal balance (percent of potential GDP)
Source: Author's calculations based on the IMF WEO data

Results presented in Figure 4 show that during the COVID-19 pandemic, structural fiscal balance deteriorated (i.e. structural fiscal deficit increased) in all European countries. According to the IMF forecasts, the average structural fiscal deficit in Europe in 2021 is expected to outweigh the 2019 structural deficit by 3.7 percent of potential GDP. If the structural fiscal balance in Europe persists at relatively high level in the coming years, it would lead to continuous rise in public debt with adverse impact on sustainability of public finance. The data for Serbia show that structural fiscal deficit rose from -0.5 percent in 2019 to -0.8 percent in 2020 and -1.4 percent of potential GDP in 2021. Rise in the structural fiscal deficit in Serbia was milder than in other European countries and accounted for only a small fraction of the rise in the actual fiscal deficit, which means that *ceteris paribus* fiscal expansion implemented in 2020 and 2021 is not expected to have a long-term negative impact on the dynamics of public debt.

4. CONCLUSION

Outbreak of COVID-19 pandemic and unprecedented disruption in economic activity required strong government reaction in order to mitigate public health and economic losses, associated with the pandemic. In that respect, most of governments opted for extraordinary fiscal (and monetary) interventions, which have

partially offset the negative consequences of the pandemic, in terms of foregone output, employment and general social welfare. However, those fiscal interventions have triggered significant rise in public debt. Empirical studies on the relationship between public debt and economic growth indicate that the link is negative, especially once debt rises beyond sustainable threshold [9]. For the EU member states, the threshold above which public debt has negative impact on economic growth is estimated at around 53 percent of GDP – in the new EU member state and around 80 percent of GDP – in the old EU member states. Before the pandemic, seven European countries have had the public debt higher than 80 percent of GDP, while at the end of the first year of pandemic 12 European countries were facing debt that was above this threshold. This may suggest that after the end of the pandemic, many European countries will be left with high level of public debt, which may be harmful for their long-term economic perspective. The problem could be additionally magnified, considering the fact that in many European countries during the pandemic, structural fiscal deficit also widened substantially. In that respect, it may be expected that the issue of public debt sustainability may get back into focus of theoretical, empirical and policy discussions in the post-pandemic era.

The crisis caused by the COVID-19 pandemic has also triggered considerable rise in public debt of Serbia. Although rise in the public debt of Serbia in 2020 was less pronounced than in most other European countries, level of debt exceeds the above-mentioned threshold, which means that its further increase in the future may trigger harmful consequences for economic growth. Although structural fiscal deficit in Serbia remained relatively modest during pandemic, in order to ensure public finance sustainability and promote growth, in the mid-run Serbia's fiscal policy should be designed to provide the headline fiscal deficit that would imply gradual decline in public debt.

ACKNOWLEDGEMENT

This research is part of the *MICEPRE_EEEM – Macroeconomic implications of COVID-19 and effectivness of policy response in Europe: Empirical evidence and econometric modelling project*, funded by the Fund for Science of the Republic of Serbia.

LITERATURE

[1] Arsić, M. Nojković, A., Mićović, S. & Ranđelović, S. (2012). Strukturni fiskalni deficit i dinamika javnog duga Srbije. Centar za izdavačku delatnost Ekonomskog fakulteta u Beogradu.

[2] Bartik, A. W., Bertrand, M., Cullen, Z. B., Glaeser, E. L., Luca, M., & Stanton, C. T. (2020). How are small businesses adjusting to COVID-19? Early evidence from a survey (No. w26989). National Bureau of Economic Research.

[3] Bornhorst, F., Dobrescu, G., Fedelino, A., Gottschalk, J., & Nakata, T. (2011). When and how to Adjust Beyond the Business Cycle?: A Guide to Structural Fiscal Balances. International Monetary Fund, Fiscal Affairs Department.

[4] Cloyne, J., Ferreira, C., & Surico, P. (2020). Monetary policy when households have debt: new evidence on the transmission mechanism. The Review of Economic Studies, 87(1), 102-129.

[5] European Commission (2021). Taxation trends in the EU. (2021). Brussels.

[6] International Monetary Fund (2020). Annual report 2020. Available at:

[7] Mencinger, J., Aristovnik, A., & Verbic, M. (2014). The impact of growing public debt on economic growth in the European Union. Amfiteatru Economic Journal, 16(35), 403-414.

[8] Mourre, G., Astarita, C., & Princen, S. (2014). Adjusting the budget balance for the business cycle: the EU methodology (No. 536). Directorate General Economic and Financial Affairs (DG ECFIN), European Commission.

[9] Panizza, U., & Presbitero, A. F. (2014). Public debt and economic growth: is there a causal effect?. Journal of Macroeconomics, 41, 21-41.

[10] Ranđelović, S. (2021). Determinants of volatility of economic activity in Europe during the Covid-19 pandemic: Stylized facts. Ekonomika preduzeća, No. 3-4, 231-242.

[11] Saadi-Sedik, T., & Xu, R. (2020). A Vicious Cycle: How Pandemics Lead to Economic Despair and Social Unrest.

[12] Surico, P. & Birkinshaw, J. (2021). The Economics of pandemics. London Business School. Available at: https://www.london.edu/think/the-economics-of-a-pandemic

Geoinformacioni sistemi

Geoinformation systems

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

VAŽNOST KARATA KOD RIZIKA I UGROŽENOSTI OD POPLAVA U NADGLEDANJU PLAVNIH PODRUČJA SRBIJE

THE IMPORTANCE OF FLOOD RISK AND RISK MAPS IN FLOOD AREA MONITORING

RADOJE BANKOVIĆ[1], DRAGOLJUB SEKULOVIĆ[2], MILOŠ BASARIĆ[1],

[1] Vojnogeografski institut „Gerenal Stevan Bošković“, Beograd, Srbija, radojebankovic@yahoo.com, mbasaricbp@gmail.com
[2] Fakultet za informacione tehnologije i inženjerstvo, Univerzitet „Union – Nikola Tesla”, Beograd, Srbija, dragoljub.sekulovic@fpsp.edu.rs

---

Rezime: *Uloga karata ugroženosti od poplava je velika i nepobitna. Njihova izrada predstavlja samo jednu fazu u kompletnom pristupu prikazivanja poplava. Kartografski aspekti su važna pitanja u kartiranju plavnih područja. Moraju biti adekvatni korisniku i pomažu da se osigura, pravilno razumevanje sadržaja karata i prenošenje relevantnih podataka i informacija korisnicima, čime se postižu ciljevi za koje se karte izrađuju. Svrha kartiranja rizika i ugroženosti od poplava je geografska identifikacija i ilustracija prostora različitog nivoa rizika od poplava. Ovo je važno kako bi se prenele složene poruke o poplavama i riziku od poplave. U radu se razmatraju neka ključna pitanjima vezana za izradu i prezentaciju karata rizika i ugroženosti od poplava.*

Ključne reči: *Karte ugroženosti od poplava, karte rizika od poplava, poplave, Srbija.*

Abstract: *The role of of flood risk maps is great and undeniable. Their development represents only one phase in a complete approach to flood representation. Cartographic aspects are important issues in mapping floodplains. They must be user-friendly and help to ensure that the content of the maps is properly understood and that the maps can convey relevant data and information to the users, thus achieving the objectives for which they are created. The purpose of mapping flood risk and vulnerability is the geographical identification and illustration of areas with different levels of flood risk. This is important in order to convey complex messages about floods and flood risk. The paper discusses some key issues related to the development and presentation of flood risk and hazard maps.*

Keywords: Flood hazard maps, Flood risk maps, floods, Serbia.

1. UVOD

Poslednjih nekoliko decenija zabeleženo je povećano interesovanje za proučavanje poplava, njihovih posledica i razvoj mera za smanjenje njihovog uticaja. Karte opasnosti od poplave su dizajnirane da bi ukazale na verovatnoću i/ili veličinu poplava na određenom području i koriste se kao važan alat za donošenje odluka u više svrha, od razvoja infrastrukture do planiranja reagovanja na katastrofe. Do nedavno, karte opasnosti od poplave bile su dostupne samo za nekoliko regiona sveta i sa grubim rezolucijama, zbog visokih podataka i računskih zahteva hidrauličkih modela koji su korišćeni u njihovoj proizvodnji [10]. Analiza i kartiranje potencijalnih rizika od poplava predstavlja najvažniju stručno-naučnu aktivnost u okviru *neinvesticionih mera* zaštite od poplava. Ova mera je usmerena, ne samo u pravcu efikasnog i održivog upravljanja poplavama, već i razvoju opšte svesti o tome da je rizik od plavljenja neizbežan i da poznato načelo „živeti sa poplavama” nije puka fraza, već realan koncept koji mora biti prihvaćen u javnosti. Kartiranje rizika od poplava obuhvata niz aktivnosti: hidrološku analizu velikih voda i izbor projektnih poplavnih talasa; hidrauličku analizu i proračun projektnih kota nivoa; određivanje plavnog područja; procenu rizika; proračun potencijalne štete, odnosno njene očekivane godišnje vrednosti i kartiranje plavnog područja, kao i šteta i rizika [7]. Karte opasnosti od poplave ili rizika mogu poslužiti kao osnova za prostorno planiranje, procenu lokalne opasnosti, planiranje vanrednih situacija, mere tehničke zaštite i podizanje svesti javnosti o riziku. Dobro dizajnirana karta poplava može dovesti do visokog nivoa pažnje i do dodatnih informacija koje korisnici traže. Kao takva, kartografija može igrati važnu ulogu u prenošenju rizika od poplava široj javnosti [8].

Karte poplava same po sebi nisu dovoljne za utvrđivanje i procenu rizika po ljude, imovinu, infrastrukturu i usluge zbog poplave. Jednostavno rečeno, rizik je gotovo nula do minimuma ako je poplavljeni region „prazan“ (tj. nenaseljen, nema svojstva, nema industriju, nema infrastrukturu i nema društveno-ekonomske aktivnosti). Podaci o posmatranju Zemlje visoke prostorne rezolucije (Earth Observation - EO) mogu doprineti stvaranju i ažuriranju karata rizika od poplava na osnovu nekoliko aspekata, uključujući stanovništvo, ekonomski razvoj i kritičnu infrastrukturu, što može poboljšati planiranje ublažavanja poplava u gradu i njegove spremnosti. Tematske karte indeksa rizika i ugroženosti od poplava generisane su analitičkim prostornim modelovanjem koje uzima u obzir područja u kojima se očekuje poplava, morfološke karakteristike terena, socio-ekonomski parametri zasnovani na demografskim podacima i gustinu velikih građevinskih kompleksa. Generisane karte verifikuju se vizuelnim pregledom pomoću 3D karata. Nalazi ilustruju da se područja sa višim rizikom od poplave poklapaju sa područjima velike opasnosti od poplave i socijalnom ugroženošću i izloženošću zgrada [1]. Republika Srbija treba da ima stručno osoblje sposobno za realizaciju projekata i zadatke u vezi sa upravljanjem i sprečavanjem rizika od poplava, a to je velika i značajna akcija, koja bi stvorila značajno nacionalno iskustvo. Kompletna zaštita od poplava ne postoji, ali sa pravilnim pristupom i nacionalnom strategijom moguće je znatno smanjiti posledice štete po njihovu neizbežnu pojavu [14].

2. VAŽNOST KARATA KOD RIZIKA I UGROŽENOSTI OD POPLAVA

Pokušaj da se dođe do standardizovane i zajedničke definicije rizika možda je nedostižan i autori treba da nastave da ga definišu na svoj način. Kao rezultat toga, brojne definicije mogu se naći u literaturi. Na konceptualnom nivou, *rizik* je definisan kao značajan potencijalni neželjeni efekat performansi sistema vodnih resursa ili je predviđena ili očekivana verovatnoća da će niz okolnosti tokom nekih određenih okvira proizvesti neku štetu koja je bitna. Pragmatičniji tretmani na rizik gledaju kao na jednu stranu jednačine, gde se rizik izjednačava sa verovatnoćom kvara ili verovatnoćom opterećenja koje premašuje otpor. Ostali simbolički izrazi poistovećuju rizik sa sumom nesigurnosti i štete ili količnikom opasnosti podeljenim zaštitnim merama [12]. Poplava je opšte privremeno stanje delimičnog ili potpunog plavljenja suvih područja prelivanjem unutrašnjih ili plimnih voda ili neobičnom i brzom akumulacijom, kao i oticanjem vode. Očekuje se da će urbana pluvijalna poplava postati češća kao rezultat urbanizacije i predviđenih efekata klimatskih promena. Ova vrsta poplave može se dogoditi praktično bilo gde i potencijalno može prouzrokovati značajnu štetu i poremećaje u visoko urbanizovanim područjima, gde je gustina zgrada, kritične infrastrukture i stanovništva obično velika [13]. Prema Evropskoj komisiji (2007), poplava se može definisati kao „prirodni fenomen koji rezultira privremenim potapanjem vodom zemlje koja se ne dešava u normalnim uslovima”. One su prirodni događaj i stoga se ne mogu sprečiti i mogu imati ozbiljne posledice kao što su raseljavanje ljudi i šteta po životnu sredinu (Directive 2007/60/EC) [5].

Važnost karata rizika i ugroženosti od poplava u komunikaciji je sve više prepoznata u literaturi. Karte poplava su zbog svog vizuelnog uticaja idealan instrument za informisanje šire javnosti o opasnostima od poplave i jačanje svesti ljudi o riziku. Karte poplava postoje u mnogo različitih oblika, ali generalno je moguće razlikovati karte ugroženosti od poplava i karte rizika od poplava. Dok karte ugroženosti od poplave sadrže informacije o verovatnoći i/ili veličini poplavnog događaja, karte rizika od poplave prikazuju dodatne informacije o njihovim posledicama (npr. ekonomska šteta, broj žrtava itd.). Za označavanje ugroženosti od poplave mogu se koristiti različiti parametri, poput obima poplave, dubine vode, brzine protoka, trajanja i brzine porasta vode. Između ovih parametara, dubina vode je jedan od glavnih faktora od značaja u pogledu štete od poplave (a time i rizika od poplave) [8]. Dobra tematska karta poplava omogućava efikasnu i ciljno orijentisanu komunikaciju rizika od poplave. Međutim, dobro je teško definisati; kada je karta dovoljno dobra? Očigledno je da ovakva karta mora biti lako razumljiva, jasno uređena i propraćena jasnim i jednostavnim objašnjenjima. Ali ostaje pitanje: kako bi karta poplava trebalo da izgleda kako bi ispunila ove potrebe?

Simbologija i boja karte čine glavne komponente percepcije karte. Oni nemaju samo snažan vizuelni uticaj na korisnika karata, takođe predstavljaju većinu tematskih informacija na karti. Naročito boje mogu imati važnu vrednost u kartiranju poplava, pod uslovom da ispunjavaju očekivanja ljudi. Na primer, plave boje su povezane sa vodom. Laike bi zbunilo kada bi se za predstavljanje zona opasnosti od poplave koristile druge boje osim plave (npr. crvena ili narandžasta). Međutim, za karte rizika od poplave upotreba crvenih boja može biti dobar izbor. Kako su uglavnom povezane sa opasnošću, crvene boje predstavljaju bolju zastupljenost informacija o ekonomskoj šteti i/ili broju žrtava. Podstiče se upotreba vrednosti sivih tonova (npr. od svetlog do tamnog, koje predstavljaju kategorije za intenzitet rizika, dubinu vode itd.) [4]. Simboli

na kartama manje su korisni za predstavljanje opasnosti od poplave ili samog rizika, međutim, mogu pružiti važne koristi za identifikaciju i lokalizaciju (npr. lokacija nasipa, mostova, sigurnih područja ili izvanrednih zgrada poput muzeja i crkava).

Izrada karata ugroženosti i rizika od poplava prvenstveno sledi cilj uspostavljanja doslednog predstavljanja opasnosti od poplava i rizika kao podrška odlukama državama i sredstvo za podizanje svesti kod građana u pogledu individualne izloženosti poplavama. U skladu sa principom supsidijarnosti, direktiva o poplavama definiše okvir za izradu karata i poziva se na neke specifične zahteve o parametrima koji se moraju vizualizovati. To se može shvatiti kao važan korak u promeni ka integrisanom upravljanju rizikom od poplave [15]. U poređenju sa tekstualnim prikazima, kartografski prikazi rizika i opasnosti predstavljaju komunikacioni medij koji, kada je odgovarajuće dizajniran, može pobuditi visok stepen interesovanja i može ga tumačiti širok spektar ljudi, a time i s jedne strane za efikasnu komunikaciju informacija a s druge strane kao lako dostupan instrument za informisanje stanovništva o pojedinačnim poplavnim situacijama [3]. Karte poplava na nacionalnom nivou ekstremnih poplavnih događaja mogu pomoći u infrastrukturi i planiranju ublažavanja, kao i pružiti suštinski uvid u *isporuku* pomoći tokom same krize. Ipak, do 2009. godine nije bilo moguće stvoriti takve karte poplava jer potrebni ulazni podaci za modeliranje poplava uglavnom ne postoje u zemljama u razvoju, niti uobičajeni softver za modelovanje može izračunati zone poplava za vrlo velika područja [6]. Ovakve karte moraju biti dostupne pre katastrofe, pa je stoga UN, agencije za pomoć i pojedine države su dužne da se obavežu na *stvaranje* takvih karata. Potrebe za kartama poplava se povećavaju, ne samo zbog globalnog zagrevanja, već i zbog ratova i sukoba u zemljama sveta. Dugoročna prednost i multiplikator smanjenja materijalnih troškova korišćenja karata je u tome što omogućavaju da se izbegne gradnja u poplavnim područjima i ukazuju na područja kojima je potrebna mera ublažavanja [6].

Karte globalne ugroženosti od poplave su važno sredstvo za procenu globalnog rizika od poplave. Koriste se u reosiguranju, velikoj pripremljenosti za poplave i reagovanju u vanrednim situacijama, a mogu se koristiti i kao referentne vrednosti za buduću prognozu poplava ili procenu klimatskih neovisnosti sastavljeni na nacionalnom nivouvu. Ove karte manjih razmera moraju se zatim agregirati u veće jedinice, kao što su kontinenti, da bi se postigla perspektiva velikih razmera. U mnogim zemljama širom sveta takve karte opasnosti od poplava nisu dostupne na nacionalnom nivou. Pored toga, način raspoređivanja karata generisanih različitim metodama izrađenim sa različitim zapažanjima ili drugim podacima može stvoriti značajne nedoslednosti, a rezultirajuće nesigurnosti nisu uvek jasne iz *gotovog proizvoda* [11]. Evropska direktiva o poplavama pominje se kao minimum zahtevi za karte rizika i ugroženosti od poplava: potencijalni obim poplave (za male verovatnoće ili ekstremne događaje, poplave srednje i velike verovatnoće), dubina ili nivo vode, brzina protoka gde je to potrebno. Karte rizika od poplave treba da prikazuju potencijalne štetne posledice povezane sa scenarijima poplava predstavljenim na kartama opasnosti od poplava, izražene u indikativnoj broj potencijalno pogođenih stanovnika, vrsta ekonomske aktivnosti, postrojenja koja mogu prouzrokovati slučajno zagađenje u slučaju poplave i potencijalno pogođena zaštićena područja, poput rezervata prirode. Kartiranje poplava je ključni element upravljanja rizikom od poplava. Direktiva 2007/60/EZ [5]. o proceni i upravljanju rizicima od poplava zahtevaće od država članica da pripreme dve vrste karata (čl. 6):

1. *Karte ugroženosti od poplave*, prikazuju obim i očekivane dubine/nivoe vode poplavljenog područja u tri scenarija, scenariju male verovatnoće ili ekstremnim događajima, u scenariju srednje verovatnoće (makar s povratnim periodom od 100 godina), a po potrebi i visokim scenariom verovatnoće.
2. *Karte rizika od*, takođe će se izrađivati za područja poplavljena prema ovim scenarijima koji prikazuju potencijalno stanovništvo, ekonomske aktivnosti i životnu sredinu u potencijalnom riziku od poplava, kao i druge informacije koje bi države članice mogle smatrati korisnim da uključe, na primer druge izvore zagađenja.

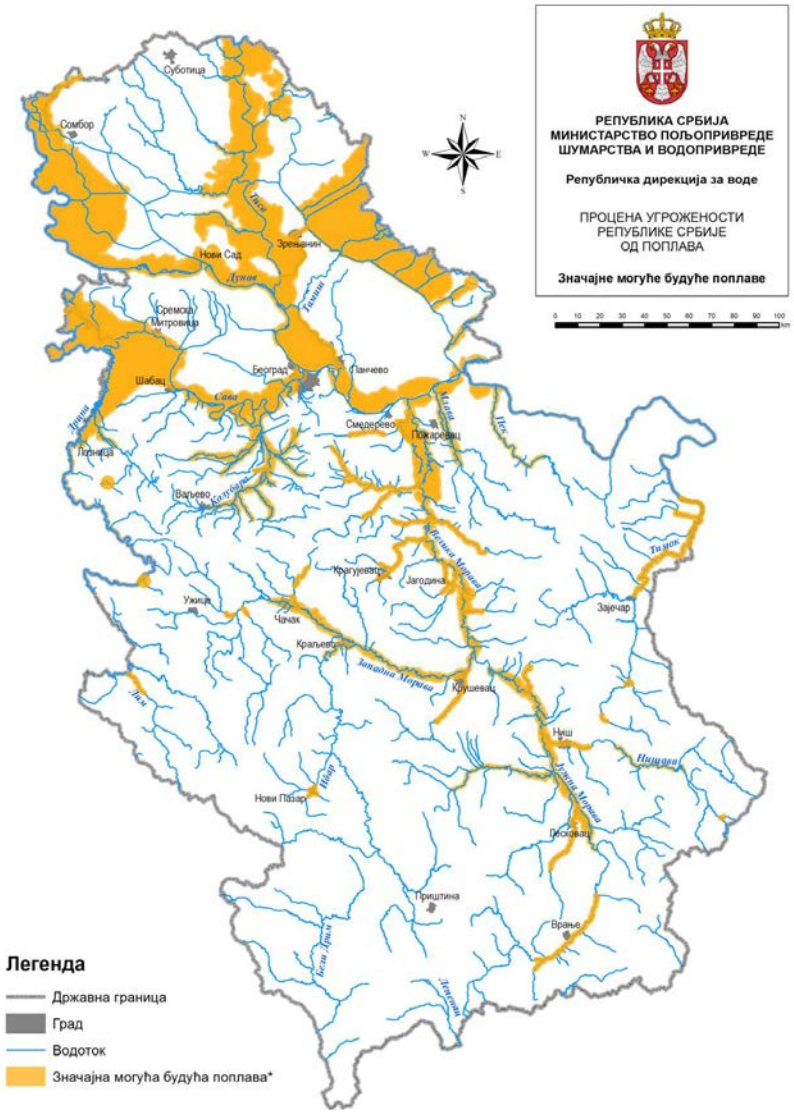
3. KARTIRANJE RIZIKA I UGROŽENOSTI OD POPLAVA U SRBIJI

Uvođenje geoinformacionih tehnologija u kartografiju je dovelo do pojava novih vrsta karata – digitalnih i elektronskih, kao i metoda njihovih upotreba. Došlo je do transformacije kartografskog metoda istraživanja u geoinformacijama i kartografiji, gde su sve precizne operacije (kartometrijske, morfometrijske, analitičke itd.) izvode na digitalnim zapisima objekata, a u bazi podataka i kartografska slika je sredstvo za prikaz rezultata obrada podataka, izvor informacija u procesu vizuelne analize. Formiran je novi praktični pristup izradi karata, što se nazvalo „kartiranje vođeno bazom podataka“ ili „kartiranje zasnovano na bazi podataka“.

Prema podacima Post skrining dokumenta *Životna sredina i klimatske promene*, odredbe Okvirne direktive o vodama i Direktive o poplavama su delimično transponovane u pravni sistem Srbije kroz Zakon o

vodama i podzakonske akte. U ovoj oblasti je značajno pomenuti i Uredbu o utvrđivanju Opšteg plana za odbranu od poplava, Strategiju upravljanja vodama na teritoriji Republike Srbije do 2034. godine [9]. Dosadašnje aktivnosti u oblasti izradi karata ugroženosti od poplava u Srbiji ostale su, još uvek, na nivou pionirskih projekata. Realizacijom planova i stavki akcionog dokumentom IPA projekta na relaciji EU – Republika Srbija očekuje se poboljšanje i razvoj iz ove oblasti, u mnogome će poboljšati kartiranju rizika i ugroženosti od poplava [2]. Državna revizorska institucija (DRI) dala je preporuku nadležnim institucijama da preduzmu sve potrebne aktivnosti i mere za prevenciju poplava koje su sve učestalije u Srbiji, jer je Revizija svrsishodnosti poslovanja koju je ta institucija sprovela pokazala da prevencija u praksi nije propraćena u dovoljnoj meri. Štete od poplava mere se milionima evra, a samo u maju 2014. godine, u 24 najpogođenije opštine, poplave su izazvale štetu oko 1,5 milijardi evra, ukazali su predstavnici DRI. Takođe, naložila je JVP Srbijavode i JVP Vode Vojvodine da izrade i verifikuju karte ugroženosti i karte rizika od poplava za značajna poplavna područja, pripreme planove upravljanja rizicima od poplava na vodnim područjima, unesu podatke o branama u registar vodnih objekata, pokrenu inicijativu za preciziranje procedure prenosa brana na upravljanje javnim vodoprivrednim preduzećima, kako bi bila sprovedena do kraja.

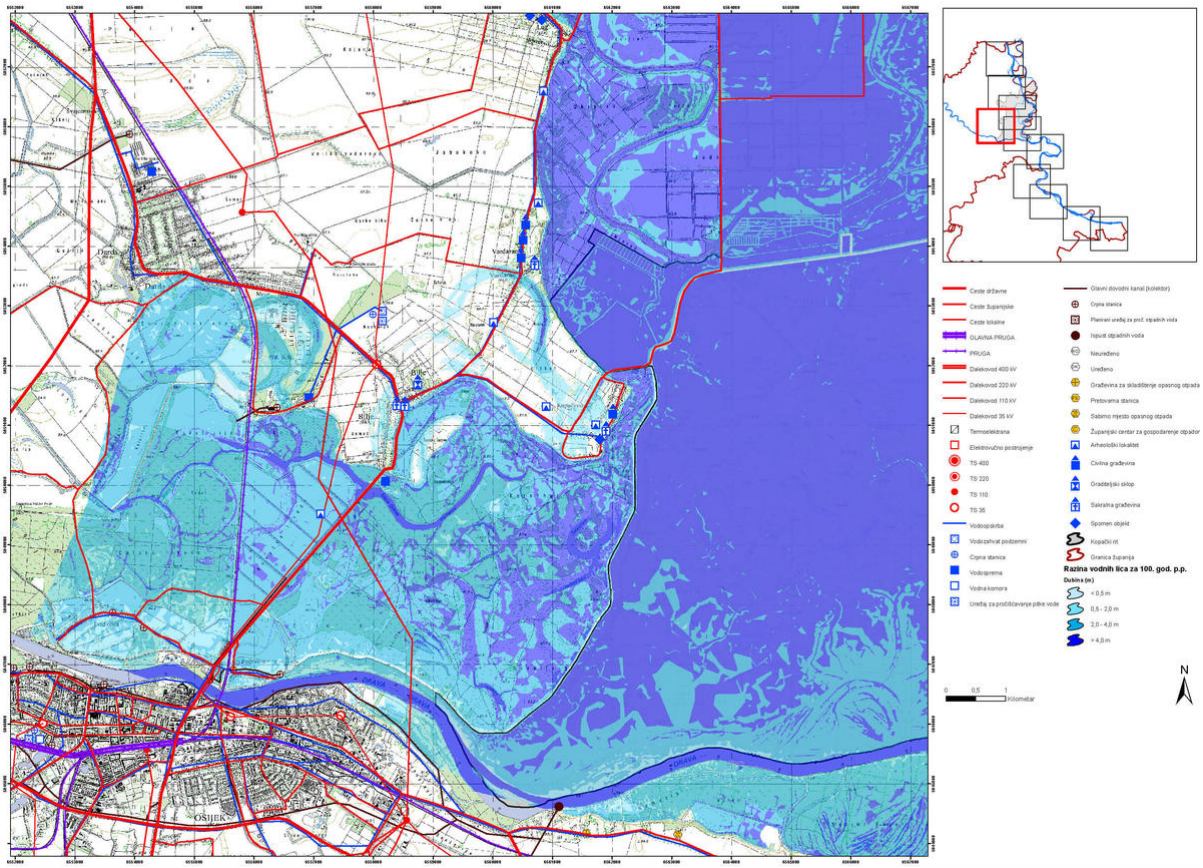
Na slikama 1 i 2, prikazane su tematske karte rizika i ugroženosti od poplava karakteristične za plavno područje Srbije.



Slika 1. Karta značajnih mogućih budućih poplava na području Srbije [16].

Izrada karata poplavne opasnosti i rizika na poplavnom području reke Dunav deo je međudržavnog projekta „Danube Floodrisk Project“ u kome sudeluje 19 institucija iz Austrije, Slovačke, Mađarske,

Rumunije, Bugarske, Italije, Srbije i Hrvatske. Glavni cilj projekta je izrada karata ugroženosti i rizika od poplava, kao i njihova integracija s kartama prostornih planova s ciljem da se omogući potrebna sigurnost u donošenju odluka o razvoju infrastrukturnih projekata na promatranom području (https://www.tempus-projekt.com/).



Slika 2. Moguća plavna područja na Dunavu Između Srbije i Hrvatske [17].

4. ZAKLJUČAK

U savremenom društvu suština kartografije se promenila. Kartografija iz nauke o stvaranju i korišćenju karata postepeno se transformiše u temeljnu nauku o metodama predstavljanja, modelovanja, istraživanja i spoznavanja okolnog prostora. Zbog činjenice da se nauka o kartografiji promenila, promenio se i predmet kartografije, uključujući oblik interakcije sa korisnikom.

Kartografija je usredsređena na prikazivanje i vizuelnu percepciju okolnog prostora kroz kartografsko delo u obliku figurativno-simboličkog metričkog modela. Metrički model figurativnog znaka je karta koja je informativni proizvod i ima niz korisnih svojstava i funkcija. Svrha kartiranja rizika od poplave je geografska identifikacija i ilustracija područja različitog nivoa rizika od poplave. U tom pogledu karte sa tematskim sadržajem poplava moraju biti dizajnirane tako da zadovolje potrebe krajnjeg korisnika. Ovo je važno kako bi se prenele složene poruke o riziku od poplave i poplavama. Karte poplava igraju sve značajniju ulogu u vladinim strategijama za upravljanje rizikom od poplava. One nisu samo instrumenti za komunikaciju i definisanje sa rizicima, već i za njihovo regulisanje i racionalizaciju neizbežnih ograničenja i neuspeha svih kontrola. Gledajući u budućnost tokom narednih decenija, u Srbiji se očekuje da će se kontinuirano širenje gradova smeštenih na rečnim poplavnim ravnicama i priobalnim deltama, a zbog rasta stanovništva i migracija, *proizvesti* značajan porast rizika od poplava.

Karte rizika i ugroženosti od poplave *dizajnirane* su da ukazuju na verovatnoću poplave *iznad svemira* i služe kao kritično sredstvo za donošenje odluka za čitav niz krajnjih korisnika, uključujući programere zgrada/infrastrukture i planere za odgovor na katastrofe. Međutim, takve karte ne postoje za veći deo sveta u razvoju zbog izuzetno visokih tehničkih i računskih zahteva inženjerskih hidrauličkih modela koji se tradicionalno koriste kao početna tačka u njihovoj izradi.

LITERATURA

[1] Armenakis, C., Du, E., Natesan, S., Persad, R., & Zhang, Y. (2017). Flood Risk Assessment in Urban Areas Based on Spatial Analytics and Social Factors. Geosciences, 7(4), 123. doi:10.3390/geosciences7040123.

[2] Basarić, M. & Sekulović, D. (2020). Monitoring voda primenom karata ugroženosti od poplava, Četvrti naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem „Savremeni izazovi u očuvanju voda", Zbornik radova, Univerzitet „Union – Nikola Tesla" u Beogradu, Fakultet za informacione tehnologije i inženjerstvo, Beograd Fakultet za poslovne studije i pravo, Beograd, 75-90.

[3] Cao, Y., Boruff, B. J., & McNeill, I. M. (2016). Is a picture worth a thousand words? Evaluating the effectiveness of maps for delivering wildfire warning information. International Journal of Disaster Risk Reduction, 19, 179–196. doi:10.1016/j.ijdrr.2016.08.012.

[4] De Moel, H., Van Alphen, J. & Aerts, J. C. J. H. (2009) Flood maps in Europe - methods, availability and use. Natural Hazards and Earth System Sciences, No 9**,** 289-301.

[5] European Parliament & Council. Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks. Off. J. Eur. Union 2007, 2007, 27-34.

[6] Hagen, E., & Lu, X. X. (2011). Let us create flood hazard maps for developing countries. Natural Hazards, 58(3), 841–843. doi:10.1007/s11069-011-9750-7.

[7] Jovanović M., Todorović A., Rodić M. (2009). Kartiranje rizika od poplava, Vodoprivreda 0350-0519, 41 (2009) 237-239 pp. 31-45, http://www.vodoprivreda.net/kartiranje-rizika-od-poplava/.

[8] Kellens, W., Vanneuville, W., Ooms, K. & de Maeyer, P. (2009). Communicating flood risk to the public by cartography. In Proceedings of the 24th International cartography Conference, November 2009, Santiago, Chile, 15-21.

[9] Николић Попадић, С. (2020). Правни аспекти управљања ризицима од поплава, Зборник радова, Правни факултет у Нишу, Бр. 86, Год. LIX, 2020, 201-221.

[10] Nogherotto, R., Fantini, A., Raffaele, F., Di Sante, F., Dottori, F., Coppola, E., & Giorgi, F. (2019). An integrated hydrological and hydraulic modelling approach for the flood risk assessment over Po river basin. Natatural Hazards end Earth System Sciences, Discuss, 1-22, doi:10.5194/nhess-2019-356.

[11] Pappenberger, F., Dutra, E., Wetterhall, F., & Cloke, H. L. (2012). Deriving global flood hazard maps of fluvial floods through a physical model cascade. Hydrology and Earth System Sciences, 16(11), 4143–4156. doi:10.5194/hess-16-4143-2012.

[12] Simonovic, P. S., (2009). A new method for spatial and temporal analysis of risk in water resources management. Journal of Hydro informatics, 11(3, 4), 320-329.

[13] Simões, N., Ochoa-Rodríguez, S., Wang, L.-P., Pina, R., Marques, A., Onof, C., & Leitão, J. (2015). Stochastic Urban Pluvial Flood Hazard Maps Based upon a Spatial-Temporal Rainfall Generator. Water, 7(12), 3396–3406. doi:10.3390/w7073396.

[14] Sekulović D., Basarić M., Garić I. (2020). The flood threat mapping of the Kolubara river basin using the Leica ALS80HP laser scanner, International conference on contemporary theory and practice in construction XIV (Stepgard), University of Banja Luka, Banja Luka, 99-112.

[15] Wenk, M., Neuhold, C., & Fuchs, S. (2018). Zielgruppenspezifische Darstellung von Hochwassergefahren und -risiko. Österreichische Wasser- Und Abfallwirtschaft, 70(5-6), 328–340. doi:10.1007/s00506-018-0470-z.

[16] http://prezentacije.mup.gov.rs/svs/HTML/licence/Procena rizika od katastrofa u RS.pdf (10.06.2021.

[17] https://www.tempus-projekt.com/karte-poplavne-opasnosti-i-rizika-na-poplavnom-podrucju-rijeke-dunav/79.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATФ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

АНАЛИЗА ДМТ КРЕИРАНОГ ГЛОБАЛНИМ ИНТЕРПОЛАЦИОНИМ ПОЛИНОМОМ ВИШЕГ РЕДА У ГИС АЛАТИМА

ANALYZED DMT CREATED BY GLOBAL INTERPOLATION POLYNOMIAL OF HIGHER ORDER IN GIS TOOLS

СТАНИСЛАВА БОСИОЧИЋ[1], ЗОРАН СРДИЋ[1], НЕБОЈША БОСИОЧИЋ[2]

[1] АТУСС, одсек Висока грађевинско-геодетска школа, Београд, stanislava98@gmail.com, zoran.m.srdic@gmail.com
[2] nebojsa057@gmail.com

Резиме: *У раду су анализирани ДМТ креирани глобалним интерполационим полиномима вишег реда и поређење са осталим методама интерполације у погледу тачности, као и могућност примене у комерцијалним ГИС софтверима. Анализа је рађена на подручју дела општине Нови Пазар. Резултати су показали да је могућа примене полинома вишег реда у изради ДМТ.*

Кључне речи: *Географски информациони системи (ГИС), ДМТ, полиномска интерполација.*

Abstract*: The paper analyzes DMTs created by global interpolation polynomials of higher order and comparison with other interpolation methods in terms of accuracy, as well as the possibility of application in commercial GIS software. The analysis was done in the area of the municipality of Novi Pazar. The results showed that it is possible to use higher order polynomials in creating DMT.*

Keywords*: Geographical Information Systems (GIS), DMT, polynomial interpolation.*

1. УВОД

Актуелне примене полинома у креирању ДМТ, заступљене су само у области локалних метода и глобално у утврђивању тренда површи. Обе примене, у комерцијалним софтверима, подразумевају полиноме нижег степена. Полиноми као функције интерполације су веома погодни због једноставности, али полиноми већег степена, на крајевима домена, имају велике осцилације у односу на очекиване вредности.

У раду [5] аутори су развили спектрално-аналитички метод примене полинома вишег степена за глобалну интерполацију гридног ДМТ. Метода је поаказала добре перфомансе за елиминисање шума из ДМТ и рачунање морфометријских параметара терена (нагиб, закривљеност, аспект), али није разматрана висинска тачност модела, што је у овом раду истражено.

2. ГЛОБАЛНА ИНТЕРПОЛАЦИЈА ПОЛИНОМОМ

Глобална интерполација полиномом је апроксимативна, детерминистичка метода интерполације која прилагођава функцију апроксимације тачкама са познатим висинама, а заснива се на одређивању површи апроксимације по методи најмањих квадрата. У актуелним применама интерполациони полином степена *n* је облика:

$$P(x,y) = \sum_{i=0}^{n} \sum_{j=0}^{n-i} a_{ij}\, x^i y^j \qquad (1)$$

Најчешће препоручене примене су до трећег степена и представљају:

хоризонтална раван	$z(x,y) = a_{00}$	(2)
коса раван	$z(x,y) = a_{00} + a_{01}\, x + a_{01}\, y$	(3)
квадратна површ	$z(x,y) = a_{00} + a_{10}\, x + a_{01}\, y + a_{20}\, x^2 + a_{11}\, xy + a_{02}\, y^2$	(4)

Резултат глобалне интерполације полиномом је глатка површ која представља постепене трендове површи подручја које се моделира и на којој се уочавају само већи рељефни облици. Као резултат тога, само полиноми ниског степена су се користили и то у тренд анализи површи [3]. Треба имати у виду да је сложенијој површи (полиному већег степена), тешко приписати физички смисао.

Метода је имплементирана у софтвер *ArcGIS*, фирме ESRI и то у екстензији *Geostatistical Analyst* (метода глобалне интерполације полиномом до највише степена 10) и у екстензији *3D Analyst Tools* (метода тренд површи до највише полинома степена 12). Препоручују се за формирање математичке површи терена из узорка тачака када површ терена благо варира између појединих области у подручју од интереса или испитивање или уклањање ефеката глобалног тренда (на пример код кригинга).

У времену од 1960. до 1990. године било је истраживања у примени полинома вишег реда у глобалној апроксимацију ДМТ [7]. Методе примене глобалних апроксимација полиномима, ограничени рачунарски ресурси и перформансе рачунара нису могли да подрже практичне потребе за рад са све већим и сложенијим ДМТ.

Данашње перформансе рачунара и нова сазнања у теорији и пракси апроксимација полиномима Флорински и Панкратов [5] сугеришу да је сада могуће решавати такве проблеме и применити полиноме вишег степена за креирање ДМТ. Облик интерполацијске функције је полином степена *n*:

$$P(x,y) = \sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{n} c_{ij}\, T_i(x) T_j(y) \tag{5}$$

$T_k(x)$ је Чебишевљев полином првог реда степена *k*. Област примене полинома Чебишева је ограничена на сегмент [-1,1], аргументе за интерполацију добићемо линеарним пресликавањем:

$$l(x) = 2\frac{x-a}{b-a} - 1 \tag{6}$$

где су a и b граничне вредности домена координата. Коефицијенти апроксимационе функције се могу добити уобичајено методом најмањих квадрата или израчунавајући коефицијенте уважавајући особину ортогоналности полинома разрађену у поменутом чланку. Такође, је дата и процена највећег степена полинома у односу на број тачака након које долази до великих осцилација и деградације полинома.

3. ЕКСПЕРИМЕНТ

Циљ експеримента је формирање дигиталних модела терена за улазне податке применом Чебишевљевих полинома, анализа тако добијених модела и поређење са резултатима реконструкције површи терена која је рађена методама интерполације имплементираних у стандардни ГИС софтвер (ArcGIS). Експеримент се састоји из три дела.

У првом делу експеримента је формирано више ДМТ методом по моделу (5). За сваки модел су анализирани параметри модела, одступање улазних података од реконструисаног модела, одступање контролних података од реконструисаног модела.

Друга фаза експеримента је формирање модела осталим методама. Формиран је ДМТ методама доступним у софтверу ArcGIS. За сваку методу је требало подесити захтевани број параметара.

Трећа фаза експеримента је упоредна анализа модела, по угледу на приказе из литературе о поређењу метода интерполације [2,4,6] и у овом експерименту урађена је слична упоредна анализа модела.

Тест подручје Нови Пазар

За тест подручје су одабрани подаци за део општине Нови Пазар [1], у области долине реке Рашке, површине 5,125km x 3,525km. Изабрани простор са својим разноликим морфометријским карактеристикама земљишта (нископланински, брдски и равничарски рељеф са долином реке Рашке) омогућава, да се сагледају проблеми који могу да се појаве током генерисања ДМТ применом различитих метода интерполације и да се добије објективна оцена квалитета за развијену нумеричку методу интерполације. Просечни нагиб је 16%, просечна надморска висина је 558 метара. Централни део подручја заузима велика долина надморске висине око 480 метара која је окружена са четири већа узвишења до 730 метара надморске висине.

Коришћени су следећи подаци за тестно подручје: подаци у форми грида од 25m (29252 тачака, распоређене у 206 колона и 142 реда) и подаци у форми грида од 80m (2925 тачака, распоређених у 65 колона и 45 редова). Оба фајла са подацима о положају и висинама тачака одабраног подручја, су добијени интерполацијом од једне јединствене математичке површи терена (подаци добијени стереореституцијом фотограметријских снимака).

За експеримент се као улазни сет података користио фајл са гридом од 25 метара, а за контролу се користио фајл са гридом од 80 метара. Грид од 80m је смакнут за 3m, у односу на грид од 25m, како би тачке из фајлова са смакнутим гридом биле искоришћене као контролни подаци.

Формирање ДМТ на основу глобалне полиномске интерполацијојм и анализа модела

Методом најмањих квадрата су одређени коефицијенти дводимензионалног развоја (5) генерисани ДМТ полиномима степена од 1 до 40. Метода интерполације није егзактна те је урађена и анализа грешке над улазним и контролним подацима за сваки модел.

Табела 1: Параметри интерполације, тестирање улазних и контролних података

Степен полинома	Број коефицијената	Коефицијенти				Улазни подаци						Контролни подаци					
		00	01	10	11	Средње одступање	RMSE	Просечно одступање	Стандардна девијација	Минимално одступање	Максимално одступање	Средње одступање	RMSE	Просечно одступање	Стандардна девијација	Минимално одступање	Максимално одступање
1	4	557,8	15,4	4,0	-27,2	-7E-13	53,33	44,57	29,28	-84,81	154,40	-1,52	52,65	43,927	29,02	-83,16	154,01
2	9	574,2	20,2	-15,8	-27,2	-3E-13	38,68	30,04	24,36	-126,40	144,52	0,16	38,95	30,273	24,50	-102,57	142,84
3	16	574,2	21,4	-0,8	-9,1	-3E-13	31,20	24,20	19,69	-110,74	118,64	1,35	30,44	23,559	19,27	-89,59	117,84
4	25	571,9	18,3	4,7	-9,1	-5E-13	25,23	19,47	16,05	-96,62	118,63	0,84	25,86	19,856	16,56	-96,83	117,63
5	36	571,9	13,3	2,1	-11,3	-5E-13	19,98	14,78	13,44	-103,78	109,88	-0,41	19,73	14,613	13,26	-103,06	78,16
6	49	572,4	15,1	1,0	-11,3	-5E-13	17,59	13,71	11,03	-83,98	77,20	-0,27	17,48	13,642	10,93	-74,99	72,28
7	64	572,4	17,5	-1,4	-15,8	-5E-13	13,89	10,65	8,90	-55,63	70,60	-0,05	13,91	10,663	8,93	-51,01	63,87
8	81	573,4	17,9	-1,3	-15,8	-4E-13	13,07	9,83	8,61	-68,81	68,38	-0,02	13,28	9,915	8,83	-64,21	61,51
9	100	573,4	17,5	-0,2	-15,3	-4E-13	12,07	9,05	7,98	-47,69	67,24	0,00	12,20	9,099	8,12	-41,41	59,16
10	121	573,1	17,0	-0,2	-15,3	-4E-13	10,88	8,10	7,27	-42,55	65,08	0,00	10,97	8,131	7,36	-40,48	56,54
11	144	573,1	17,0	-0,5	-14,7	-4E-13	10,39	7,69	6,99	-41,83	56,52	-0,02	10,47	7,695	7,10	-37,96	50,48
12	169	573,1	17,0	-0,5	-14,7	-3E-13	9,82	7,19	6,68	-47,22	59,98	-0,03	9,87	7,209	6,74	-36,62	54,75
13	196	573,1	17,0	-0,4	-14,4	-3E-13	9,30	6,89	6,25	-41,68	53,23	-0,02	9,37	6,940	6,30	-38,47	48,42
14	225	573,1	17,0	-0,4	-14,4	-5E-13	8,92	6,59	6,01	-40,34	49,04	-0,04	8,95	6,591	6,06	-36,84	44,71
15	256	573,1	16,9	-0,4	-14,5	-5E-13	8,48	6,24	5,74	-39,78	45,64	-0,03	8,44	6,186	5,75	-36,86	41,23
16	289	573,1	17,0	-0,4	-14,5	-4E-13	8,08	5,95	5,46	-40,26	45,38	0,02	8,07	5,942	5,46	-34,50	40,40
17	324	573,1	17,0	-0,4	-14,4	-4E-13	7,53	5,61	5,02	-39,81	40,46	0,01	7,52	5,586	5,03	-35,52	35,23
18	361	573,1	17,0	-0,4	-14,4	-2E-13	7,26	5,40	4,86	-39,42	39,37	-0,03	7,24	5,358	4,87	-35,69	34,52
19	400	573,1	17,0	-0,3	-14,3	-3E-13	6,90	5,16	4,59	-40,96	37,61	-0,03	6,87	5,104	4,59	-32,53	31,94
20	441	573,1	16,9	-0,5	-14,3	-6E-13	6,43	4,77	4,31	-41,98	33,40	-0,04	6,42	4,753	4,32	-27,98	27,89
21	484	573,1	16,9	-0,4	-14,4	-6E-13	6,10	4,49	4,14	-40,92	31,69	-0,03	6,08	4,439	4,16	-26,74	28,28
22	529	573,1	16,9	-0,3	-14,4	-2E-14	5,85	4,30	3,97	-37,68	30,93	-0,03	5,85	4,263	4,01	-25,55	29,31
23	576	573,1	16,9	-0,4	-14,5	-2E-14	5,62	4,09	3,85	-36,18	28,61	-0,01	5,64	4,079	3,90	-25,53	27,13
24	625	573,1	16,9	-0,4	-14,5	-6E-13	5,34	3,88	3,67	-35,45	27,70	-0,01	5,36	3,883	3,70	-24,72	24,23
25	676	573,1	17,0	-0,4	-14,6	-6E-13	5,09	3,72	3,46	-32,18	26,60	-0,03	5,08	3,711	3,46	-23,64	23,32
26	729	573,1	17,1	-0,4	-14,6	-5E-13	4,90	3,59	3,33	-29,83	25,38	-0,03	4,92	3,595	3,36	-23,51	21,27
27	784	573,1	17,1	-0,4	-14,4	-5E-13	4,63	3,40	3,15	-30,33	24,83	-0,02	4,66	3,409	3,18	-23,15	20,85
28	841	573,0	16,9	-0,5	-14,4	-5E-13	4,38	3,22	2,97	-26,53	23,81	-0,01	4,41	3,237	3,00	-23,50	20,90
29	900	573,0	16,9	-0,4	-14,7	-5E-13	4,24	3,09	2,90	-26,52	21,81	-0,01	4,25	3,096	2,92	-21,19	20,28
30	961	573,1	16,9	-0,3	-14,7	-2E-13	4,09	2,97	2,82	-25,68	22,21	-0,01	4,12	2,971	2,86	-21,81	19,22
31	1024	573,1	16,9	-0,2	-14,4	-2E-13	3,96	2,87	2,74	-24,87	20,47	0,00	4,00	2,892	2,77	-20,44	19,02
32	1089	573,2	17,0	-0,3	-14,4	-4E-13	3,77	2,70	2,63	-25,83	20,37	-0,03	3,79	2,704	2,66	-22,47	16,45
33	1156	573,2	17,0	-0,3	-14,5	-4E-13	3,67	2,63	2,56	-25,25	19,38	-0,01	3,71	2,642	2,60	-21,57	18,67
34	1225	573,0	17,0	-0,5	-14,5	-5E-13	3,53	2,54	2,46	-25,44	19,30	0,01	3,56	2,549	2,48	-18,88	15,70
35	1296	573,0	17,0	-0,6	-14,3	-5E-13	3,45	2,48	2,40	-24,82	18,47	-0,04	3,53	2,532	2,46	-19,44	15,13
36	1369	573,3	16,9	-0,4	-14,3	-2E-13	3,29	2,38	2,27	-22,64	17,99	-0,06	3,39	2,456	2,33	-18,49	14,43
37	1444	573,3	16,6	-0,4	-15,1	-2E-13	3,16	2,28	2,19	-21,87	17,59	-0,08	3,38	2,422	2,36	-16,53	13,40
38	1521	573,1	16,7	-0,4	-15,1	-5E-13	3,06	2,20	2,12	-21,14	16,26	-0,03	3,25	2,307	2,28	-16,90	20,47
39	1600	573,1	16,9	-0,3	-14,0	-4E-13	2,93	2,11	2,04	-20,10	16,18	0,02	3,14	2,219	2,22	-17,44	18,06
40	1681	573,3	16,7	-0,5	-14,0	-1E-12	2,82	2,02	1,96	-19,56	15,62	-0,04	3,19	2,181	2,32	-26,40	16,62

Први коефицијент представља приближно просечну висину улазних тачака (око 560 метара). Експеримент је показао да се полиноми вишег степенима боље прилагођавају улазним тачкама. Велика одступања за полиноме нижег степена су очекивана (просечна одступања од 20 до 30 метара,

максималне вредности одступања су око 100 метара) јер они представљају тренд површ. Критична места методе где се јављају највеће грешке су екстремне тачке (врхови) и ивичне области површи.

Повећавањем степена полинома, повећава се способност функције апроксимације да се прилагођава висинама улазних тачака. Вредност RMSE је најнижа за полином степена 39, а онда почиње да расте, (Табела 1) што потврђује и израз за препоручену вредност степена полинома у раду Флоринског и Панкратова [5]. Повећање степена полином показује тренд пада RMSE, али само до полинома степена 39. На основу овога се закључује да је препорука Флоринског и Панкратова [5] о степену полинома горња граница. А с osбзиром да минимално и максимално одступање почиње да расте од полинома степена 38.

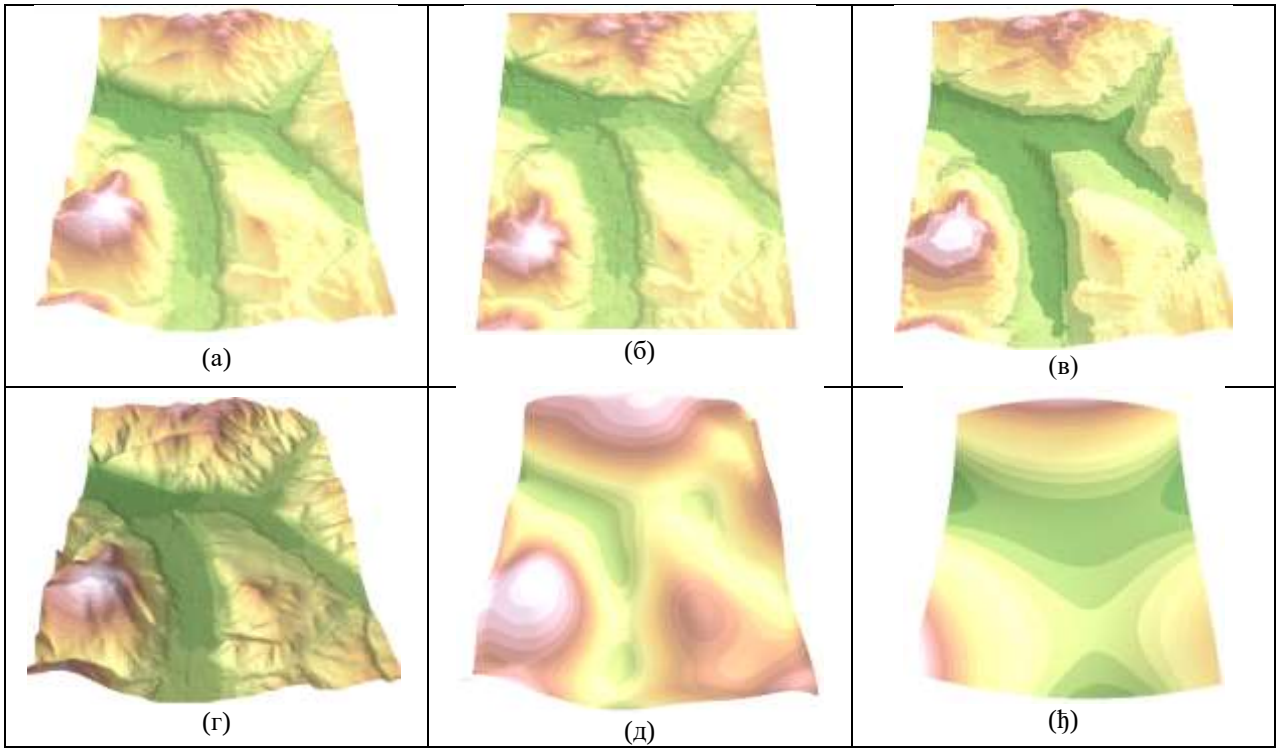
Добијени резултати су показали да математичка површ моделирана Чебишевљевим полиномима добро приказује велике рељефне облике, али се локалне варијације површи не манифестују. Ово доводи у питање потребу повећања степена полинома након одређене вредности. На основу свега изложеног процењено је да полином степен 37 најбоље реконструише површ терена.

Формирање ДМТ применом осталих метода интерполације

Формирани су дигитални модели терена коришћењем метода интерполације имплементираних у оквиру софтверског пакета ArcGIS. Резултати интерполације тих метода су затим упоређени са резултатима интерполације методе предложене у овом раду (Табела 2), упоређивањем вредности RMSE и стандардне девијације. Коришћене су следеће методе интерполације површи: кригинг, сплајн, метода инверзних растојања IDW, TIN, метода глобалне интерполације полиномом и тренд површ.

Упоредна анализа модела

Прво су међусобно упоређени резултати реконструкције површи терена добијени методама доступним у софтверу *ArcGIS,* а затим су упоређени резултати добијени методом интерполације чебишевљевим полиномима и осталим методама интерполације. Резултати су упоређени графички (Слика 1), и табеларно преко статистичких показатеља (Табела 2).



Слика 1: Упоредни перспективни приказ ДМТ грида 25m, креираних коришћењем метода интерполације: (а) кригинг, (б) сплајн, (в) IDW, (г) TIN, (д) глобалне полиномске и (ђ) тренд интерполационе методе

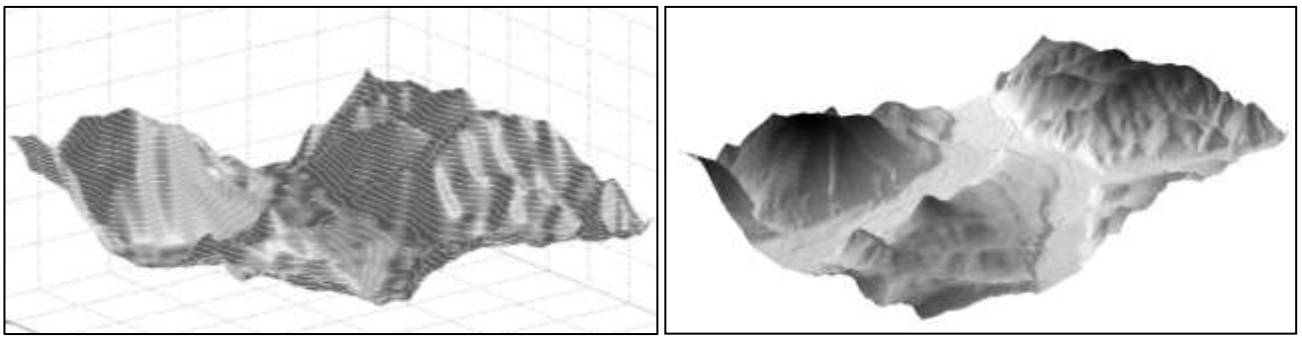
Визуелизација дигиталних модела терена креираних у програму *ArcGIS* је рађена у програму *ArcScene-ArcInfo.* За приказ је коришћена хипсометријска скала са вредностима висина подељеним у 20 класа. На (Слици 1) се може уочити да глобална метода интерполације полиномом и тренд

интерполациона метода дају благо заравњене моделе површи, док се на моделима површи терена добијеним методама кригинг, сплај, IDW и TIN уочава доста детаља и карактеристика рељефа које одговарају стварном облику терена.

Табела 2: Поређење ДМТ генерисаних применом различитих интерполационих метода

МЕТОД	**Максимално одступање** $\max_i \Delta_i$	**Минимално одступање** $\min_i \Delta_i$	**Средње одступање** $\bar{\Delta} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\Delta_i$	**Просечно одступање** $\Delta_p = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\lvert\Delta_i\rvert$	**Средње квадратно одступање** $RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\Delta_i^2}{n-1}}$	**Стандардно одступање** $\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\Delta_i-\bar{\Delta})^2}{n-1}}$
Обични кригинг	5,83	-5,30	-0,04	0,65	0,97	0,98
Регуларизовани сплајн	6,33	-5,40	-0,04	0,64	0,96	0,96
IDW	6,25	-6,46	-0,02	0,78	1,18	1,19
TIN	10	-7	0,007	0,93	1,45	1,47
Глобални полином 3. ст.	117	-127	0,23	28,54	35,95	36,09
Глобални полином 6. ст.	93	-99	0,06	17,05	22,22	22,22
Глобални полином 10. ст.	55	-99	0,13	10,66	13,93	14,08
Тренд површ 3. ст.	121	-153	0,20	32,85	42,35	42,49
Тренд површ 6. ст.	126	-134	-0,21	28,39	35,84	35,84
Тренд површ 12. ст.	126	-133	-0,12	28,38	35,84	36,00
Чебишевљеви пол. 3. ст.	118	-110	1,35	23,56	30,44	30,44
Чебишевљеви пол. 6. ст.	72	-75	-0,27	13,64	17,48	17,48
Чебишевљеви пол. 10. ст.	57	-40	0,00	8,13	10,97	10,97
Чебишевљеви пол. 20. ст.	27	-27	0,00	4,74	6,41	6,41
Чебишевљеви пол. 30. ст.	19	-21,8	-0,19	2,99	4,14	4,14
Чебишевљеви пол. 37. ст.	13,40	-16,53	-0,07	2,42	3,38	3,38
Чебишевљеви пол. 39. ст.	18,06	-17,44	0,016	2,22	3,14	3,14

У (Табели 2) за сваку од метода дати су статистички показатељи добијени поређењем висина контролних тачака и њихових интерполованих вредности. Из (Табеле 2) се може закључити да предложена метода интерполације Чебишевљевим полиномима у односу на методе кригинг, сплајн и TIN даје слабије резултате. На пример RMSE за предложену методу у овом раду (за параметре где је улазни грид 25m, степен полинома 37) је 3,38 метара, за разлику од кригинг, сплајн, IDW и TIN методе где RMSE има вредност око 1 метра. Оно што је свакако уочљиво је да предложена метода, даје много боље резултате од постојећих глобалних метода интерполације примењених у комерцијалним софтверима, тренд методе и глобалне полиномске методе, које имају RMSE 36 метара и 14 метара у најбољем случају.



Слика 2: Упоредни перспективни приказ ДМТ тестног подручја креираних коришћењем методе интерполације Чебишевљевим полиномима 37 степена и TIN методом интерполације (приказ из програма *MATLAB* и *ArcScene-ArcInfo*)

На (Слици 2) је приказано поређење перспективних приказа ДМТ реконструисаних методом интерполације Чебишевљевим полиномима и TIN методом. Може се уочити да метода интерполације полиномима производи глатку површ, али да се за разлику од осталих глобалних метода интерполације поменутих раније, на површи уочавају и неке карактеристике рељефа које одговарају стварном облику терена. Међутим недостаје детаљнији приказ рељефа, који се види на моделима површи (Слика 1) добијених рецимо кригинг, сплајн и другим локалним методама.

4. ЗАКЉУЧАК

Намеће се закључак да је могуће применити полиномску интерполацију полиномима вишег степена на формирање ДМТ. Анализа поређења резултата локалних и глобалних интерполација је показала да локалне интерполације праве моделе са израженијим висинским формама, а да је глобалним интерполацијама могуће добити модел само са израженим основним рељефним облицима. Примена предложене глобалне методе даје модел са много већим висинским варијацијама него што су модели добијени глобалним интерполацијама у комерцијаланим софтверима.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Босиочић, С. (2016). Примена интерполације Чебишевљевим полиномима у обради дигиталних података висинске представе терена, магистарски рад, Грађевински факултет Универзитета у Београду.

[2] Burrough, P. & McDonnell R. (1998): Principles of geographical information systems 2e, Spatial Informations Systems and Geostatistics. Oxford, University Press. (превод Бајат, Б., Благојевић, Д., 2006).

[3] Chorley, R. and Huggett. P. (1965): Trend-surface mapping in geographical research. Trans. Inst. Brit. Geogr. 37:47‑67. doi:10.2307/621689.

[4] Цвијетиновић, Ж. (2005): Развој методологије и технолошких поступака за формирање дигиталног модела терена за територију државе, Докторска дисертација, Грађевински факултет Универзитета у Београду.

[5] Florinsky, I. and Pankratov, A. (2016): A universal spectral analytical method for digital terrain modeling, International Journal of Geographical Information Science 30:12, 2506-2528.

[6] Mitas, L. and Mitasova, H. (1999): Spatial Interpolation. In: P.Longley, M.F. Goodchild, D.J. Maguire, D.W.Rhind (Eds.), Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications , Wiley481-492.

[7] Ягодина Л.Л. (1972): Моделирование поля рельефа с помощью ортогональных полиномов Чебышева. Вестник Ленингр.госуд.ун-та, серия географическая, , № 24, с.136-142.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

PRIMENA GIS - MCDA MODELA ZA IZBOR LOKACIJA KAMERA ZA NADZOR ŠUMSKOG POŽARA

APPLICATION OF GIS - MCDA MODEL FOR SELECTION OF PLACEMENT A WILDFIRE MONITORING CAMERAS

LJUBOMIR GIGOVIĆ[1], DARKO LUKIĆ[1], NENAD GALJAK[1]

[1] Vojna akademija, Beograd, gigoviclj@gmail.com

Rezime: *U ovom istraživanju predstavljen je višefazni GIS-MCDA model za evaluaciju RATEL osmatračkih lokacija kamera na području zapadne Srbije. Predloženi model se zasniva na kombinovanoj primeni Geografskih informacionih sistema (GIS) i višekriterijumskog odlučivanja (MCDM) korišćenjem fazi logike i Analitičkog Hijerarhijskog Procesa (AHP). U prvoj fazi primenom GIS-Fuzzy AHP izrađena je karta hazarda od požara FHI, dok je u drugoj izvršena validacija i konačna selekcija RATEL antenskih stubova za postavljanje kamera.*

Ključne reči: *GIS, hazard, šumski požari, višekriterijumska analiza.*

Abstract: *This research presents a multiphase GIS-MCDA model for the evaluation of RATEL camera locations in western Serbia. The proposed model is based on the combined application of Geographic Information Systems (GIS) and multicriteria decision making (MCDM) using Fuzzy logic and Analytical Hierarchical Process (AHP). In the first phase using GIS-Fuzzy AHP, a map of the FHI fire hazard index was made, while in the second, the validation and final selection of RATEL antenna poles for camera installation was performed.*

Keywords: *GIS, hazard, forest fire, multicriteria analysis.*

1. UVOD

U monitoringu šumskih požara veliki napori se ulažu u rano otkrivanje požara koje se tradicionalno zasniva na ljudskim osmatračima. Razvojem savremenih informacijsko-komunikacijskih tehnologija (ICT) veliki broj država je uveo sisteme automatskog protivpožarnog video nadzora koji se zasniva na daljinskom upravljanju kamerama postavljenim na osmatračke lokacije. U odnosu na tradicionalne metode osmatračke službe, ovakav sistem ima veliki broj tehničkih prednosti. Zemaljski automatski protivpožarni sistemi mogu biti zasnovani na termokamerama (skupa tehnologija) ili na video kamerama osetljivim u vidljivom delu spektra, što je ekonomski prihvatljivo. U cilju punog iskorišćenja ovakvih protivpožarnih sistema potrebno je pravilno definisati njihove osmatračke lokacije.

Geografski informacioni sistemi (GIS), u kombinaciji sa drugim oblicima tehnologije, kao što su daljinska detekcija i kompjutersko modeliranje, se sve više koriste u svim aspektima upravljanja rizika od požara. U ovom istraživanju predstavljena je višefazna varijanta GIS MCDA modela za evaluaciju RATEL osmatračkih lokacija kamera na području zapadne Srbije.

2. METOD I PRIMENA

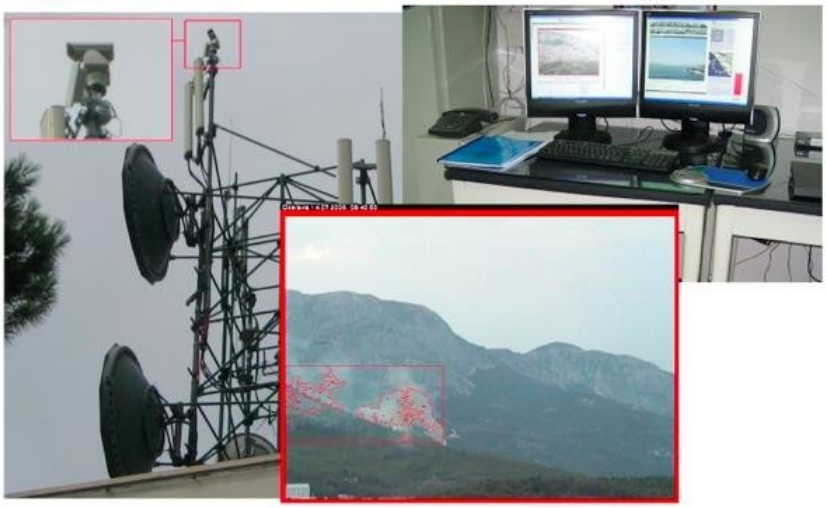
2.1 Primenjena metodologija

Metodološko model u ovom radu zasnovan je na prostornoj GIS-MCDM strukturi [7]. Sa metodološke tačke gledišta, predloženi GIS-MCDM model za izbor lokacija kamera, realizuje se kroz dve faze:

(1) Na osnovu usvojenih kriterijuma, primenom višekriterijumskog modela izračunavaju se težinski koeficijenati kriterijuma evaluacije na osnovu kojih se GIS modelovanjem izrađuje indeksna mapa pogodnosti lokacija za postavljanje šumskih kamera na području zapadne Srbije. Postupak je razvijen uz

pomoć sledećih kriterijuma: korišćenje zemljišta; ekspozicija reljefa; nagib reljefa; nadmorska visina; temperatura vazduha; padavine; distanca od komunikacija; distanca od naseljenih mesta.

(2) Na osnovu rezultata prve faze i dostupne baze RATEL antenskih stubova vrši se validacija lokacija RATEL antenskih stubova za postavljanje nadzornih šumskih kamera na području zapadne Srbije. Korišćeni su sledeći kriterijuma evaluacije: indeksna karta verovatnoće pojave požara; gustina šuma; distanca od naseljenih mesta; distanca od komunikacija; nagib reljefa; nadmorska visina; zakrivljenost reljefa; visina RATEL antenskog stuba.



Slika 1. Osmatrački sistem zasnovan na lokacijama RATEL antenskih stubova

2.2 Prikupljanje podataka i unos u GIS

Unošenjem u GIS, svaki od kriterijuma predstavljen je prostorno definisanim vektorskim ili rasterizovanim mapama, čiji slojevi predstavljaju različite kriterijume koji imaju različite opsege ili skale vrednosti. Za istraživanje prostornih parametara korišćeni su različiti izvori prostornih podataka. Većina njih je globalno i slobodno dostupna:

- Metapodaci pokrivenosti šumom korišćeni su High Resolution Layer: Tree Cover Density (TCD) 2015 rezolucije 20x20 metara, izvora European Environment Agency - copernicus@eea.europa.eu. Pristup podacima zasnovan je na principu punog, otvorenog i slobodnog pristupa koji je utvrđen Uredbom (EU) br. 1159/2013 o Kopernikusu i informacijama od 12. jula 2013. godine [5].
- GIS skupovi podataka korišćenje zemljišta, vodene površine i urbana područja preuzeti su sa besplatne mape CORINE Land Cover (CLC). Ažuriranja su napravljena 2000., 2006., 2012. i 2018. Sastoji se od popisa pokrivača zemljišta u 44 klase. CLC koristi minimalnu jedinicu za mapiranje (MMU) od 25 hektara (ha) za površinske pojave i minimalnu širinu od 100 m za linearne pojave [3].
- Metapodaci prostorne distribucije temperature i padavina dobijene su korišćenjem Kriging interpolacione metode na osnovu georeferencirane mreže meteoroloških stanica sa unetim klimatskim vrednostima za referentni period od 35 godina.
- Podaci o nagibu, aspektu i visini generisani su pomoću algoritama 3D Analyst sadržanih u softveru ArcGis iz digitalnog modela nadmorske visine (DEM) Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Topografski podaci visoke rezolucije generisani iz NASA-ine Shuttle Radar Topographi Mission (SRTM). Podaci dolaze u zipovanim SRTMHGT datotekama u rezoluciji od 1 arcsecond (30 m) u projekciji geografske širine / dužine (EPSG: 4326), preuzete sa NASA servera [4].
- GIS baza RATEL antenskih stubova (Regulatorna agencija za elektronske komunikacije i poštanske usluge).
- OpenStreetMap (OSM) je korišćen za određivanje putne infrastrukture i naselja. Skup podataka za puteve generisan od OSM podataka koje je izradio VFP prema UNSDI-T standardima. Podaci se ažuriraju u gotovo realnom vremenu sa OSM servera i uključuju sva najnovija ažuriranja. Vremenska linija podataka OSM je 2020 [5].

Postupak modelovanja metapodataka u GIS i generisanje mapa kriterijuma urađen je u okviru ArcGIS Desktop 10.6 softverskog paketa firme ESRI.

2.3 GIS-MCDM

U postupku GIS modelovanja obe faze, s obzirom da su podaci različitog formata vrši se standardizacija podataka u jedinicama koje se mogu uporediti [2]. Skupovi podataka su standardizovani primenom Fuzzy koncepta na kontinuiranoj skali u zavisnosti od izabrane funkcije pripadnosti. Za vrednovanje podobnost atributa korišćena je kontiunirana skala u opsegu od 0 do 1, gde je 0 isključiva, a 1 najpogodnija vrednost kriterijuma u odnosu na povoljnost izbora lokacije za kamere. Za standardizaciju je u odnosu na izabranu funkciju članstva za svaki kriterijum korišćen algoritam Fuzzy Membership Spatial Analyst Tools u okviru ArcGIS Desktop 10.6. Korišćene su metode diskretne i kontiuinirane fuzzy standardizacije.

2.4 Izrada mape hazarda od šumskog požara

Za izračunavanje normalizovanih težina kriterijuma u obe faze istraživanja iskorišćena je višekriterijumska tehnika u vidu AHP [8]. Metodološki posmatrano, AHP je višekriterijumska tehnika koja se zasniva na međusobnom poređenju elemenata na datom hijerarhijskom nivou u odnosu na elemente na višem nivou. Na vrhu je cilj, ispod su kriterijumi (podkriterijumi) i na dnu su alternative. AHP zahteva da se prvo međusobno porede kriterijumi i izračunaju njihove relativne težine u odnosu na cilj. Alternative se zatim porede u parovima u odnosu na svaki kriterijum i analognim postupkom određuju se njihove relativne težine u odnosu na kriterijume.

U postupku faze agregacije koristi se Weighted Linear Combination (WLC) integrisana u Spatial analyst tools [7]. Na taj način, množe se težine kriterijuma, dobijenih kao rezultat AHP-a, sa fuzzy skorom ćelija svakog kriterijuma i kao rezultat se generiše konačna mapa agregacije. Na bazi usvojenih kriterijuma, dobijena je mapa koja je predstavljena FHI indeksom u vrednosnom opsegu od 0 do 1.

2.5 Selekcija i validacija lokacija za kamere

Ova faza podrazumeva korišćenje mreže antenskih stubova iz GIS baze RATEL (Regulatorna agencija za elektronske komunikacije i poštanske usluge), sa pretpostavkom da će se isti zbog logične racionalizacije troškova koristiti za postavljanje kamera. Selektuju se samo stubovi koji se nalaze u šumskom području udaljeni 300 m od puteva i 1000 m od naselja. U daljem postupku, vrši se preklapanje preuzetih RATEL georeferenciranih lokacija antenskih stubova sa mapom pogodnosti lokacija za postavljanje šumskih kamera pri čemu je svakoj lokaciji pridruživan podatak (Extract Values to Points) sabran sa težinskim indeksom visine stuba. Na ovaj način tabela stubova je dobila atribut indeksa pogodnosti.

Za konačne lokacije izabrani su RATEL antenski stubovi sa najvišim indeksnim vrednostima u izolovanim područjima poluprečnika od 10 do 20 km. Na osnovu primenjenog modela u području zapadne Srbije selektovano je 179 RATEL lokacija antenskih stubova pogodnih za postavljanje kamere. U posebnoj geobazi podataka, eksportovan je sloj 179 tačkastih lokacija antenskih stubova, sa tabelom atributa (Tabela1).

Tabela 1. Atributi parametara osmatranja u geobazi tačkastih lokacija kamera

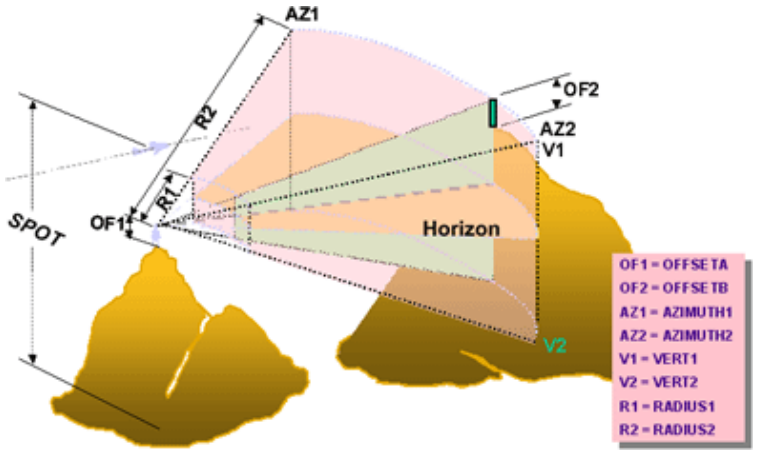
Naziv atributa	Opis atributa
FID	Redni broj u tabeli
SHAPE	Oblik geometrije (Point)
OBJECTID	Redni broj objekta RATEL
VISINA	Visina antenskog stuba
X	X koordinata lokacije u UTM WGS84 projekciji
Y	Y koordinata lokacije u UTM WGS84 projekciji
Z	Nadmorska visina
LATITUDE	Decimalni zapis koordinate geografske širine
LONGITUDE	Decimalni zapis koordinate geografske dužine
OFFSETA	Visina pozicije kamere u odnosu na tlo
OFFSETB	Visina osmatranih tačaka u odnosu na tlo
AZIMUTH1	Početni azimut osmatranja kamere
AZIMUTH2	Krajnji azimut osmatranja kamere
VERT1	Maksimalni verikalni ugao osmatranja kamere
VERT2	Minimalni verikalni ugao osmatranja kamere
RADIUS1	Minimalni radijus osmatranja kamere
RADIUS2	Maksimalni radijus osmatranja kamere
Forest_Area	Površina šumskog područja u dijametru osmatranja km2

Visibility_Area	Površina vidljivog šumskog u dijametru osmatranja km2
Efekat	Procenat vidljivog dela od ukupnog šumskog područja

U sledećem koraku, određuju se zone vidljivosti područja sa 179 izdvojenih lokacija RATEL antenskih stubova na osnovu Digitalnog Modela Terena (DMT) [1]. U analizi su usvojena sledeća topografska i tehnička ograničena kamere (Slika 2):

- Visina pozicije kamere u odnosu na tlo je definisana visinom RATEL antenskih stubova;
- Visina osmatranih tačaka u odnosu na tlo je 0 m;
- Radijus osmatranja: minimalno 0 m, maksimalni 20 km;
- Zona horizontalnog osmatranja je 360º;
- Zona vertikalnog osmatranja je od -90º do 90º.

Napomena: U konačnoj analizi moguće je za svaku tačku uneti posebne topografsko-tehničke uslove snimanja prema odabranom modelu i visini kamere.



Slika 2. Parametri koji se koriste za analizu vidljivosti u ArcGIS-u

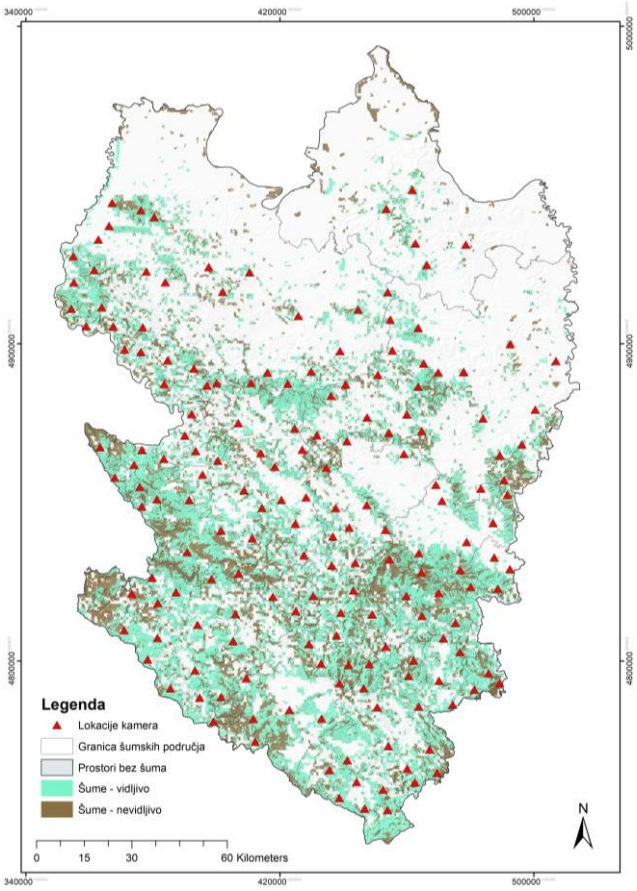
Daljom primenom integrisanog algoritma Visibility Spatial Analyst Tools, generisan je raster za operativno područje zapadne Srbije rezolucije 30x30 metara sa ćelijama vrednosti od 0 do 9. Vrednosti ćelije rastera koje imaju vrednost 0, predstavljaju ćelije rastera koje nisu vidljive ni sa jedne lokacije kamere, dok vrednost od 1 do 9 označava ukupan broj kamera sa kojih se vidi data ćelija rastera. Ekstrakcijom rastera šumskih područja sa rasterom vidljivosti (Extract Mask) generiše se raster vidljivosti šumskog područja sa izdvojenih lokacija.

U cilju validacije, za svaku RATEL lokaciju, u okviru dijametra osmatranja od 20 km izračunate su ukupne površine šumskih područja koje se mogu osmotriti sa lokacije i izračunate su površine njihovih vidljivih delova. Osmatrački potencijali RATEL lokacija su izraženi u procentima efikasnosti (Ef) po formuli:

$$Ef = Visibility_Area / Forest_Area * 100\ (\%).$$

Na osnovu izračunatih (Ef), izvršena je selekcija i eliminacija RATEL lokacija sa procentom efikasnosti ispod 40%. U njihovim zonama osmatranja primenom „peak“ funkcije izabrans su nove „Peak lokacije“ za postavljanje šumskih kamera. Vizuelna provera izbora lokacija je izvršena korišćenjem Google Earth Pro softvera.

Geostatističkom analizom, od ukupno 8.632 km^2 šumskih površina, vidljivo je 4.718 km^2 šumskog područja zapadne Srbije (54,7%). Takođe vidljivo je 45% šuma prve kategorije ugroženosti i 54% gustih šuma. Sastavni deo ovog istraživanja su KML (.kmz) fajlovi sa pozicijama stubova za postavljanje kamera. Rezultatima ove analize treba dodati da su osmatračke stanice za kamere određivane na 1.000 m od urbanih sredina i 300 m od regionalnih i magistralnih komunikacija zbog činjenice da se na tim prostorima usled prisustva ljudi vrlo brzo uočavaju šumski požari. Na takva područja gravitira oko 10% ukupnih šuma u zapadnoj Srbiji.



Slika 3. Mreža lokacija kamera i vidljivost šumskog područja

3. ZAKLJUČAK

Učestalost pojave šumskih požara, uspeh gašenja, i veličina pričinjenih šteta u mnogom zavisi od detaljno proučenih i razrađenih preventivih mera. Optimalnim postavljanjem nadzornih kamera za požare se postiže maksimalno smanjenje rizika od požara ciljanog područja. U radu je prikazan dvofazni GIS-AHP MCDM model s ciljem evaluacije lokacija RATEL stubova za postavljanje nadzornih kamera od šumskog požara. U postupku ponderisanja kriterijuma korišćen je AHP višekriterijumski metod. Mape agregacije su dobijene primenom WLC metode. Konačnom analizom na području zapadne Srbije izdvojeno je 179 RATEL lokacija sa kojih je vidljivo 4.718 km^2 šumskog područja zapadne Srbije (54,7%).

Primenjenim modelom proširuje se teorijski okvir znanja iz oblasti upravljanja rizicima. Postojeću metodologiju moguće je primeniti na područja sa sličnim geografskim karakteristikama. Takođe, prikazani model je moguće unaprediti sa novim i modifikovanim kriterijumima koji u dosadašnjim modelima nisu razmatrani, a koji su od značaja za ovu problematiku.

LITERATURA

[1] Gigović, L. (2010). Digitalni modeli visina i njihova primena u vojnoj analizi terena, Vojnotehnički glasnik, Beograd, LVIII, 2, 165-178.

[2] Gigović, L. Jakovljević, G. Sekulović, D. Regodić, M. (2018). GIS multi-criteria analysis for identifying and mapping forest fire hazard: Nevesinje, Bosnia and Herzegovina Tehnicki Vjesnik, 25 (3), 891-897,

[3] European Environment Agency (2018). Corina Land Cover. http://www.eea.europa.eu/data-and- maps/data/corine-land-cover-2018-raster-1

[4] https://earthdata.nasa.gov

[5] https://www.eea.europa.eu/about-us/who/copernicus-1.

[6] https://www.openstreetmap.org

[7] Malczewski, J. (1999). GIS and Multicriteria Decision Analysis, John Wiley and Sons, New York, 392.

[8] Saaty, T.L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York, 287.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATФ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

ФОТОГРАМЕТРИЈСКО СНИМАЊЕ ПЕЋИНЕ

PHOTOGRAMMETRIC SURVEY OF THE CAVE

ПЕТАР ИВЕТИЋ[1]

[1] Геодетска агенција Гео ПИ, ivetic.petar@gmail.com

Резиме: *Овим радом је представљена примена фотограметријског снимања и резултати при снимању пећине где је врло мало или уопште нема природне светлости. У отежаним условима за рад у односу на уобичајене методе геодетског снимања. Добијени резултати указују да је фотограметијско снимање изводљиво и да добијени 3Д реалми модел и облак тачака велике густине предмета рада имају добру геометријску тачност која може да се употреби за даљу обраду.*

Кључне речи: *Фотограметрија, Фотограметријско снимање, Фотограметријско мерење, Дигитални модел пећине, Дигиталлни модел простора.*

Abstract*: This paper covers presents applying photogrammetric surveying and the results of surveying a cave where there is very little or no natural light, in difficult working conditions compared to conventional methods of geodetic surveying. With this approach of the paper, it was confirmed that photogrammetric recording is feasible and that the obtained 3D realm model and cloud of high-density points of the work object have good geometric accuracy that can be used for further processing.*

Keywords: *Photogrammetry, Photogrammetric recording, Photogrammetric survey, Digital model of caves, Digital model of space*

1. УВОД

Истраживање пећина се скоро увек заснива на коришћењу планова и мапа. Мерење пећина се у већини случајева изводи на начин који се користио и у даљој прошлости, са бусолом, мерном траком, инклинометром и скицом. На овај начин добијају се дужине и правци пећине задовољавајуће тачности за основна проучавања пећина. Остали елементи пећина као што су зидови, избочине, пећински накит и слично бележе се цртањем и фотографисањем са само неколико приступних мерних димензија, који се врло често се и одређују слободном проценом. Поуздани подаци о параметрима као што су подужни и попречни пресек, детаљи пећинског накита и остало, не могу се добити применом уобичајног начина.

Уобичајни начин премера применом поларне методе примењив је са свим својим ограничењима. За њену примену треба велика припрема и пуно радних сати снимања детаљних тачака да би се постигло минимално задовољавајући 3Д модел пећине. Други начин је применом ласерских скенера са којима се добија изузетна геометријска прецизност али колоритет истих тачака није на нивоу фотограметријског снимања. Услови снимања у пећинама су често врло тешки, уски пролази, велика влажност, без природног осветљења и обично је блатњаво дно пећине са најчешће пуно бара са водом. На таква места потребно је доћи са комплетном опремом која углавном није предвиђена за тај начин коришћења (посебно ласерски скенери који су осетљиви и још увек скупи а могућност оштећења велика).

За потребе израде 3Д модела пећине намеће се употреба фотограметријске методе са употребом тоталних станица (пожељно са жироскопом) због прецизног одређивања позиција орјентационих тачака. Могуће је употребити и ручне мераче дужина са уграђеним сензором положаја али подаци добијени на тај начин су дискутабилни, посебно на већим растојањима.

Потреба за добијањем реалног 3Д модела пећине са својом текстуром, за потребе проучавања и праћења садржаја пећине, како геометријске промене тако и у геолошком саставу који се може видети у промени боје, сагледавајући све могућности и потребе, у овом раду је рађено фотограметријско снимање са употребом тоталне станице за одређивање позиције орјентационих

тачака. У претходном периоду урађено је више радова са темом снимање различитих објеката где је утврђено да се могу добити добри подаци за израду изузетно захтевних 3д модела (Иветић 2016).

2. ОРГАНИЗАЦИЈА И ПРИСТУП ПОСЛУ

На основу услова у којима ће се вршити мерење и пожељне тачности модела, први корак је био избор најоптималније опреме. Део пећине која се снима је велики површински, висински и са малим отворима кроз које недовољно продире светлост. То је доста диктирало услове рада, јер је била слаба осветљеност и велика влага. Циљ рада је био да се са једним снимањем прикупе подаци са којима ће се добити 3Д модел простора и текстура изузетног квалитета који ће моћи да се користи за даље потребе.

На самој локацији је одлучено где ће бити постављени кодирани маркери за оријентационе тачке. Због велике влаге папир са кодираним маркерима се савијао и одлепљивао и било је потребно додатно да се обезбеђује да се не би померали. Одређивање координата оријентационих тачака урађено је са слободнопозиционираног инструмента, тоталне станице, са оба положаја дурбина у локалном координатном систему. Све тачке су биле видљиве са једног стајалишта, што омогућава добијање прецизних резултата одређивања позиције оријентационих тачака.

За потреба посла употребљена је теодолит тотална станица Sokkia 530R, инструмент који се доказао у пракси као поуздан у свим условима рада где мерене вредности су тачне и поуздане али морају да се унесу атмосферски услови у инструмент (температура, притисак...). Снимање је извршено вишеструко провереном камером Sony alpha 6000 која је била све време на стативу због боље стабилизације јер је примењена мала брзина експозиције. Објектив на камери је био Sigma жижне даљине 19mm (28mm у размери величине сензора пуног формата).

Највећи проблем је била примена одговарајућег осветљења-блица који ће имати довољну снагу и ширину обухвата као и објектив. Избор је био Godox V1. Са њим су урађена пробна снимања која су испунила очекивања а на терену је у потпуности испунио захтеве. Обрада снимака је урађена у пратећем програму од фотоапарата, Sony Imaging Edge Desktop, који се показао као најбржи и најлакши за коришћење. За израду 3Д модела је коришћен је програм Agisoft Metashape (https://www.agisoft.com/) као најбољи програм са највише могућности.

3. ТОК РАДА

Објекат рада била је Петничка пећина која се налази код села Петница у близини Ваљева. Она је велика по свом пространству, дугачка је око 600m и дели се на два дела Горњу и Доњу пећину. Предмет рада је део Горње пећине, њена најпространија одаја позната као Концертна дворана. Овај део пећине је поприлично велик са добром могућношћу прилаза у самој пећини и због величине простора могла је да се употреби теодолит тотална станица за одређивање позиције орјентационих тачака.



СЛИКА 1: Унутрашњост Велике дворане

Следећи параметри су дефинисани за израду 3Д модела пећине коришћењем фотграметријском методом:

- израђени ДМТ буде идентичан како геометријски тако и текстуре
- могућност мерења позиције сваке тачке, мерења дужина, и површина
- употребљивост модела у различитим програмима без губитка квалитета.

3.1 Припремни радови

На самом почетку урађана је процена простора, потребе и могућности за израду 3Д модела. Постављање пожељан број оријентационих тачака није био могућ због природних препрека. Због тога су кодиране маркере за орјентационе тачке постављени по обиму пећине на висини којој се могло приступити. Постављено је укупно 8. маркера по обиму и на плафону је измерено још 2. тачке без фотосигналисања (Иветић 2016).



Слика 2: Фотосигналисана тачка кодним маркером и нефотосигналисана тачка на плафону

Одређивање позиција оријентационих тачака урађено је са слободно позиционираног инструмента, тоталне станице са једне станице где су се виделе све тачке. Мерење је урађено ласером јер се нису могле мерне маркице лепити на кодиране маркере. То није утицало на тачност одређивања позиције орјентационих тачака.

3.2 Фотограметријско снимање и уређење фотографија

Камера са блицом је постављена на статив који је био приближне висине од 1.2m до 1.5m. Сликање је рађено вертикалним померањен камере за оквирно 5. степени на сваком стајалишти статива са камером, од пода ка плафону, да би био што већи преклоп фотографија. Удаљеност камере од зида пећине је од 1.5m до 2.5m. Снимање сваке фотографије је урађено даљинским окидачен да не би дошло до померања камер.



Слика 3: Фотокамера Sony 6000 са објективом Sigma 19mm и блицем Godox V1

У овим условима није било могуће имати приближну исту удаљеност а самим тим и сличну размеру (размера се одређује односом удаљености између предмета снимања до сензора и жижне даљине објектива камере). Најбољи резултати су постигнути када је објектив био директно под правим углом у правцу објекта снимања јер је била и најкраћа удаљеност од сензора камере. Снимајући више делове, удаљеност је све већа до предмета снимања уједно и размера. Постигнута величина пиксела се кретала у распону од 1mm do 13mm.

Укупно је снимљено 698 снимака, више него што је потребно за обраду, отприлике дупло више од препорученог. Преклоп фотографија је неуједначен, на неким деловима је превелик и избачен је вишак снимака а на неким довољан за процесуирање. Њихов преглед и дорада за потребе уједначавање квалитета урађена је у програму Sony Imaging Edge Desktop као најприступачнијем и најбржем програму.

3.2 Обрада материјала и израда модела

Фограметијски поступак снимљеног материјал и мерених података обрађен је у програму Agisoft Metashape 1.7 (https://www.agisoft.com/). Прва корак је учитавање снимака и контрола квалитета употребљивости за фотограметријски рад. Након тога приступа се рећање и преклапање снимака (Align photos) са истим деловима терена на снимцима. На овај начин се добија прорећени облик тачака са око 515 хиљада тачака, који служи за преглед, контролу и даље кораке.

Модел се може просторно позиционирати ако се зна позиција центра сензора камере или има постављене поентере-маркере на орјентисаним тачкама које су снимљени и њихове теренске координате познате. Како су коришћени кодни маркери њихово позиционирање је директно пронађено коришћењем програма и повезано са унетим теренским координатама.

Услед несавршенства израде сочива у објективу долази да одступања преламања улазног снопа зрака у односу на теоретске вредности. За поправљање резултата и постизање боље тачности ради се оптимизација положаја, поправљају се параметри унутрашње и спољашње орјентације снимака. Из тог разлога су најпожељнији објективи са сталном жижном даљином јер они имају најмања одступања. По завршеном поступку оптимизације може се приступити изради густог облака тачака са разним параметрима обраде. У овом случају постављени су средњи параметри и добијени облак тачака има преко 56 милиона тачака.

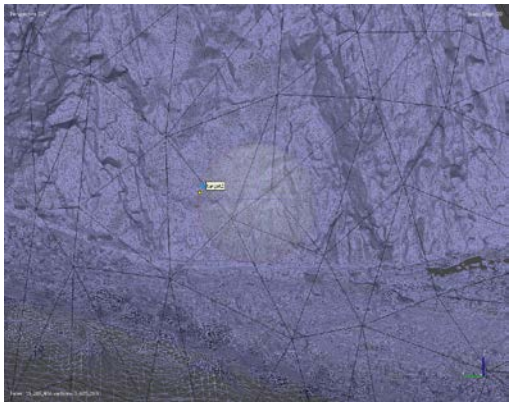


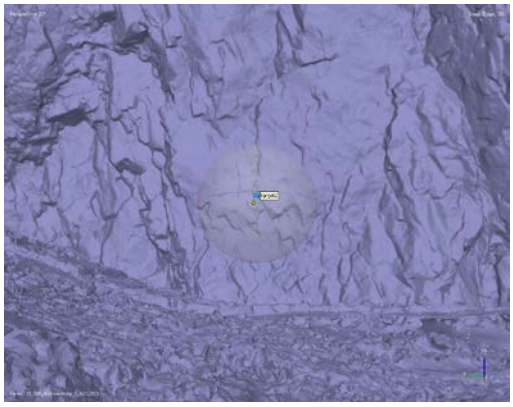
Слика 4: Исти детаљ приказан у прорећеном облаку тачака и густом облаку тачака



Слика 5: Исти детаљ приказана текстура објекта

Следеће у низу израде је жичани, осенчени и површински модел пећине као и текстуре. На основу урађеног облака тачака и наведених модела може се приступити изради дигатлног модела терена-простора који је коначан модел за даље коришћење.

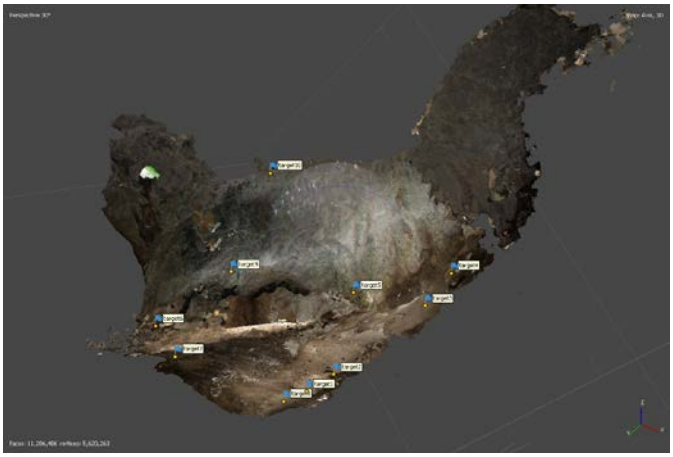




Слика 6: Исти детаљ приказан жичани и осенчани део модела

4. ИЗРАДА МЕРНОГ МОДЕЛА ПЕЋИНЕ

Да би се добио реалан 3Д модел који је употребљив за анализу и било која геометријска мерења потребно је урадити дигитални модел терена. То је последњи корак који се може урадити са различитим параметрима и основама за израду. Процес може да се брзо заврши са нешто слабијом резолуцијом или са малом бољом што знатно дуже траје. Може да се сними у разним форматима записа и приказује, обрађује по захтеву наручиоца или програмских платформи. Може се искористити и за визуализацију у различитим сферама (видео продукција, игрице и слично). Он је у локалном теренском координатном систему.



Слика 7: Дигитални мотел пећине

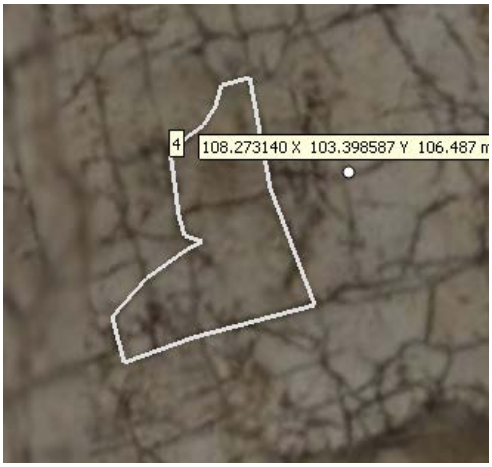
Label	X error (mm)	Y error (mm)	Z error (mm)	Total (mm)	Image (pix)
target2	-3.54193	-0.375723	-3.67853	5.12035	0.265 (41)
target6	0.0761418	1.92804	-0.390806	1.96872	0.017 (1)
target8	-1.48451	1.89027	2.83288	3.71512	0.244 (42)
target3	-2.04173	-0.348776	-2.91163	3.57322	0.483 (36)
target1	-1.2507	0.633034	-0.241088	1.42236	0.256 (39)
target4	2.72858	-2.26904	4.00682	5.3524	0.633 (17)
target5					
target7	5.59029	0.47023	-0.00843954	5.61004	0.522 (9)
target9					
target10					
Total	**2.90773**	**1.37963**	**2.57182**	**4.11977**	**0.372**

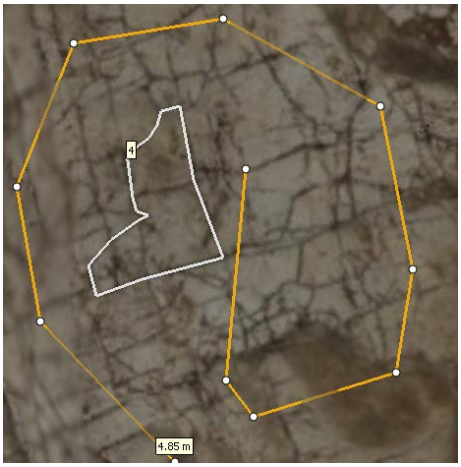
Табела 1: Резултати анализе модела

Из табеле 1. се виде резултати тачности модела, средња грешка је 4mm, што чини модел релевантним. Њих треба прихватити за део где су орјентационе тачке, јер се са повећањем удаљености између њих повећава и грешка. Узимајући у обзир наведено 3Д модел је изузетно добар, прецизан и употребљив.

5. УПОТРЕБА И МЕРЕЊЕ НА 3Д МОДЕЛУ ПЕЋИНЕ

Модел пећине може се употребити за потребе проучаваља и анализе геометрије пећине. Главна предност је добијање реаланог модела са стварним димензијама, облицима до најситнијих детаља видљивих оком. На њему је могуће исцртавати потребне цртеже, тачке које су значајне и све то пребацити и програн који је прикладнији за даљу геометриску обраду. Могуће је цео модел снимити у запис на пример .dwg , .dxf и направити на пример подужне и попречне профиле. Ово је само део могућности а целокупна примена је много већа.





Слика 7: Део могућности мерења директно на моделу

6. ЗАКЉУЧАК

Упоређујући резултате премера пећине уобичајним начином са урађеним 3Д моделом може се видети огромна разлика у тачности, реалном приказу, употребљивости. Добијена прецизност је са стварне тачке коришћења изузетна. Разлике позиција контролних тачкака на обрађеном моделу и мерене вредности на терену истих су у границама од 5mm до 30 mm што је за овакву примену добро.

Овим радом је приказамо да се форограметријско снимање пећина може успешно урадити и користити, без обзира на тешке услове и недостатак светлости. Наведени поступак се може још побољшати са употребом напредније фото опреме.

Може се очекивати у будућности да ће се све више пећина фотограметријски снимати – мерити и правити 3Д моделе јер је могуће њихово проучавање наставити без директног присуства.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Иветић, П. (2016). Употреба блископредметне фотограметрије при снимању објекта „Кула Небојша“ , специјалистички рад, Висока грађевинско-геодетска школа, Београд

[2] Иветић, П. (2020). Примена блископредметне фотограметрије са стандардном опремом за потребе израде топографског плана и дигиталног модела терена градских саобраћајница, завршни мастер рад, Академија техничко-уметничких струковних студија, одсек висока грађевинско-геодетска школа, Београд

[3] http://www.agisoft.com

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

PRIMENA GIS VOJSKE SRBIJE U IZRADI KOMBINOVANE KARTE POKRIVENOSTI I ZAŠTITNOG POTENCIJALA ZONE OPERACIJE

APPLICATION OF THE SERBIAN ARMY GIS IN THE COMPOSING OF A COMBINED MAP OF THE COVER AND CONCEALMENT POTENTIAL OF THE OPERATION ZONE

DARKO LUKIĆ[1], LJUBOMIR GIGOVIĆ[1], NENAD GALJAK[1], IVAN STOJADINOVIĆ[1]

[1] Vojna akademija, Beograd, darko.lukic@va.mod.gov.rs

Rezime: *U radu je prikazan model izrade kombinovane karte pokrivenosti i zaštitnog potencijala prostora zone operacije. Model je izrađen primenom Geografskog informacionog sistema Vojske Srbije (GIS VS) i alata za analizu optičke vidljivosti. Predstavljeni model unapređuje proces operativnog planiranja i obaveštajne pripreme bojišta iz aspekta analize geografskog prostora. Model odlikuje jednostavnost i efikasnost u brzini primene. Dalja istraživanja zahtevaju razradu i upoređivanje rezultata modela sa dopunjenim i modifikovanim prostornim kriterijumima.*

Ključne reči: *GIS, analiza prostora, pokrivenost, zaštitini potencijal.*

Abstract*: The paper presents a model of creating combined maps of coverage and protective potential of spatial zones of operations. The model was created using the Geographic Information System of the Serbian Army (GIS VS) and optical visibility analysis tools. The presented model improves the process of operational planning and methods of intelligence preparation of the battlefield from the aspect of the analysis of geographical space. This model is characterized by simplicity and efficiency and can be used in short notice. Further research requires elaboration and comparison of model results with expanded and modified spatial criteria.*

Keywords: *GIS, Spatial analysis, Concealment, Cover.*

1. UVOD

Analiza geografskog prostora značajna je iz aspekta komandno-štabne delatnosti. Ona čini temelj odlučivanja, planiranja, komandovanja i rukovođenja pri realizaciji zadatka u ratu i miru (Mišović, 1999). Analiza geografskog prostora ima značaj na različitim nivoima odlučivanja, a posebno u procesu operativnog planiranja i obaveštajne pripreme bojišta, kao njenog integralnog dela. Obaveštajna priprema bojišta je analitički metod gde se kroz sistematičan i neprekidan proces analize svih dimenzija operativnog okruženja, protivnika, sintezom dolazi do zaključka o uticaju prostora na protivnika i određivanju verovatnih varijanti angažovanja [1].

U sklopu analize operativnog okruženja vrši se analiza zemljišta koja obuhvata sledeće aspekte:

- Osmatranje i zone dejstva vatre,
- Pokrivenost i zaštita od dejstva vatre,
- Prepreke i prohodnost,
- Ključno zemljište,
- Pravci dovođenja snaga.

Pokrivenost zemljišta predstavlja mogućnost zaštite od osmatranja na osnovu selekcije adekvatog reljefa, vegetacije, meteoroloških pojava i urbanih objekata. Pokrivenost zemljišta može biti stalna i povremena. Stalna pokrivenost zemljišta podrazumeva krupnije geomorfološke oblike reljefa, višegodišnju vegetaciju i naselja. Privremenu pokrivenost čine različito samoniklo bilje i sezonske poljoprivredne kulture. Zaštita od dejstva predstavlja mogućnost zaštite od efekata neposredne, poluposredne i posredne vatre oruđa i oružja korišćenjem adekvatnih oblika reljefa, vegetacije i veštačkih objekata. Prema Priručniku za analizu terena [2] kombinovanom analizom uticaja geografskih činilaca zemljišta određene zone operacije na pokrivenost i zaštitu od dejstva određuju se lako branjeni rejoni, mogući prikriveni pravci dovođenja snaga, rejoni prikupljanja i razmeštaja snaga što čini osnovu za izbor pravaca dovođenja (napada), rejona odbrane i grupisanja snaga.

Vojnogeografske karakteristike činilaca ravničarskog zemljišta, za razliku od brdsko-planinskog pruža manje mogućnosti za zaštitu jedinica od osmatranja i vatrenog dejstva.

U cilju što realnije vizuelizacije zemljišta i njegovog uticaja na operativnog okruženje upotrebljava se geografski informacioni sistem (GIS). U ovom radu prikazan je model izrade kombinovane karte pokrivenosti i zaštitnog potencijala zone operacije upotrebom Geografskog informacionog sistema Vojske Srbije (GIS VS).

2. METODOLOGIJA

GIS softver postao je široko korišćen softver u domenu rešavanja prostornih problema i kartografske vizuelizacije borbenog okruženja. U tom domenu za potrebe Vojske Srbije razvijen je savremeni softver GIS VS kojeg odlikuje funkcionalnost i jednostavnost upotrebe [4].

Međutim kada je reč o metodologiji analize pokrivenosti i zaštitnog potencijala zemljišta postojeće procedure pored detaljnog teorijskog okvira, nisu precizno razradile praktične metode i tehnike u GIS VS [2]. Jasniji format i sadržaj tematskih karti za vizuelizaciju u sklopu analize zemljišta preciziran je u zapadnim uputstvima i procedurama [2]. Takođe, jasno definisanu i kompleksnu metodologiju analize zaštitnog potencijala zemljišta možemo pronaći u radovima više istraživanja pomenutog problema [3].

U ovom radu predložen je model kartografske vizuelizacije pokrivenosti i zaštitnog potencijala prostora zone operacije primenom softvera GIS VS. Predloženi model razrađen je kroz više koraka:

- Korak 1. Izbor geografskog prostora zone operacije,
- Korak 2. Izbor i priprema digitalnog geotopografskog materijala (DGTM),
- Korak 3. Definisanje dominantnih visinskih tačaka za osmatranje,
- Korak 4. Definisanje vrednosti prirodnih i veštačkih slojeva pokrivenosti,
- Korak 5. Geoprocesiranje zona pokrivenosti i zaštinog potencijala prostora,
- Korak 6. Donošenje zaključka na osnovu dobijenih rezultata.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

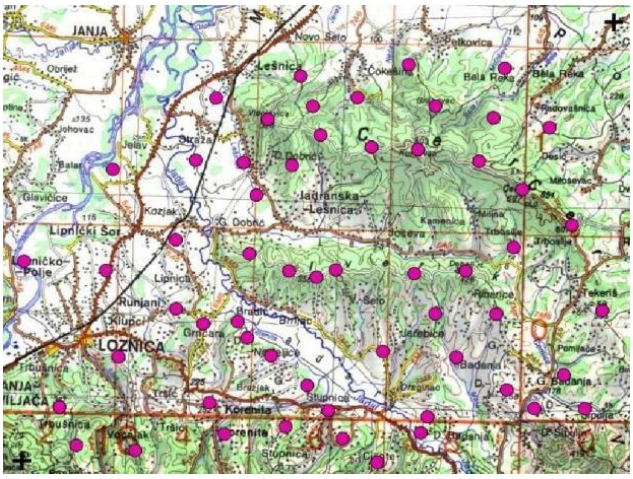
U ovom poglavlju sprovedena je analiza pokrivenosti i zaštitnog potencijala prostora zone opreacije na konkretnom test prostoru. U prvom koraku definisana je zona operacije koja je se nalazi između MGRS koordinata tačaka 34TCQ5594426507 i 34TCQ8493948169. Zona operacije površine 638.7 km² locirana je u Podrinju, delu severozapadne Srbije koji obuhvata neposredni sliv Drine između Lešnice i Loznice, rečna razvođa, planinu Cer i Iverak. U geografskom smislu razlikuju se severozapadna i jugoistočna celina zone operacije. Severozapdani deo je nizijskog reljefa, komunikacijski razvijen gusto naseljen. Dominantna su naselja putno-zbijenog tipa. Jugoistočni deo odlikuje planinsko-brdski reljef ispresecan manjim rečnim tokovima, komunikacijski izolovan i ređe naseljen. Karakterisitčna naselja su dinarskog razbijenog tipa.

U drugom koraku izvršen je izbor DGTM i izvršena je njegova priprema u skladu sa granicama zone operacije [5].

Tabela 1: Korišćeni digitalni geotopografski materijal (DGTM)

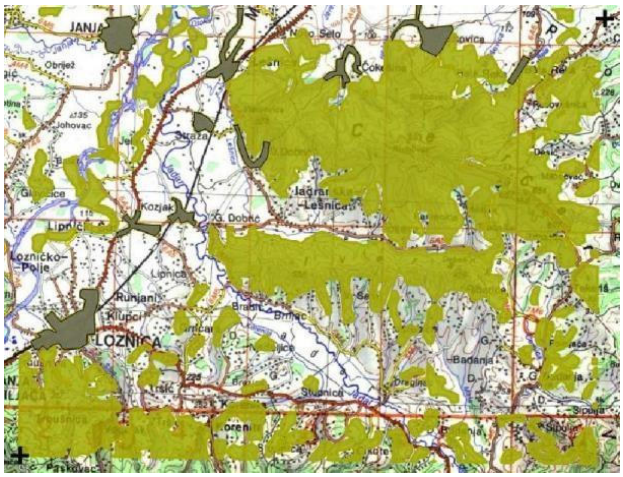
DGTM	Primena	Izvor podataka
Digitalni model terena (DTM) 25m x 25m	Izrada sloja vidljivosti prostora	Vojnogeografski institut, 2006 [8]
Digitalna topografskakarta 200 (DTK200) 1:200.000	Izrada vektorskih slojeva šumske vegetacije i naselja	Vojnogeografski institut, 2003 [7]
	Osnovna mapa za vizuelizaciju prostora	

U trećem koraku definisane su dominantne tačke za osmatranje na osnovu kojih će alat optička vidljivost u GIS VS na osnovu DMT generisati vidljive i nevidljive zone u reljefu prostora [3]. Za analizu izabrane su 58 test lokacije dominatnih tačaka. Za daljinu dogledanja određen je prečnik od 10 km (Slika 1).



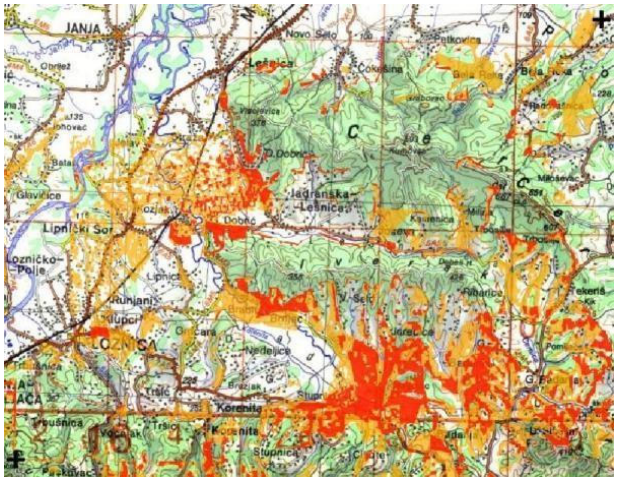
Slika 1: Izbor dominatnih reljefnih tačaka

Četvrti korak podrazumevao je definisanje vektorskog sloja pokrivenosti. Vektorski sloj je geoprocesiran unijom sloja šumske vegetacije i većih naseljenih mesta (Slika 2). U atributskoj tabeli za vegetacijske objekte definisana je prosečna vrednost srednjih šumskih kompleksa od 6 m, dok je za objekte u naselju definisana prosečna visina od 3-5 m.



Slika 2: Definisanje pokrivnog sloja zone operacije

U petom koraku na osnovu definisanih dominantnih tačaka i vektorskog sloja pokrivenosti u alatu za analizu optičke vidljivosti GIS VS izvršeno je geoprocesiranje zone operacije. Pokrivni vektorski sloj je geoprocesiran kao apsolutna vrednost visine u odnosu na visinu DMT. Kao finalni rezultat dobijena je kombinovana karta pokrivenosti i zaštitnog potencijala zone operacije (Slika 3).



Slika 3: Finalna karta pokrivenosti i zaštitnog potencijala

Prostor označen narandžastom bojom (28.7%) vidljiv je sa pojedinih dominantnih reljefnih delova prostora ima nepovoljan pokrivni i zaštitni potencijal. Prostor označen crvenom bojom (8.6%) vidljiv je sa više dominantnih reljefnih delova prostora i poseduje najmanje povoljan pokrivni i zaštitni potencijal i treba ga izbegavati. Transparentano označen prostor (71.3%) je povoljan iz aspekta pokrivenosti i zaštitnog potencijala. Može se zaključiti da je veći deo zone operacije povoljan iz aspekta pokrivenosti i zaštitnog potencijala prostora, što pruža pogodnost napadaču. Nepregledni prostor podudara se sa krupnijim geomorfološkim oblicima rečnih dolina manjih vodotoka, stranama rečnih razvođa, pošumljenim grebenima planinsko-brdskog reljefa i većih naseljenih mesta. Navedeni prosotor pogoduje rejonima prikupljanja i pravcima prilaska gde je moguće ostvariti iznenađenje pri izvođenju različitih borbenih aktivnosti.

4. ZAKLJUČAK

U radu je pokazan model izrade kombinovane karte pokrivenosti i zaštitnog potencijala zone operacije. Primenjeni model prilagođen je mogućnostima GIS VS i standardnim operativnim procedurama. Model odlikuje jednostavnost, funkcionalnost i brzina primene. Rezultati rada unapređuju postojeće procedure operativnog planiranja borbenih i neborbenih operacija Vojske Srbije, kao i primenu u vežbama i nastavno-obrazovnom procesu školovanja i usavršavanja vojnog kadra. Pored navedenih prednosti postoje i određena ograničenja. U analizi zaštitnog potencijala neophodno je uključiti vrednosti zakrivljejnosti reljefa i ekspoziciju terena [6]. Na taj način bi se dobili precizniji rezultati, što je značajno iz aspekta obaveštajne pripremu bojišta manjih taktičkih jedinica. Drugo, na broj i prostorni raspored test lokacija dominantnih tačaka utiču i doktirnarna načela sukobljenih jedinica i njihov stvarni raspored u prostoru, što u ovom radu nije uvaženo. U tom smislu u realnim uslovima za test lokacije osmatračnica biraju se delovi zemljišta na padinama neposredno ispod dominantnih vrhova i grebenova. Definisanje daljine osmatranja zavisiće i od tehničkih mogućnosti savremene opto-elektronske opreme za osmatranje, kao i dnevnih ili noćnih uslova vidljivosti. Ovo otvara prostor za dalja istraživanja gde bi težišno trebalo analizirati i uporediti pokrivenosti i zaštitnog potencijala prostora dobijenog primenom različitih modela analize i prostornih kriterijuma.

LITERATURA

[1] Generalštab Vojske Srbije [GŠ VS]. (2007). Uputstvo za obaveštajnu pripremu bojišta (10-16). Beograd: Ministarstvo odbrane.

[2] Generalštab Vojske Srbije [GŠ VS]. (2012). Priručnik za analizu terena (28-31). Beograd: Ministarstvo odbrane.

[3] Gigović, Lj. (2010). Digitalni modeli visina i njihova primena u vojnoj analizi terena, Vojnotehnički glasnik, Beograd, LVIII, 2, 165-178.

[4] Gigović, Lj., Regodić, M., Lukić, D. (2014). Kombinacija višekriterijumske metode i GIS-a u vojnogeografskoj proceni zaštitnog potencijala prostora. Zbornik radova XLI Simpozijum o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2014), Divčibare, Srbija, 88-94.

[5] Headquarters Department of the Army [HQ DA]. (2003) Army Geospatial Guide for Commanders and Planners TC 5-230, 3 (8-22). Headquarters Department of the Army: Washington DC.

[6] Lukić, D. Gigović, Lj. (2016). Upotreba GIS Vojske Srbije u analizi putne mreže. Zbornik radova, XLIII Simpozijum o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2016), Tara, Republika Srbija, 145-147.

[7] Vojnogeografski institut [VGI]. (2003). Digitalna topografska karta 200 (DTK 200).

[8] Vojnogeografski institut [VGI]. (2006). Digitalni model terena (DMT 25x25m).

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

KARTOGRAFSKA GENERALIZACIJA ZA POTREBE IZRADE ZIDNE KARTE RAZMERE 1:250.000

CARTOGRAPHIC GENERALIZATION FOR WALL MAP PRODUCTION AT SCALE 1:250.000

MARKO STOJANOVIĆ[1], SINIŠA DROBNJAK[1], JASMINA M. JOVANOVIĆ[2], DEJAN ĐORĐEVIĆ[1], RADOJE BANKOVIĆ[1]

[1] Vojnogeografski institut – „general Stevan Bošković“, Beograd, stojanovicm80@yahoo.com, sinisa.drobnjak@vs.rs, dejandjordjevic.vgi@gmail.com, radojebankovic@yahoo.com.
[2] Univerzitet u Beogradu - Geografski fakultet, Studentski trg 3/III, Beograd, jasmina@gef.bg.ac.rs.

Rezime: *Kartografska generalizacija je kreativni proces apstrakcije, koji se koristi prilikom izrade karata. Uključuje proučavanje geografskog okruženja, procenu i obradu geo-podataka u odnosu na vrstu, namenu i razmeru karte. U eri digitalne kartografije veća pažnja se posvećuje automatizaciji procesa generalizacije i razvoju alata za automatsko uopštavanje sadržaja. U ovom radu su objašnjeni modeli i procedure za izradu zidne karte rezmere 1:250.000 (ZK250) na osnovu digitalne topografske karte razmere 1:250.000 (DTK250).*

Ključne reči: *GIS, automatska kartografska generalizacija, DTK250, ZK250, baza geoprostornih podataka.*

Abstract: *Cartographic generalization is a creative process of abstraction, which is used in the maps production. It includes the study of the geographic environment, evaluation and processing of geodata, with regard to type, purpose, and scale of the map. In the era of digital cartography, more attention is being paid to the automatization of the genralization process and developing the tools for the automatic generalization of content. This paper explains the models and procedures for the production of wall map at scale 1:250.000 (WM250) based on digital topographic map at scale 1:250.000 (DTM250).*

Keywords: *GIS, automatic cartographic generalization, DTM250, WM250, geospatial database.*

1. UVOD

Digitalna tehnologija značajno je promenila način izrade, distribucije i upotrebu karata. Za potrebe izrade modela geoprostora razvijeni su geografski informacioni sistemi (GIS) u čijoj osnovi se nalaze baze podataka. U ovim bazama skladišti se velika količina organizovanih prostornih podataka. Modelovanje geoprostornih podataka predstavlja način organizacije podataka u bazi i njihovo prikazivanje, što predstavlja najznačajniju fazu u procesu izrade digitalnih karata. GIS omogućava, na jednostavan način, iskorišćavanje istih podataka u različite namene, ukoliko prikupljeni podaci podržavaju nivo detaljnosti namene željenog prikaza. Tako se npr. baza geoprostornih podataka namenjena za izradu digitalne topografske karte razmere 1:250.000 može iskoristiti za kreiranje baza podataka karata sitnijih razmera ili istih razmera ali različitih namena. Da bi ovakva transformacija bila moguća, neophodno je napraviti model generalizacije sadržaja.

Digitalno okruženje omogućava automatizaciju procesa kartografske generalizacije, koja se sve više razvija, u cilju dobijanja tačnih i ažurnih prostornih informacija putem kvalitetnih kartografskih prikaza. Postupci automatske - digitalne generalizacije predstavljaju skupove algoritama koji se mogu modifikovati parametrima, u odnosu na namenu, tematiku i razmeru karte. Prilikom automatske generalizacije treba izvršiti pravilan izbor podataka iz izvorne baze podataka za kartografski prikaz različite detaljnosti. Odabir kriterijuma, odnosno izbor vrste objekata prema značaju za prikaz, čini osnovu dobre automatske generalizacije. Sistem za generalizaciju podrazumeva generalizaciju izvorne baze prostornih podataka, uz uvažavanje različitih atributa prostornih podataka, kao i adekvatna grafička rešenja pri načinu prikazivanja generalizovnog sadržaja [5].

2. DIGITALNA TOPOGRAFSKA KARTA 1:250.000 IZDANJA VGI

Digitalna topografska karta razmere 1:250.000 (DTK250) je prva karta u Vojnogeografskom institutu (VGI) koja je u potpunosti izrađena po međunarodnim standardima. Osnova ove karte su vektorski podaci, čiji

sadržaj je organizovan po tematskim celinama u centralnoj bazi podataka (CBP). Sadržaj ove karte može se reprodukovati na ekranu računara, distribuirati putem WEB-a, prevoditi u rasterski format ili štampati [1].

Podela na listove, kao i nomenklatura, izvedena je na osnovu podele na listove Međunarodne Karte Sveta (MKS). Teritoriju Republike Srbije pokrivaju dva lista MKS tako da sve DTK250, koje pokrivaju teritoriju Republike Srbije, imaju prefiks NL (severni deo R. Srbije) ili NK (južni deo R. Srbije). Teritoriju Republike Srbije pokriva 17 listova DTK250, a listovi su dimenzija 2° x 1°.

2.1. Elementi sadržaja na DTK250

Elementi sadržaja koji se prikazuju na DTK250 moraju da zadovolje osnovne zahteve koji proizlaze iz namene karte. DTK250 je opšta operativna karta namenjena prvenstveno za planiranje i analize na državnom i međunarodnom nivou.

U procesu izrade DTK250 korišćena je Univerzalna poprečna Merkatorova projekcija (The Universal Transverse Mercator - UTM), odnosno vojna pravougla mreža (Military Grid Reference System - MGRS) i primenjen referentni elipsoid WGS84 (World Geodetic System 1984). Na listovima DTK250 prikazuju se geografska i pravougla koordinatna mreža.

Geografski elementi se prikazuju kartografskim znacima koji po tipu mogu biti tačkasti, linijski, površinski i tekstualni. Geografski elementi koji se daju na DTK250 su:

- hidrografija,
- reljef,
- vegetacija,
- naseljena mesta,
- objekti,
- komunikacije,
- granice i
- geografski nazivi.

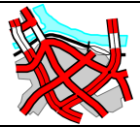
2.2. Modeli podataka na DTK250

Modelovanje geoprostornih podataka, u digitalnoj kartografiji, je najznačajnija faza u procesu izrade karata. Pod kartografskim modelovanjem podrazumeva se način organizacije podataka u vektorskom obliku, tj. oblikovanje i strukturiranje vektorskog sadržaja [2].

Prvi korak integracije podataka je formiranje tzv. konceptualnog modela. Konceptualno modelovanje u suštini predstavlja definisanje svih pojedinačnih elemenata sadržaja koji će se prikazivati na budućoj karti [3]. Rezultat ove faze je spisak elemenata, što predstavlja prvi formalan zapis buduće strukture prostorne baze podataka.

U procesu izrade logičkog modela podataka DTK250, konkretni geografski elementi karte su raslojeni po tematskim celinama. Pojedinačni slučajevi svakog od elemenata sadržaja definisani su šifarskim sistemom, kao jedinstvenim indikatorom pripadnosti odgovarajućoj tematskoj celini, odnosno kao bliže određenje specifičnosti pojedinačne klase objekta. U atributnim tabelama se definiše KOD, sadržaj (naziv elementa), tip (tačka, linija, poligon ili tekst) i pripadnost određenoj temi, čime je svaki elemenat koji se predstavlja na karti jednoznačno i nedvosmisleno određen sa svim svojim atributima. Izgled dela logičkog modela podataka, sa pripadajućom simbologijom, za naseljena mesta prikazan je u Tabeli 1.

Tabela 1: Prikaz dela logičkog modela podataka i simbologije za DTK250 [8]

KOD	Sadržaj	Simbol	Tip elementa	Objektna klasa
A015	Naseljeno mesto preko 500.000 stanovnika		*Shape*	NASELJA_POLIGONI
A02	Naseljeno mesto od 5.000 do 10.000 stanovnika		*Point*	NASELJA_TACKE
A013	Naziv naselja od 50.000 do 100.000 stanovnika	ВАЉЕВО	*Text*	Naselja_polig_anot

Fizičkim modelom podataka definisan je izgled baze podataka, odnosno "prostor" za pohranjivanje elemenata definisanih logičkim modelom podataka. Tipovi podataka, način pohranjivanja podataka, kao i sve kolone koje služe za unos, definisani su pri projektovanju fizičkog modela podataka [8].

Kreiranje simbologije predstavlja skup pravila o prikazu kartografskih znakova - grafičkih simbola za pojave i objekte sadržane na digitalnoj karti, u formi kataloga u digitalnom obliku. Izradi digitalnog topografskog ključa se pristupa posle odabira objekata koje treba prikazati kartografskim znakom. Znaci se kreiraju po zadatim dimenzijama i obliku i smeštaju u biblioteku znakova (digitalni topografski ključ), odakle se mogu pozivati i pozicionirati na tačno određeno mesto.

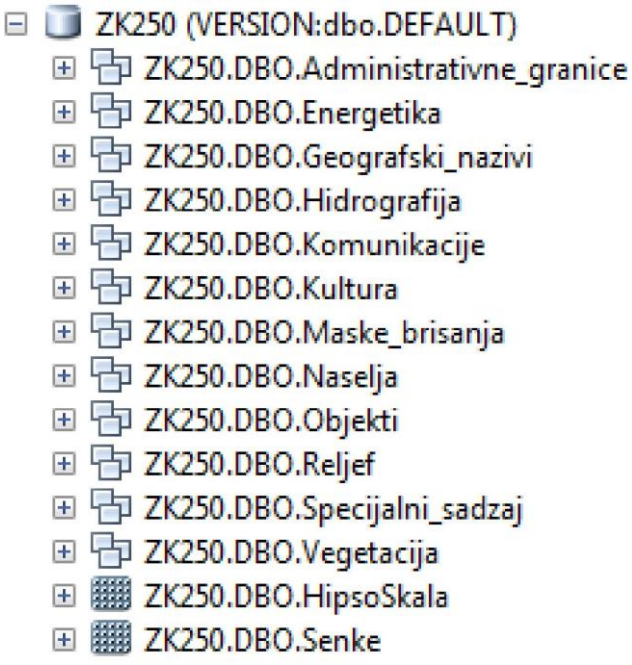
3. DEFINISANJE SADRŽAJA ZIDNE KARTE RAZMERE 1:250.000

Zadaci koji se postavljaju pri izradi karata izvedenih iz već postojećih digitalnih podataka u GIS-u, daleko prevazilaze samo izmenu prikaza, odnosno isključivanje pojednih slojeva. Prilikom modelovanja podataka za izradu ZK250 polaznu osnovu (izvor) predstavlja već obrađeni podatak (DTK250) koji je potrebno prilagoditi novoj nameni. U procesu izrade ZK250 mora se koristiti kartografski metod koji omogućava kvantitativno i kvalitativno predstavljanje što većeg broja elemenata sa DTK250.

Obzirom da je "izlaz" zidne karte isključivo analogni (štampani listovi), te da je namenjena za "čitanje" sa veće udaljenosti, neophodna je izmena (uvećanje) simbologije i geografskih naziva. Nomenklatura i podela na listove nije u skladu sa DTK250, a samim tim ni sa MKS. Teritorija Republike Srbije predstavljena je na 8 listova, dimenzija 2°20′ x 1°10′, a nomenklatura je izvršena rednim brojevima od 1 do 8, od zapada ka istoku i od severa ka jugu. Podela na listove izvršena je zbog lakše organizacije posla i štampe, a konačan proizvod čini komplet od 8 listova koji su spojeni u jednu celinu sa jedinstvenim vanokvirnim sadržajem.

Pri definisanju konceptualnog modela, na osnovu projektnih zahteva, vrši se indentifikacija entiteta, odnosno odabir elemenata iz izvorne baze podataka koji će se nalaziti u bazi podataka za ZK250.

Logički i fizički modeli podataka ZK250 predstavljaju redukovane verzije ovih modela na DTK250. Neophodno je izvršiti značajne izmene na grafičkom prikazu elemenata, tj. na uvećanju simbologije i brojčano slovnih podataka. U okviru tematskih celina (setova podataka) nalaze se objektne klase i klase veza koje bliže definišu pojedine elemente sadržaja karte. Ukupan broj objektnih klasa na ZK250 je 44 koji su podeljeni u 12 tematskih celina, sa još 2 nova rasterska seta za prikaz reljefa. Na DTK250 ima 68 objektnih klasa, takođe raspoređenih u 12 tematskih celina. Prikaz organizacije setova podataka u baze podataka za ZK250 dat je na slici 1.



Slika 1: Izgled baze podataka za ZK250 [9]

4. MODEL KARTOGRAFSKE GENERALIZACIJE SADRŽAJA DTK250 ZA IZRADU ZK250

Kartografska generalizacija se izvodi na osnovu unapred razrađenih kriterijuma. Tradicionalno, kartograf je, pomoću kartografske generalizacije, rešavao svaki elemenat posebno na postojećoj karti kako bi kreirao

novu kartu. Međutim, tokom poslednjih decenija, tehnološki napredak podstakao je razvoj digitalne - automatske kartografske generalizacije kako bi se lako i brzo izvodilo novo kartiranje, a samim tim i smanjio naporan rad kartografa [6].

Definisanje pravila za generalizaciju, odnosno izrada modela generalizacije, predstavlja veliki korak pri sastavljanju sadržaja nove karte. Pravila za generalizaciju koja su korišćenja u klasičnoj kartografiji važe i u ovom slučaju, s tim da kod automatske generalizacije ta pravila moraju biti prevedena u oblik razumljiv korišćenom softveru. Kod definisanja ovih pravila veliku ulogu imaju modeli podataka koji su izrađeni za novu kartu [7]. Kreiranjem redukovane baze podataka, na osnovu baze za DTK250 već je izvršena delimična generalizacija eliminacijom određenih objektnih klasa. U ovoj fazi se izrađuje model generalizacije pojedinačnih elemenata u okviru objektnih klasa.

Stvaranjem modela kartografske generalizacije, može se automatizovati generalizacija onih aspekata koji se mogu numerički interpretirati i izraziti matematičkim oblikom. Model generalizacije se izrađuje u tabelarnom obliku, kao spisak operacija koje je neophodno izvršiti, za svaku objektnu klasu posebno. Implementacija modela nad bazom podataka može biti pojedinačna, po objektnim klasama, ili objedinjena u jedan skript koji će realizovati definisane operacije.

4.1. Primenjeni operatori kartografske generalizacije

Cilj automatizacije u kartografiji, a samim tim i u kartografskoj generalizaciji, je programirano obavljanje koraka od kojih se sastoji proces izrade karte. Pored ubrzanja rada, automatizacijom se izbegavaju radnje koje se ponavljaju, a za koje nije potrebno odlučivanje od strane čoveka. Njom se eliminiše mogućnost pojave grešaka do kojih može doći i optimizuje se proces izrade karata. Problem predstavlja definisanje pravila po kojima bi se generalizacija vršila i njihovo organizovanje u jedinstveni sistem. Izvršene operacije bi trebalo da budu što približnije onima koje bi i čovek obavljao u datom slučaju [4].

U osnovi modela nalazi se algoritamski zapis koji sprovodi neki od operatora generalizacije. Operatori predstavljaju alate za generalizaciju sadržaja. Izborom adekvatnih alata, postavljenih u određeni raspored sprovodi se model automatske generalizacije Prvi korak je uvek odabir (selekcija) elemenata koje je neophodno generalizovati. Selektovanje se može vršiti atributski, na osnovu kodnih oznaka ili na osnovu geometrijske pripadnosti. Ostali koraci zavise od toga šta se želi postići generalizacijom, te se upotrebljavaju adekvatni alati tj. operatori.

Operatorima kartografske generalizacije izvršava se određena radnja nad elementima karte. Svaki operator definiše transformaciju koja se može primeniti na jedan ili na grupu prostornih objekata. Neki su namenjeni samo za jedan tip podataka (tačka, linija, poligon i tekst), a neki za dva ili više.

Za uspešnu kartografsku generalizaciju važan je izbor relevantnih operatora kao i njihov međusobni raspored. Jedan isti operator će, u zavisnosti od mesta gde se izvršava, na različite načine generalizovati određeni sadržaj. Takođe, određeni operator može rešiti neki konflikt koji se nakon izvršenja ostalih operatora može ponovo pojaviti.

4.2. Dorada automatski generalisanog sadržaja

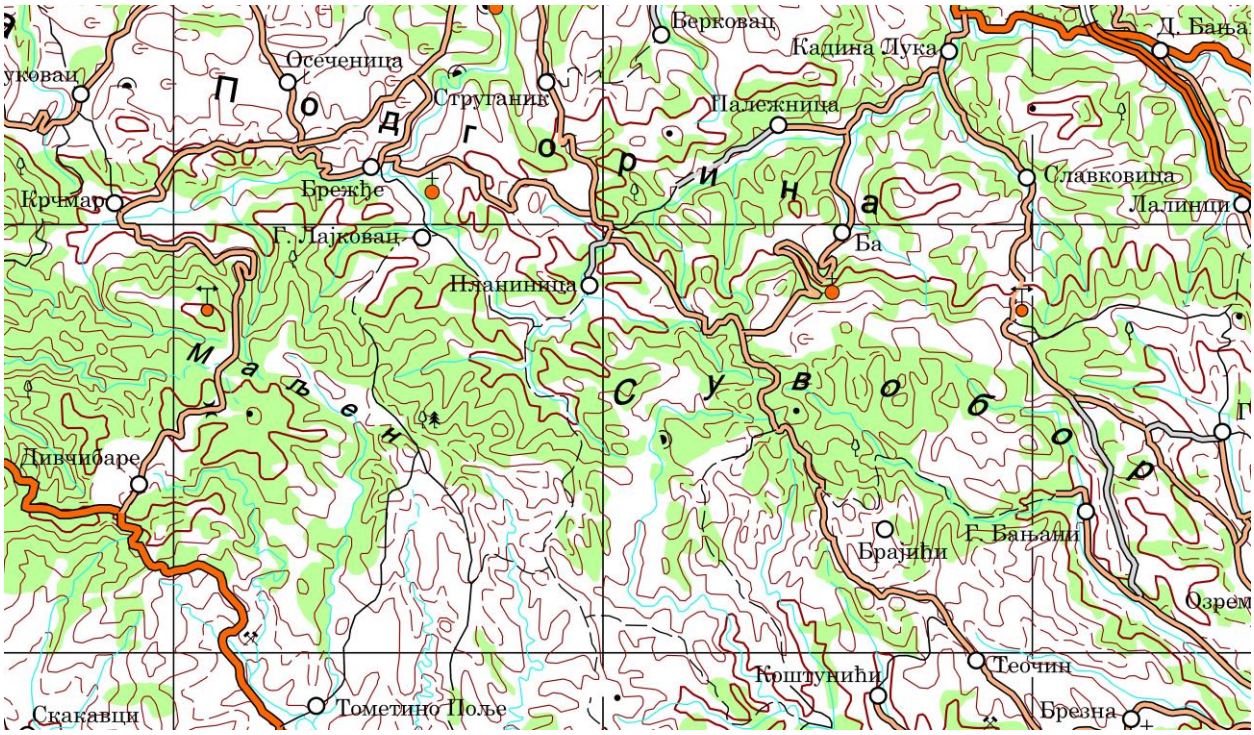
Iako su savremene tendecije u oblasti geoprostornih podataka bazirane na automatizaciji proizvodnih procesa geotopografskih materijala, do sada, niko u svetu nije uspeo da potpuno automatizuje ceo proces generalizacije. Prilikom automatske generalizacije nailazi se na problem neisplativosti pravljenja modela i skripti. Neki od takvih modela bi bili isuviše komplikovani, a skoro da je nemoguće unapred predvideti sve varijante međusobnih odnosa elemenata koji se prikazuju, uz očuvanje standarda kvaliteta konačnog proizvoda. Ključna stvar je pronaći kompromis, tj. napraviti jasnu granicu između elemenata koji se automatski ili ručno generalizuju [7].

Dorada automatski generalisanog sadržaja podrazumeva brisanje (potpuno ili delimično), pozicioniranje i podešavanje pojedinačnih elementa. Potpuno se brišu manje značajne komunikacije, nazivi manjih naseljenih mesta ili manji vodotokovi, ukoliko utiču na preglednost sadržaja buduće karte. Delimično brisanje podrazumeva "zaklanjanje" dela pojedinačnih elemenata, upotrebom maski brisanja. Maske brisanja se iscrtavaju za svaku boju posebno (crna, plava ili crvena) na mestima gde nije moguće izbeći "konflikt" na drugi način.

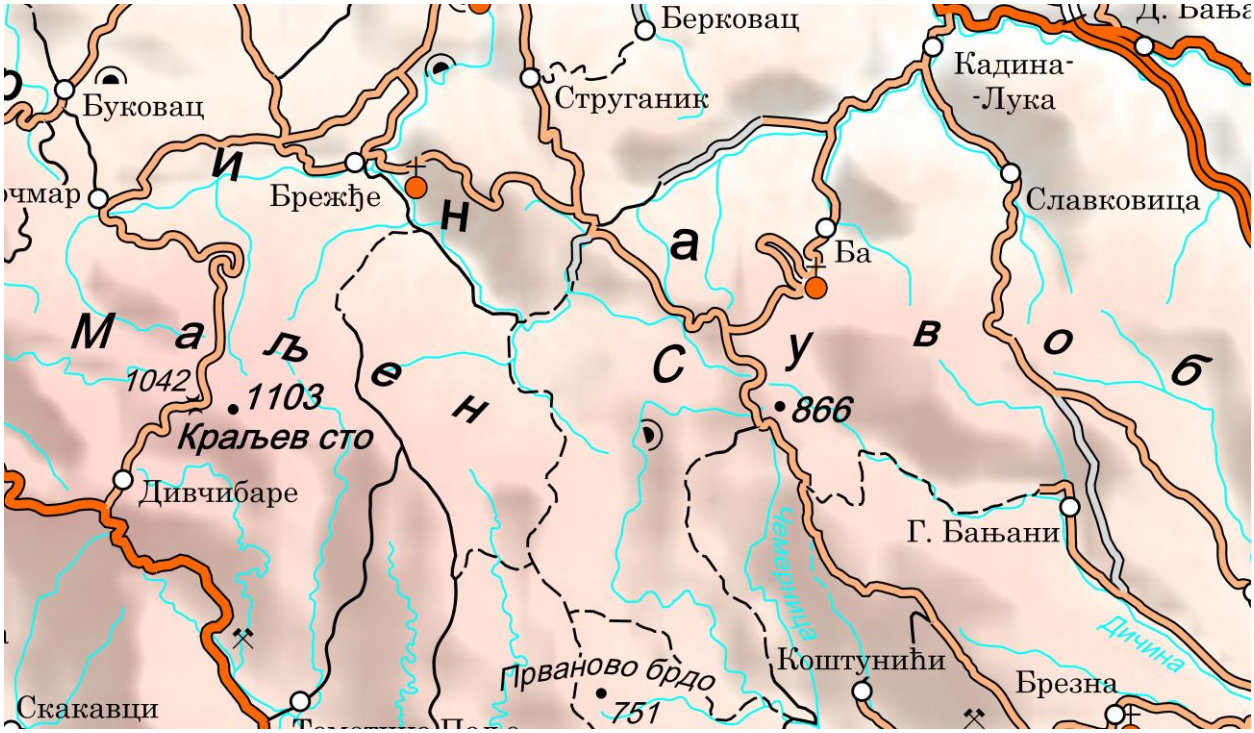
Prilikom izrade ZK250, na osnovu DTK250, najteže je sprovesti proces automatske generalizacije na geografskim nazivima, prevashodno oronimima i horonimima. Ovi elementi se predstavljaju tekstualno, veličinom fonta koja je unapred definisana u zavisnosti od veličine objekta kojeg predstavljaju. Na DTK250 postoje situacije da se jedan objekat prostire na dva, pa i više listova. U ovom slučaju, naziv tog objekta se postavlja na svakom listu posebno, a veličina fonta i pozicija mu se definiše u zavisnosti od veličine objekta

samo za dati list. Na ZK250 to nije slučaj, zato što je konačni proizvod štapani komplet listova i geografski nazivi moraju biti jedinstveni za celu teritoriju predstavljanja. Nakon određivanja veličine pojedničanog elementa, vrši se njegovo pozicioniranje prema pravcu prostiranja, uz mogućnost promene proreda između slova/reči i zakrivljenosti.

Iako su geografski nazivi jedini elemenat koji se kompletno "ručno" generalizuje, u ovoj fazi se pregleda i ostali sadržaj i vrše korekcije pred izradu Originala izdavačke korekture (OIK). Iscrtavaju se sve potrebne maske brisanja i brišu suvišni elementi, koji su propušteni prilikom automatske generalizacije. Na slikama 2. i 3. prikazano je isto područje na DTK250 i na ZK250, radi upoređenja prikaza sadržaja.



Slika 2: Prikaz dela sadžaja na DTK250 [9]



Slika 3: Prikaz dela sadžaja na ZK250 [9]

5. ZAKLJUČAK

Razvojem računarske tehnologije i uvođenjem geografskih informacionih sistema, kartografija je nastavila da se usavršava, a sada se vrši generalizacija digitalnih sadržaja koji se nalaze u bazama podataka. Ovakve baze podataka omogućavaju da se, na jednostavan način uz pomoć generalizacije, na osnovu istih podataka dobijaju digitalne karte različitih namena i razmera.

Ovim radom definisani su standardi, procedure i potreban nivo dorade za razvoj baze geoprostornih podataka i štampu ZK250, dobijene od postojeće DTK250. Baza podataka ZK250 je projektovana kao otvoren sistem, tako da su mogućnosti njenog proširenja ili redukcije neograničene. Podržava eventualno dodavanje novih tematskih slojeva, objektnih klasa, tabela i atributa u tabelama, u zavisnosti od potreba i zahteva. Iako je konačni proizvod ZK250 štampana verzija, ova karta se može distribuirati putem WEB servisa kao interaktivna pregledno topografska karta.

Na osnovu stečenih iskustava u radu i analize dobijenih rezultata, mogu se izneti značajna zapažanja: ubrazana izrada potpuno novog proizvoda, smanjena mogućnost ljudske greške u generisanju podataka i njihovom grafičkom prikazivanju, smanjena cena izrade uz očuvanje kvaliteta, smanjena mogućnost proizvoljnosti i nedoslednosti u radu, itd.

Vojnogeografski institut prati trendove kako u naučnim, tako i u oblastima razvoja informatičkih i komunikacionih tehnologija. Takođe, proizvođači softvera permanentno "izbacuju" nove dodatke tj. alate pomoću kojih se proces rada značajno ubrzava. Na osnovu toga, realno je očekivati da će se u bliskoj budućnosti proces izrade novih kartografskih proizvoda u VGI, metodama kartografske generalizacije, u većoj meri automatizovati, prvenstveno definisanjem standardnih softverskih modela za određne vrste karata.

LITERATURA

[1] Banković R., Tatomirović S. (2007): Topografska karta 1:250.000 - prva karta po NATO standardu izrađena u Vojsci Srbije. U: Zbornik radova - Naučni skup "Odbrambene tehnologije u funkciji mira - OTEX". Beograd: Vojnotehnički institut.

[2] Borisov, M. (2004): Model i organizacija geoprostornih podataka za razmeru 1:50.000. Doktorska disertacija. Beograd: Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet.

[3] Drobnjak, S. (2016). Ocena kvaliteta digitalnih topografskih karata. Doktorska disertacija. Beograd: Građevinski fakultet.

[4] Đorđević, M. (2016). Primena GIS-a u kartografskoj generalizaciji kategorijskih karata. Doktorska disertacija. Novi Sad: Prirodno-matematički fakultet.

[5] Jovanović, M. J. (2017). Kartografija i internet. U: Zbornik radova, str. 289-295. Banja Luka: Prirodno-matematički fakultet.

[6] Klipelainem, T. (2000). Maintenance of Multiple Representation Databases for Topographic Data. In: The Cartografic Jouranl, Vol. 37, pp. 101-107.

[7] Stojanović, M. (2018). Kartografska generalizacija pri izradi digitalnih topografskih karata. Master rad. Beograd: Geografski fakultet.

[8] VGI (2020): Uputstvo za izvođenje radova na digitalnoj topografskoj karti Republike Srbije razmera 1:250.000. Beograd: Vojnogeografski institut.

[9] VGI (2021): Digitalna topografska karta 1:250.000 i dokumentacioni materijal VGI za izradu Zidne karte 1:250.000. Beograd: Vojnogeografski institut.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

PRAĆENJE VREMENSKIH POJAVA NA OSNOVU SATELITSKIH SNIMANJA

MONITORING OF TIME PHENOMENA BASED ON SATELLITE OBSERVATION

MIROSLAV VUJASINOVIĆ[1], MIODRAG REGODIĆ [1], MILORAD ČIČIĆ[1]

[1]Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, miroslav.vujasinović@aggf.unibl.org, miodrag.regodic@aggf.unibl.org, mcicic95@gmail.com

Rezime: *Geoprostorni podaci se prikupljaju različitim terestričkim metodama, daljinskom detekcijom, fotogrametrijskim snimanjem ili drugim metodama. Polarni sateliti imaju veliki broj senzora za snimanje različitih dijelova spektra, pa se dobijaju podaci o vertikalnom profilu temperature i vlage u atmosferi i kretanju oblaka. Ovi podaci su značajni za otkrivanje promjena i praćenje stanja u dijelovima Zemlje gdje nema redovnih mjerenja atmosfere pri tlu i u visinama (okeani, pustinje, nenastanjena polarna područja). Meteorološki sateliti nose uređaje za prikupljanje podataka po principu daljinskih istraživanja. Ovi uređaji za daljinska istraživanja mjere intenzitet elektromagnetnog zračenja sistema Zemlja - atmosfera u dijelu vidljivog i infracrvenog spektra. Ovaj rad ističe analizu satelitskih snimaka za potrebe prognoze vremena i određivanja sastava Zemljine atmosfere i meteoroloških elemenata na površini Zemlje koji utiču promjene u atmosferi.*

Ključne reči: Satelitski snimak, Analiza snimaka, Senzor, Meteosat.

Abstract: *Geospatial data is collected by using various terrestrial methods, remote detection, photogrammetry imaging as well as other methods. Polar satellites have a large number of sensors for recording different parts of the spectrum, this will provide data on the vertical profile of temperature and humidity in the atmosphere and cloud movement. These data are important for detecting changes and monitoring the condition in parts of the Earth where there are no regular measurements of the atmosphere at ground and at altitudes (oceans, deserts, uninhabited polar regions). Meteorological satellites carry data collection devices, according to the principle of remote sensing. These remote sensing devices measure the intensity of electromagnetic radiation of the Earth - atmosphere system in the part of the visible and infrared spectrum. This paper focuses on the analysis of satellite images in the time of forecasting and determining the state of the earth 's atmosphere and meteorological elements on the earth' s surface that are affected by changes in the atmosphere.*

Keywords: Satellite imagery, Image analysis, Sensor, Meteosat

1. UVOD

Meteorološki sateliti su vrsta vještačkih Zemljinih satelita, posebno konstruisanih i opremljenih, za dobijanje podataka meteoroloških mjerenja u realnom vremenu za potrebe prognoze vremena i određivanja sastava Zemljine atmosfere i meteoroloških elemenata na površini Zemlje koji utiču promjene u atmosferi. Osim snimaka slojeva oblaka, meteorološki sateliti mjere temperaturu i vlažnost atmosfere, temperaturu Zemljine površine, određuju granice vode, vlažnih područja i leda, i mjere tok protona i elektrona emitovanih sa Sunca.

Meteorološki sateliti nose senzore vrlo loše prostorne rezolucije (u odnosu na sisteme za posmatranje kopna), ali omogućavaju posmatranje velikih područja. Njihova vremenska rezolucija je veoma dobra, jer veoma često (nekoliko puta u toku jednog sata) mogu posmatrati Zemljinu površinu, vlažnost vazduha i oblačnost. Na taj način omogućavaju kontinuirano praćenje globalnih vremenskih uslova, a time i stalno prognoziranje vremena [1].

Sateliti su opremljeni videokamerama koje snimaju u vidljivom i infracrvenom spektru, radiometrima za mjerenje vertikalnog temperaturnog profila atmosfere u različitim frekvencijskim područjima, te sistemima za posmatranje protoka elementarnih čestica u okolini satelita [2]. Prvi meteorološki satelit je lansiran 1.4.1960. godine, a to je bio američki TIROS-1 (slika 1).



Slika 1: Prvi lansirani meteorološki satelit - TIROS-1 [9]

2. KLASIFIKACIJA SATELITSKIH ORBITA

Putanja kojom se kreću planete ili sateliti naziva se orbitom i predstavlja kretanje jednog tijela oko drugog pod uticajem centripetalne sile. Vještački sateliti se kreću (kruže) oko Zemlje po orbitama koje mogu biti na različitim visinama. U zavisnosti od oblika putanje, orbite mogu biti kružne ili eliptične. Kod kružnih orbita centar kruga je u centru Zemlje, dok je kod eliptičnih orbita centar Zemlje u jednom od dva fokusa elipse. Kada je riječ o eliptičnim putanjama, tačka na putanji kretanja oko satelita koja je najbliža Zemlji naziva se perigej, dok je apogej najudaljenija tačka od Zemlje na istoj putanji. Takođe, orbita može biti polarna ili ekvatorijalna, a definiše se na osnovu ugla inklinacije. Ugao inklinacije predstavlja ugao između ravni putanje satelita i ravni ekvatora. Ukoliko je ugao inklinacije 0˚, orbita je ekvatorijalna (u ravni ekvatora), a ukoliko je ugao inklinacije 90˚, tada je orbita polarna (oko polova). Položaji ekvatorijalne i polarne orbite su prikazani na slici 2 [10].

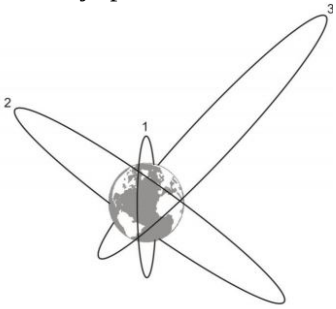


Slika 2: Ekvatorijalna i polarna orbita [3]

Kada se kao kriterijum podjele uzme visina leta satelita, h = a - R, gdje je a velika poluosa, a R Zemljin poluprečnik, satelitske orbite mogu biti:

- niske (0 km < h < 2 000 km),
- srednje (2 000 km < h < 35 786 km),
- visoke (h > 35 786 km)

Klasifikacija satelitskih orbita prema visini leta je prikazana na slici 3.

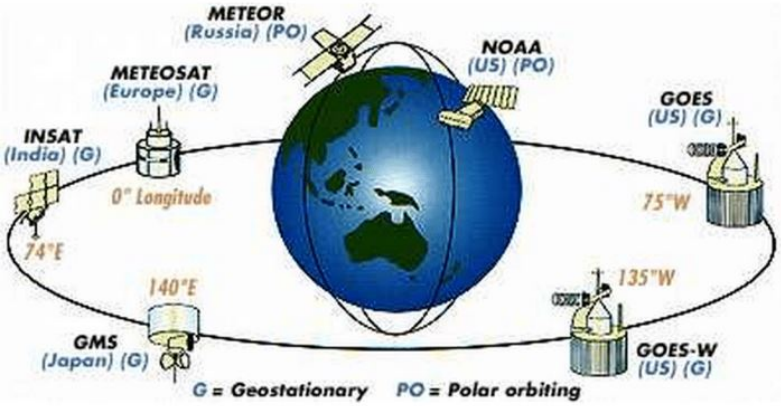


Slika 3: Klasifikacija satelitskih orbita po visini leta: (1) niska, (2) srednja i (3) visoka [3]

Razlikuju se dva osnovna tipa meteoroloških satelita. Geostacionarni sateliti kao što su GOES, GMS, METEOSAT, INSAT na visini od oko 36 000 km, u kontinuitetu snimaju stanje Zemljine atmosfere i Zemlje u nekoliko spektralnih područja na svakih pola sata. Šest takvih satelita u razmaku od 60 stepeni geografske dužine pokriva cijelu Zemlju, a slike koje šalju su postale sastavni dio svakodnevne analize i prognoze

vremena. Uz praćenje vremenskih promjena omogućuju otkrivanje područja nastajanja opasnih tropskih ciklona, uragana i tajfuna.

Drugi tip meteoroloških satelita su sateliti koji imaju polarnu putanju, nagnutu za približno 60˚ prema ekvatoru. Orbite ovih satelita su na visini od 800 do 1 000 km i tokom obilaska oko Zemlje snimaju, na svakih 90 do 100 minuta, polarna područja koja geostacionarni sateliti ne mogu adekvatno pokriti. U ovaj tip satelita se ubrajaju američki sateliti NOAA, ruski METEOR, i evropski METOP. Polarni sateliti imaju veliki broj senzora za snimanje različitih dijelova spektra, pa se dobijaju slike veće oštrine i podaci o vertikalnom profilu temperature i vlage u atmosferi i kretanju oblaka. Ovi podaci su značajni za otkrivanje promjena i praćenje stanja u dijelovima Zemlje gdje nema redovnih mjerenja atmosfere pri tlu i u visinama (okeani, pustinje, nenastanjena polarna područja). Na slici 4 su prikazani meteorološki sateliti u geostacionarnoj i polarnoj orbiti oko Zemlje.



Slika 4: Meteorološki sateliti u geostacionarnoj i polarnoj orbiti [7]

Meteorološki sateliti nose uređaje za prikupljanje podataka po principu daljinskih istraživanja. Ovi uređaji za daljinska istraživanja mjere intenzitet elektromagnetnog zračenja sistema Zemlja - atmosfera u dijelu vidljivog i infracrvenog spektra. Sistem Zemlja - atmosfera prima elekromagnetno zračenje od Sunca. Dio zračenja se reflektuje, dio se apsorbuje, a dio raspršiva. Atmosferski gasovi ne apsorbuju cjelokupno zračenje, već postoje atmosferski prozori apsorpcije u kojima zračenje prolazi neapsorbovano. Sateliti šalju podatke mjerenja prijemnim stanicama na Zemlji, koje ih prosljeđuju u centre za obradu podataka. U ovim centrima za obradu podaci prolaze kontrolu, analiziraju se i obrađuju. Obrađeni podaci dobijaju geolokaciju, pridružuje im se kartografska podloga te se dostavljaju korisnicima.

3. PRIMJENA SATELITSKIH SNIMAKA KOD PRAĆENJA OBLAKA

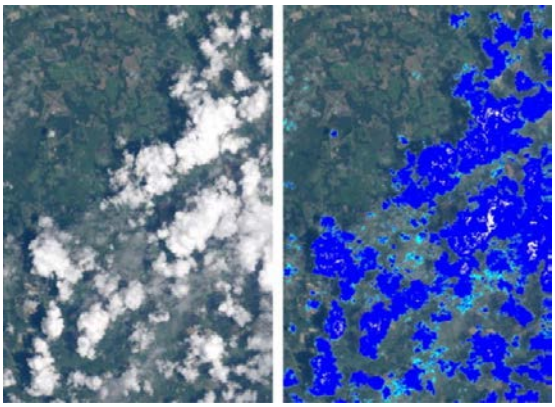
Temperatura vrhova sistema oblaka, njihov oblik i tekstura predstavljaju osnovne kriterijume za razvrstavanje oblaka u klase. Konstantnim mjerenjem i praćenjem sistema oblaka, određuje se smjer i brzina njihovog premještanja, površina koju pokrivaju te se procjenjuje vrsta i intenzitet padavina koje ovi sistemi oblaka nose. Područja pokrivena maglom ili niskim naoblačenjem se mogu prepoznati na snimcima ukoliko nisu sakrivena slojevima viših oblaka. Upotrebom raznih talasnih dužina mjerenja, dobijaju se podloge koje omogućavaju raspoznavanje dima, pijeska i prašine koju nosi vjetar, dijelovi pokriveni ledom i snijegom. Oblaci i razne pojave se prikazuju paletom boja primjenom pseudo kolor metode prikaza. Kod crno - bijelih ili sivo - bijelih snimaka treba znati da svijetle boje prikazuju hladne površine (visoki oblaci), a da tamne boje prikazuju tople površine (površina mora ili kopna).

Oblaci nastaju kondenzacijom i sublimacijom vodene pare u slobodnoj atmosferi. Oni se, dakle sastoje iz sitnih kapljica vode i čestica leda. Da bi došlo do formiranja oblaka, vazduh mora da sadrži dovoljnu količinu vodene pare, da mu temperatura opada i da se u njemu nalaze kondenzaciona jezgra koja su neophodna za početak obrazovanja vodenih kapljica i ledenih kristala. Oblaci igraju važnu ulogu u radioaktivnom balansu Zemlje zbog njihove apsorpcije i rasipanja sunčevog infracrvenog zračenja [8].

Različite metode detekcije oblaka razvijene su tokom godina, od kojih su najvažnije prag, vazdušni prenos i statističke metode. Metoda detekcije praga široko je primjenjena zbog jednostavnog algoritma, brzog rada i visoke preciznosti detekcije i najčešće je korišćena metoda. Najzastupljenije metode koriste i ISCP (International Satellite Cloud Climatology Project - Međunarodni satelitski klimatski projekat), CLAVR (Clouds from the Advanced Vey High Resolution Radiometer (AVHRR) NOAA - Posmatranje oblaka naprednim radiometrom visoke rezolucije), i APOLLO (AVHRR Processing Scheme Over Clouds, Land and Ocean - Proces obrade preko oblaka, zemlje i okeana) [8].

Većina algoritama za prepoznavanje oblaka procjenjuje postojanje oblaka na osnovu rezultata dobijenih od mnogih testova detekcije oblaka koristeći multispektralne snimke koji su senzori stekli. Senzor koji ima više opsega preciznije i efikasnije detektuje oblak. Algoritam CDAG (Cold Detection Algorithm Generating - Algoritam za otkrivanje oblaka) koristi svaki opseg u vidljivom SWIR (Short Wave Infrared - Kratki infracrveni talasi) talasnim dužinama i primjenjuje sve opsege na jednu ili više izvedenih veličina. Rezultat detekcije oblaka primjenom ovog principa je prikazan na slici 5.

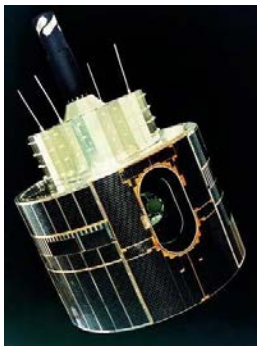
Ovaj algoritam koristi instrument OLI (Operational Land Imager), koji je sastavni dio satelita Landsat 8 lansiranog u februaru 2013. godine.



Slika 5: Detekcija oblaka korišćenjem OLI senzora na satelitu Landsat-8 [6]

Osmočlana Evropska organizacija za svemirska istraživanja (ESRO), danas Evropska svemirska agencija (ESA) je 1968. godine dobila sredstva za studije o primjeni satelita, uključujući i meteorološke satelite. Početni program Meteosat prve generacije je predstavio koncept globalnog sistema geostacionarnih platformi sposobnih za posmatranje atmosferske cirkulacije i vremena oko ekvatora u bliskom realnom vremenu.

Prvi prototip satelita Meteosat je lansiran u novembru 1977. godine i uspješno je radio nekoliko godina, a nakon toga je uslijedio i Meteosat-2 1981. godine. Posljednji satelit iz ove serije je lansiran 1997. godine je bio Meteosat-7 (slika 6).



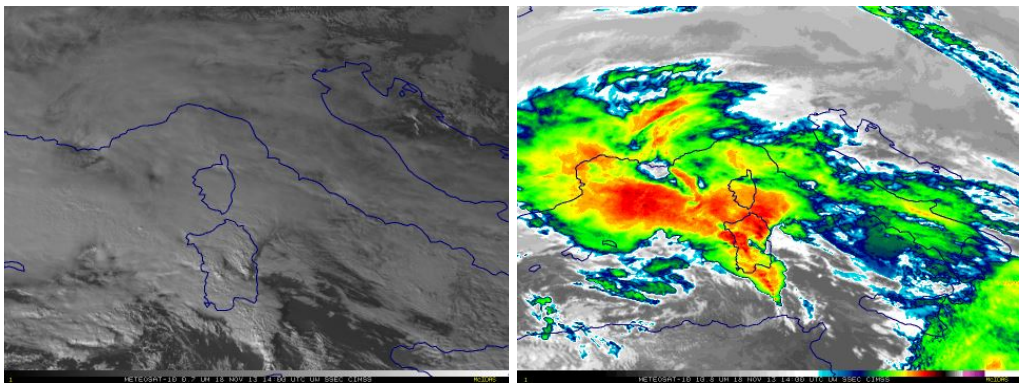
Slika 6: Satelit Meteosat-7 [5]

Prvi Meteosat satelit druge generacije MSG-1 (Meteosat Second Generation - 1) je primenovan u Meteosat-8 2004. godine. Pored glavnog senzora SEVIRI (Spining Enhanced Visible and Infrared Imager), ovaj satelit nosi i sekundarni korisni teret - instrument GERB (Geostationary Earth Radiation Budget) [7].

Svi Meteosat sateliti su geostacionarni i kruže oko Zemlje u ravni ekvatora, tako da su uvijek približno iznad Evrope na visini od oko 36 000 km. Sateliti ove serije prave snimke cijele hemisfere i koriste se za posmatranje vremenskih prilika iznad Afrike, Evrope i Atlantskog okeana. Sateliti druge generacije (MSG) predstavljaju zajednički projekat ESA i EUMETSAT.

Najvažniji dio na satelitu je senzor SEVIRI (Spining Enhanced Visible and Infrared Imager) koji ima dvanaest spektralnih kanala. Visokorezolucijski vidljivi kanal (prikazano na slici 36) koji je sličan kao kod Meteosat satelita prve generacije, ima rezoluciju od oko 1km, a za sve ostale kanale je 3 km.

Senzor SEVIRI ima osam kanala u srednjem i termalnom dijelu infracrvenog spektra, čija je namjena mjerenje temperature oblaka i površine, kao i mjerenje koncentracije vodene pare u atmosferi (slika 7).



Slika 7: Snimak sa satelita Meteosat-10, vidljivi kanal (lijevo) i infracrveni kanal (desno) [5]

4. ZAKLJUČAK

Putanja kojom se kreću sateliti se naziva orbitom. Vještački sateliti se kreću oko Zemlje po orbitama koje mogu biti na različitim visinama. Zakonitosti po kojima se sateliti u orbitama kreću definisao je Johannes Kepler (Keplerovi zakoni).

U ovom radu je izvršena klasifikacija satelitskih orbita i opisani su tipovi satelitskih orbita. U zavisnosti od visine na kojoj se sateliti nalaze, orbite mogu biti: niske, srednje i visoke. U zavisnosti od namjene, sateliti se smještaju u različite orbite.

Meteorološki i komunikacijski sateliti se najčešće smještaju u geostacionarne orbite. Prvi meteorološki satelit (TIROS) je lansiran 1960. godine. Posmatranje i prognoza vremena je bio jedna od prvih civilnih namjena korišćenja satelitskih daljinskih istraživanja. Najpoznatiji satelitski programi za praćenje vremenskih uslova su američki GOES, ruski Meteosat, japanski Himawari i evropski EUMETSAT. Prvi telekomunikacijski satelit Telstar posredovao je u prenošenju televizijske slike 1962. godine.

U budućnosti, u oblastima geodezije i kartografije daljinska istraživanja će se sve češće koristiti kao važan izvor podataka za kartiranje, u geologiji učestvuje pri utvrđivanju geološke građe terena, u poljoprivredi za proučavanje pedološkog sloja i različitih kultura, u šumarstvu za proučavanje i praćenje stanja vegetacionog pokrivača, a u hidrologiji za praćenje stanja voda. Takođe, tu su i najnovije oblasti primjene daljinskih istraživanja pomoću satelita (senzora koje nose satliti) kao što su: praćenje i predviđanje elementarnih nepogoda, prirodnih katastrofa usljed pomijeranja tla, kao i zaštita životne sredine, a u čijem praćenju učestvuju satelitske misije za daljinska istraživanja LANDSAT, SPOT i Copernicus.

LITERATURA

[1] Blagojević D. (2014). Uvod u Satelitsku geodeziju, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

[2] Pavlović R., Čupković T., Marković M. (2001). Daljinska detekcija, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

[3] Regodić M. (2009). Važniji satelitski programi sistematskog praćenja Zemlje, Vojnotehnički glasnik 4/2008, Beograd

[4] Regodić M., Sekulović D. (2010). Primena satelitskih snimanja pri praćenju atmosferskih pojava, SYM-OP-IS 2010.

[5] https://eo.belspo.be/en/satellites-and-sensors/meteosat-7

[6] https://www.researchgate.net/figure/Illustration-of-Landsat-8-OLI-cloud-mask-omission-for-a-500800pixel-subset-of-an-OLI_fig7_290476903

[7] https://www.researchgate.net/figure/Satellites-geostationnaire-G-et-satellites-a-orbite-polaire-PO-EOEdu-2010_fig2_290229279

[8] https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/landsat/

[9] https://www.everythingrf.com/community/what-is-a-highly-elliptically-orbit

[10]https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/satellite-imagery-air-photos/remote-sensing-tutotials/satelliters-senzors/satellite-characteristics-orbits-and-swaths/9283

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

SATELITSKO SNIMANJE ZA POTREBE URBANIZMA

SATELLITE OBSERVATION FOR URBANISM

MIROSLAV VUJASINOVIĆ[1], MIODRAG REGODIĆ [1], MILENA MILOTIĆ[1], NENAD GALJAK[2]

[1]Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, miroslav.vujasinović@aggf.unibl.org, miodrag.regodic@aggf.unibl.org, milena.milotic995@gmail.com
[2] Univerzitet odbrane, Vojna akademija Beograd, galjaknenad@gmail.com

Rezime: *Nove tehnoligije i ubrzan razvoj gradova iziskivali su nove pristupe u planiranju i upravljanju gradovima. Ne tako davno za urbana planiranja korišćene su katre i podaci premjera. Međutim, brz razvoj gradova zahtijevao je nov način istraživanja urbanih sredina. Vremenom su satelitski snimci postali sastavni i značajan faktor u razvoju gradova. Analizom snimaka dobije se mnoštvo korisnih informacija koje se kvantitativno i kvalitativno razlikuju od rezultata drugih istraživanja. Industrijalizacija je jedan od glavnih razloga koji su doveli do brze urbanizacije. Planiranje i upravljanje gradovima u vremenu brze urbanizacije je zahtjevan zadatak. Ovaj rad pokazuje mogućnosti korišćenja satelitskih snimaka kod planiranja i praćenja razvoja urbanih sredina i privrednih zona. Satelitiski snimci dokazuju da su od velikog značaja kod sagledanja makro i mikro lokacije industrijske zone, kao i postojeće infrastukure.*

Ključne riječi: Satelitski snimak, Urbanizam, Industrijska zona, Poslovna zona.

Abstract: *New technologies and the accelerated development of cities required new approaches in city planning and management. Not so long ago, maps and survey data were used for urban planning. However, the rapid development of cities required a new way of exploring urban areas. Satellite imagery has become an integral and significant factor in the development of cities. The analysis of the images yields a lot of useful information that differs quantitatively and qualitatively from the results of other research. Industrialization is one of the main reasons that led to rapid urbanization. Planning and managing cities in a time of rapid urbanization is a demanding task. This paper shows the possibilities of using satellite images in planning and monitoring the development of urban areas and economic zones. Satellite images prove that they are of great importance when looking at the macro and micro locations of the industrial zone, as well as the existing infrastructure.*

Keywords: ***Satellite imagery, Urbanism, Industrial zone, Economic zone.***

1. UVOD

Urbanizacija nije novonastali trend, ona se razvijala tokom istorije i mijenjala nastankom novih tehnologija i društvenog poretka. Godine 2008. Ujedinjene Nacije su objavile da polovina svjetske populacije živi u urbanim sredinama. Međutim, ovaj zaključak baziran je na statistikama iz različitih zemalja koje različito definišu pojam urbanog. Ne postoji opšteprihvaćena definicija koja određuje granice urbanih područja ili određuje šta je to urbano. Dok većina zemalja definiše urbano na osnovu broja stanovnika i gustine naseljenosti, druge urbano određuju na osnovu administrativnih funkcija.

Proces urbanizacije obilježava početak nove, dinamične faze u razvoju gradova, koja još uvijek traje. Predstavlja nepekidnu težnju vanurbanog stanovništva da bude dio urbanih sistema [2]. U značajnim područjima društvene nauke, urbanizacija je tretirana kao nepromjenjiva, uopštena forma, tip naselja ili ograničena prostorna jedinica.

Nove tehnoligije i ubrzan razvoj gradova iziskivali su nove pristupe u planiranju i upravljanju gradovima. Vremenom su satelitski snimci postali sastavni i značajan faktor u razvoju gradova. Analizom snimaka dobije se mnoštvo korisnih informacija koje se kvantitativno i kvalitativno razlikuju od rezultata drugih istraživanja.

Razvojem industrije, u 19. vijeku počela je tzv. industrijska faza urbanizacije. Zamjena dotadašnje pojedinačne proizvodnje masovnom, korišćenje novih materijala u izgradnji, intenzivna gradnja saobraćajnica doveli su do pojave industrijskih četvrti. Radna snaga se masovno iseljavala sa sela u gradove što je rezultovalo prenaseljenošću. Za njih su se gradila radnička naselja u blizini fabrika [5].

2. PRAĆENJE RAZVOJA URBANIH SREDINA SNIMANJEM IZ SVEMIRA

Planiranje i upravljanje gradovima u vremenu brze urbanizacije je zahtjevan zadatak. Ne tako davno za urbana planiranja korišćene su katre i podaci premjera. Međutim, brz razvoj gradova zahtijevao je nov način istraživanja urbanih sredina. Lansiranjem prve generacije satelita za posmatranje Zemlje, počeli su se koristiti digitalni, multispektralni snimci. Praćenje promijena na Zemlji iz satelita brzo je napredovalo pa je rezolucija sa više od 30 m kojom su snimali prvi sateliti za ove potrebe, dostigla 1 m kojima snimaju sateliti novih generacija [4].

Satelitski snimci su najefikasniji način da se obezbijede informacije o velikom području u kratkom vremenu. Pojavom komercijalnih satelitskih snimaka posljednjih godina u mnogome je olakšali prikupljanje podataka u raznim sferama društvenog života: u energetici, inženjerstvu, izgradnji, odbrani te zaštiti životne sredine. Izbor satelitskih snimaka zavisi od njihove namjene i veličine područja od interesa. Osnovna razlika u prikupljanju podataka između avio i satelitskih senzora je činjenica da izbor satelitskog sistem zavisi i od njegove vremenske rezolucije. Vremenska rezolucija satelitskog sistema je vremenski interval između sva uzastopna snimanja istog područja [1].

Urbano planiranje grada Beograda ima dugu i bogatu istoriju. Prvi plan grada je napravljen i usvojen još 1842. godine.

Iz istorijskog pregleda razvoja Beograda jasno je da je njegova urbanizacija tekla kroz vijekove. Na dva hronološka ruba istorije modernog Beograda nalaze se: Plan varoši u šancu, Emilijana Josimovića iz 1867. godine i Generalni plan Beograda 2021. godine na (usvojen 2003. godine). Veliko ostvarenje modernih urbanističkih koncepcija vezuje se za širenje Beograda preko Save.

Na slici 1 prikazan je plan Varoši u šancu, E. Josimovića. Plan obuhvata istorijsko središte Beograda od Dunava prema Savi.



Slika 1: Plan Beograda Varoš u šancu [10]

Idejni urbanistički plan Beograda, izrađen 1948. godine, pod rukovodstvom arhitekte Nikole Dobrovića. Izrada Idejnog generalnog plana rekonstrukcije Beograda završena je 30. septembra 1948. godine. Na slici 2 prikazan je Idejni urbanistički plan Beograda izrađen 1948. godine.



Slika 2: Idejni urbanistički plan Beograda [10]

Ideja o podzemnoj željeznici u Beogradu traje već nekoliko decenija, ali nikad ranije nije bila blizu realizacije. Početak izgradnje zakazan je za 2020. godinu. Na slici 3 prikazane su trase budućeg metroa.



Slika 3: Karta budućeg metroa Beograda [10]

Beograd je jedan od posljednjih evropskih gradova koji nije iskoristio potencijal svojih rijeka. Kompanija Luka Beograd u saradnji sa vodećim arhitektima razvija projekat „Beograd na vodi“. Planirani izgled Beograda na vodi i Novog Beograda na vodi prikazan je na slici 4.



Slika 4: Plan Beograda na vodi i Novog Beograda na vodi [9]

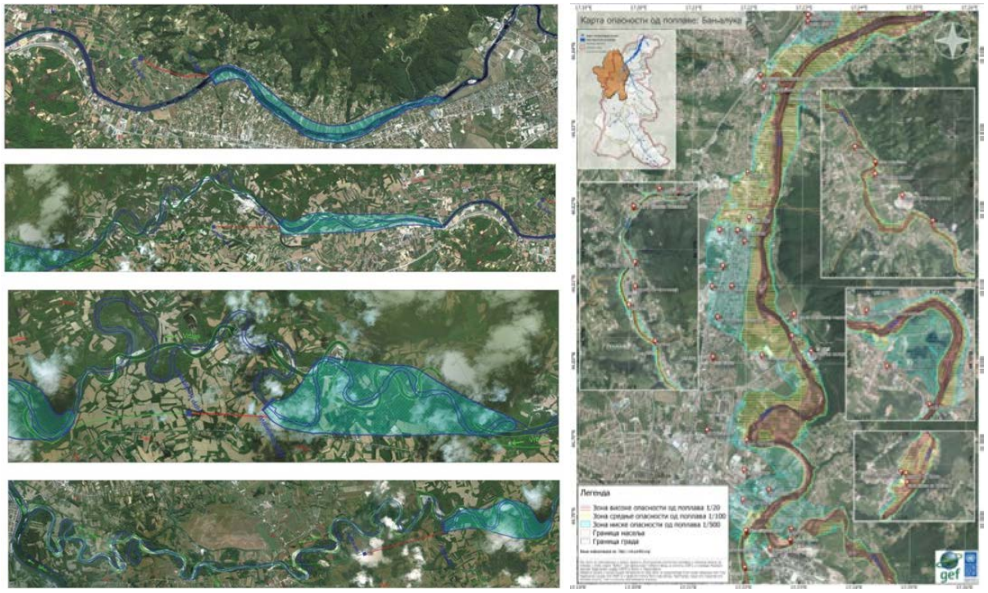
Banja Luka je politički, administrativni, finansijski, univerzitetski i kulturni centar Republike Srpske. Naselje se razvijalo na značajnoj rimskoj komunikaciji Salona-Servicijum na rijeci Vrbas. Banjaluka se razvijala sa obije strane rijeke prema sjeveru duž putnih komunikacija omeđen južno, istočno i zapadno okolnim brdima.

Grad se značajnije razvija tokom austrogarske vladavine kada se grade nove saobraćajnice, vodovod, kanalizacija, uvodi se električna rasvjeta i razvijaju se privreda i trgovina. Tada postaju vidljivi prvi elementi urbanizma. Izgled Banjaluke 1903. godine prikazan je na slici 5.



Slika 5: Banja Luka 1903. godine [8]

Aktuelna Studija hidroenergetskog korištenja rijeke Vrbas, pokazala je da su sa aspekta moguće proizvodnje električne energije daleko najznačajniji potencijalni energetski projekti na srednjem toku Vrbasa, gdje je moguće izgraditi nekoliko elektrana sa velikom godišnjom proizvodnjom. Na slici 6 prikazan je plan iskorišćenja hidroenergetskog potencijala rijeke Vrbas.



Slika 6: Hidroenergetski potencijal rijeke Vrbas (lijevo) [11] i Karta opasnosti od poplava (desno) [3]

Godine 2014. Banja Luku je pogodila poplava dotad nezapamćenih razmijera. Da bi se spriječile materijalne i ljudske žrtve u budućnosti, u sklopu projekta „Integrisanje klimatskih promjena u smanjenju rizika od poplava u slivu rijeke Vrbas“ izrađena je karta opasnosti od poplava. Kritične tačke na području grada na kojima može doći do poplava, predstavljene su na ovoj posebno izrađenoj karti, u okviru projekta koji je realizovalo Ministarstvo za prostorno uređenje, građevinarstvo i ekologiju u saradnji sa UNDP-om i Globalnim fondom za životnu sredinu. Karta je namijenjena svim organizacijama i službama, za informisanje privrednih subjekata i drugih pravnih lica, stanovništva i institucija i prikazana je na slici 6.

3. PRIMJERI PLANIRANJA PRIVREDNIH ZONA NA SNIMCIMA

Dvije vrste osnovnih jedinica gradova, zemljišni objekti i funkcionalne zone, imaju različitu ali podjednako značajnu ulogu u urbanističkim studijama i kartiranju. Urbane funkcionalne zone kao što su komercijalne, stambene i industrijske zone, osnovne su jedinice urbanističkog planiranja i igraju važnu ulogu u praćenju urbanizacije.

3.1. Industrijska zona Derventa

Derventa ima veoma povoljan saobraćajno-geografski položaj koji pruža brojne prednosti u pogledu privrednog razvoja. Smještena na obodu Panonske nizije, niskog i brežuljkastog reljefa pogodna je i za poljoprivrednu proizvodnju. Industrija i poljoprivreda čine osnovu privrednog razvoja.

Na prostoru opštine Derventa, kao što je prikazano na slici 7, postoje dvije industrijske zone:

- Zona 1 - „Industrijska zona“; i
- Zona 2 - „Servisno komunalni centar“.

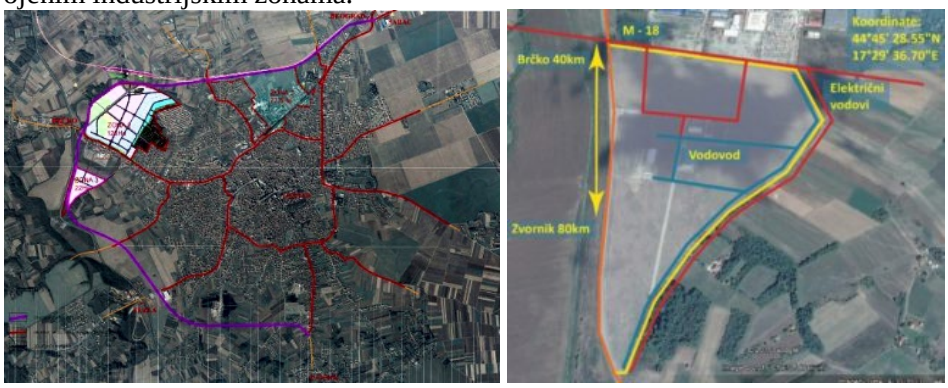


Slika 7: Indsutrijska zona Derventa [6]

3.2. Industrijska zona Bijeljina

Zahvaljujući plodnom semberskom tlu, Bijeljina je jedan od centara za proizvodnju, preradu i trgovinu hranom, a najzastupljenije su žitarice i povrtarske kulture. Osim ovih, najvažniji nosioci razvoja grada su preduzeća iz oblasti drvoprerade i metalskog sektora, a privredne grane u usponu su turizam, usluge,

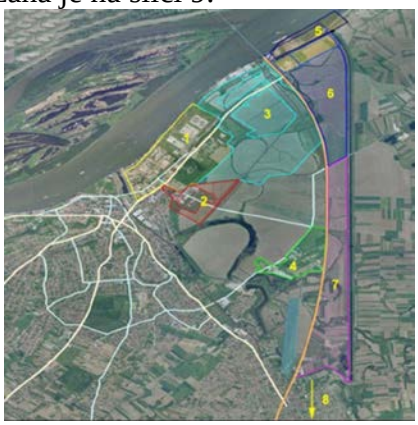
građevinarstvo, transport, telekomunikacije, trgovina, obrazovanje. Na slici 8 prikazan je snimak grada Bijeljina sa izdvojenim industrijskim zonama.



Slika 8: Grad Bijeljina i Indsutrijska zona 3 [6]

3.3. Industrijska zona Smederevo

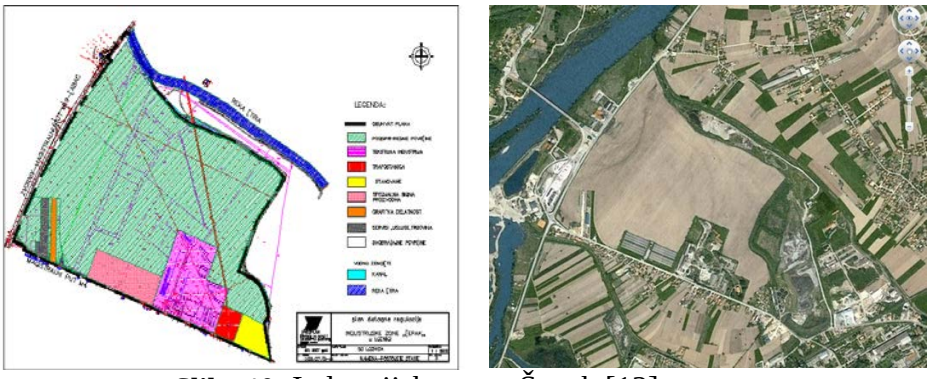
U toku je realizacija projekta infrastrukturnog opremanja nove industrijske zone (84 ha), usvojen je plan detaljne regulacije, rješavanje imovinskih pitanja i projektovanje su u toku uz podršku NIP. Industrijska zona Smederevo prikazana je na slici 9.



Slika 9: Industrijska zona Smederevo [7]

3.4. Industrijska zona Šepak, Loznica

Industrijska zona „Šepak“ smještena je na graničnom prelazu sa Bosnom i Hercegovinom, 1.500 m je udaljena od centra grada. Nalazi se izmedju dva magistalna puta M-4 i M19, a u vlasništvu je Republike Srbije. Površina cijele zone iznosi 82,66 ha, 30 ha je infrastrukturno opremljeno što podrazumjeva saobraćajnu, vodovodnu, kanalizacionu infrastrukturu, gas, telefon i internet. Industrijska zona je utvrđena dokumentima grada: GUP-om, Prostornim planom, Planom detaljne regulacije. Industrijska zona u Loznici prikazana je na slici 10.



Slika 10: Industrijska zona Šepak [12]

4. ZAKLJUČAK

Urbanizacija prvenstveno podrazumijeva razvoj gradskih, a u drugom redu i ostalih ljudskih naselja. Brojni su razlozi koji su doveli do urbanizacije. Industrijska revolucija predstavlja prekretnicu i glavni je pokretač urbanizma. Tu su zatim trgovina, razvoj tehnologije te novi standardi života. Posljednjih decenija izražena je urbanizacija u nerazvijenim i zemljama u razvoju.

Za potrebe urbanog planiranja dugo vremena su korišćene karte i planovi. Lansiranjem prvog satelita SPUTNIK 1957. godine počela je nova era u istraživanju Zemlje.

Snimci koje sateliti obezbjeđuju su najefikasniji i najekonomičniji način da se dođe do informacija o velikom području za kratko vrijeme. Poređenjem dva snimaka istog područja nastala u razmaku od nekoliko godina dolazi se do informacija o tome koliko i u kom smijeru je doško do rasta urbane sredine.

Funkcionalne tj. industrijske zone su sastavni, važan dio urbanih sredina. Satelitiski snimci se koriste pri njihovom planiranju. Do velikog su značaja kod sagledanja makro i mikro lokacije industrijske zone, kao i postojeće infrastukure. Sa snimaka se jasno mogu vidjeti pristupni putevi, blizina ostalim važnim saobraćanjicama, udaljenost od graničnog prelaza, ostalih industrijskih zona i sl. Funkcionalne zone gradova su u stalnim promjenama zavisno od potreba na tržištu te ih je najjednostavnije uočiti i pratiti na snimcima sa satelita..

LITERATURA

[1] Elachi C., Jakob J. (2006). Introduction To The Physics and Techniques of Remote Sensing

[2] Milojević B. (2015). Gradovi u promjenama, Univerzitet u Banjoj Luci

[3] Požgaj Igor. (2019). Kritične tačke na Vrbasu na kojima može doći do poplava, Moj grad

[4] Regodić M. (2009). Važniji satelitski programi sistematskog praćenja Zemlje, Vojnotehnički glasnik 4/2008, Beograd

[5] Tošković D. (2000). Urbani dizajn: Urbanistička tehnika i estetika, Urvanistički zavod Republike Srpske, Banja Luka

[6] http://rars-msp.org/

[7] http://www.smederevo.org.rs/Opstina-Smederevo

[8] http://www.etrafika.net/magazin/7901/banjaluka-kroz-vrijeme-dijelovi-grada-nekad-i-sad/

[9] https://www.gradnja.rs/ovako-ce-izgledati-beograd-na-vodi/

[10] www.urbel.com

[11] http://ers.ba/

[12] http://www.loznica.rs/OpstinaLoznica-Industrijska-zona_213_lat

Grafovi i mreže

Graphs and networks

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

ON SOME FAMILIES OF GRAPHS WITH SMALL SECOND LARGEST EIGENVALUE

BOJANA MIHAILOVIĆ[1]

[1] School of Electrical Engineering, University of Belgrade, mihailovicb@etf.rs

Abstract: *Let λ_2 be the second largest eigenvalue of an adjacency matrix of a simple graph. Descriptions of some families of graphs with the property that their second largest eigenvalue is less or equal to some r, r∈R, are simplified by determining the maximal graphs for this property, because the property is a hereditary one. The descriptions are additionally shortened by using some mappings which preserve the above property. This is shown on examples for some classes of graphs and for some small values of r (sqrt(2), sqrt(3) etc.).*

Keywords: *Adjacency matrix, spectra of graphs, second largest eigenvalue.*

Heuristike

Heuristics

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

RASPODELE SA TEŠKIM REPOVIMA ZA KONTINUALNI VNS

FAT-TAILED DISTRIBUTIONS FOR CONTINUOUS VNS

ZORICA DRAŽIĆ[1]

[1] Matematički fakultet, Studentski trg 16, Beograd, Srbija, zdrazic@matf.bg.ac.rs

Rezime: *Korišćenje višedimenzione normalne raspodele na celom prostoru rešenja u Metodi promenljivih okolina (VNS) za rešavanje problema kontinualne optimizacije je pokazalo sličnu uspešnost kao i korišćenje tradicionalnih ograničenih okolina, s tim da zahteva manje ulaznih parametara. Verovatnoća većih koraka u razmrdavanju je vrlo mala zbog eksponencijalnog opadanja gustine normalne raspodele. U ovom radu je testirano još šest raspodela koje se lako mogu praktično generisati, uključujući i neke sa "teškim repom", u cilju brže konvergencije VNS ka udaljenim rešenjima. Eksperimenti na test funkcijama pokazali veću efikasnost većine novih raspodela u odnosu na normalnu.*

Ključne reči: *Globalna optimizacija, Metaheuristike, Metoda promenljivih okolina, Raspodele sa teškim repovima*

Abstract: *Using the Gaussian normal distribution on the whole solution space in the continuous Variable neighborhood search (VNS) method has shown the similar success as the use of traditional bounded neighborhoods but with less parameters to be specified. The probability of larger moves in the shaking procedure is very small due to the exponential decrease of the density function of normal distribution. In this paper six more distributions that can be easily generated are tested, including some with a "fat-tail", in order to speed up the convergence of VNS to distant solutions. Experiments on test functions showed greater efficiency for most new distributions opposite to normal distribution.*

Keywords: *Global Optimization, Metaheuristics, Variable Neighborhood Search, Fat-Tailed Distributions*

1. UVOD

Zadatak optimizacije se u opštem slučaju može definisati na sledeći način: Odrediti:

$$\min\{f(x)|x \in X, X \subseteq S\}$$

gde je S prostor rešenja, X skup dopustivih rešenja, x dopustivo rešenje i $f : \mathbb{R}^n \to \mathbb{R}$ realna funkcija cilja. Ukoliko je $S = \mathbb{R}^n$ u pitanju je kontinualna optimizacija. Metoda promenljivih okoliona (eng. Variable Neighborhood Search – VNS) je prvi put predložena u [1] i najpre je razvijena za rešavanje problema kombinatorne optimizacije, a kasnije je primenjena i za probleme kontinualne optimizacije [2, 3, 4, 5, 7]. Glavna ideja VNS metode je sistematska promena okolina (u okviru koraka razmrdavanja) u kojima se vrši pretraga za rešenjem u cilju izbegavanja zapadanja u lokalne minimume. Neophodno je napraviti izbor geometrije $\mathcal{G}$ strukture okolina $N_k(x),\ k = 1,...,k_{\max},\ x \in \mathbb{R}^n$, kao i raspodelu $\mathcal{P}_k(x)$ slučajnih brojeva koja će se koristiti za nalaženje slučajne tačke iz zadate okoline. Najčešći izbori okolina su $N_k(x) = \{y|\rho(x,y) \leq \rho_k\}$ ili $N_k(x) = \{y|\rho_{k-1} < \rho(x,y) \leq \rho_k\}$, gde je metrika $\rho(\cdot)$ obično neko ℓ_p rastojanje između dve tačke. Najčešće se uzima $p = 1, 2, \infty$. Za raspodelu $\mathcal{P}_k(x)$ najčešće se koristi uniforma distribucija.

U slučaju globalne optimizacije bez ograničenja, ili sa velikim vrednostima tehničkih ograničenja po promenljivima, u radu [6] je predložen metod baziran na izboru slučajne tačke u koraku razmrdavanja koristeći normalnu (Gausovu) raspodelu centriranu u tekućoj tački sa promenljivim disperzijama. Na taj način je prostor koji se pretražuje ceo dopustiv skup (ili ceo prostor) a menja se parametar normalne raspodele. Iako je teorijski svaka oblast u prostoru može dostići sa pozitivnom verovatnoćom, u slučaju normalne raspodele je to veoma malo verovatno za udaljene oblasti pošto gustina verovatnoće opada eksponencijalnom brzinom. To praktično onemogućava pojavu velikih koraka u razmrdavanju. Ipak, ova metoda je davala uporedive, a često i bolje rezultate u odnosu na uobičajene geometrijske okoline definisane pomoću kugli u ℓ_p metrici.

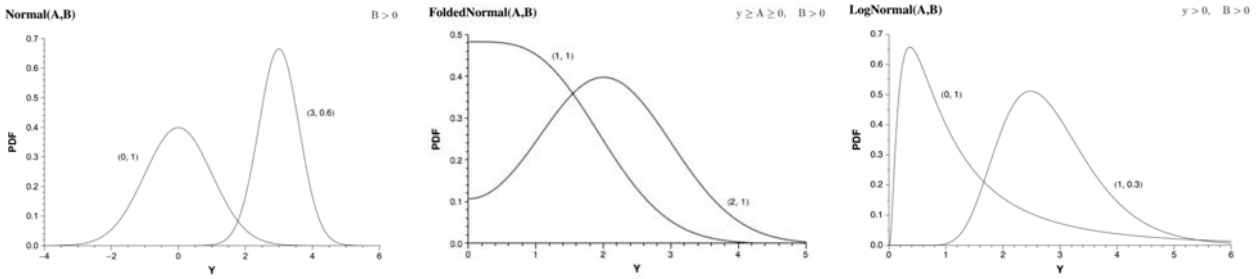
U ovom radu su ispitane i druge statističke raspodele kod kojih je značajno veća verovatnoća da se ostvare i velike vrednosti. Za takve raspodele se kaže da imaju "težak rep"(fat-tailed distributions). Jedan od bitnih faktora

pri izboru ovih raspodela je bio i da se mogu brzo izračunati koristeći generatore za uniformnu i normalnu raspodelu. Pored normalne raspodele je implementirano i testirano još šest raspodela slučajnih veličina. Ukoliko se rešenje nalazi daleko od početne tačke, korišćenje ovakvih raspodela bi trebalo da ubrza VNS algoritam.

2. STATISTIČKE RASPODELE ZA VNS

Pri korišćenju VNS metode prvo se odredi broj okolina koje će se koristiti $k_{\max}$ u koraku razmrdavanja, rastući niz radijusa $\rho_k,\ k = 1,\dots k_{\max}$, kao i raspodele slučajnih veličina koje će se koristiti u okolinama. Geometrijske okoline u ovom radu će biti ceo dopustiv prostor za svako k, dok će raspodele koje se koriste zavisiti od ρ_k.

Na slikama 1 i 2 dat je prikaz raspodela koje će biti korišćene u ovom radu. Za sve navedene raspodele $f_X(x)$ označava gustinu raspodele, $F_X(x)$ funkciju raspodele, *Mean* srednju vrednost, a *Var* varijansu.



Slika 1 Normalna, presavijena normanla i log-normalna raspodela

2.1. Normalna raspodela (N)

$$f_X(x) = \frac{2}{B\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-A)^2}{2B^2}\right), \quad Mean = A, \quad Var = B^2$$

Za VNS se koristi apsolutna vrednost slučajne promenljive za $A = 0$, $B = \rho_k$.

2.2. Presavijena normalna raspodela (PN)

$$f_X(x) = \frac{1}{B\sqrt{2\pi}} \left[\exp\left(-\frac{(x-A)^2}{2B^2}\right) + \exp\left(-\frac{(x+A)^2}{2B^2}\right)\right]$$

Ako je Z normalno raspodeljena, $|Z|$ je presavijeno normalno raspodeljena. Za VNS se koristi $A = B = (\rho_k + \rho_{k-1})/2$.

2.3. Log-normalna raspodela (LN)

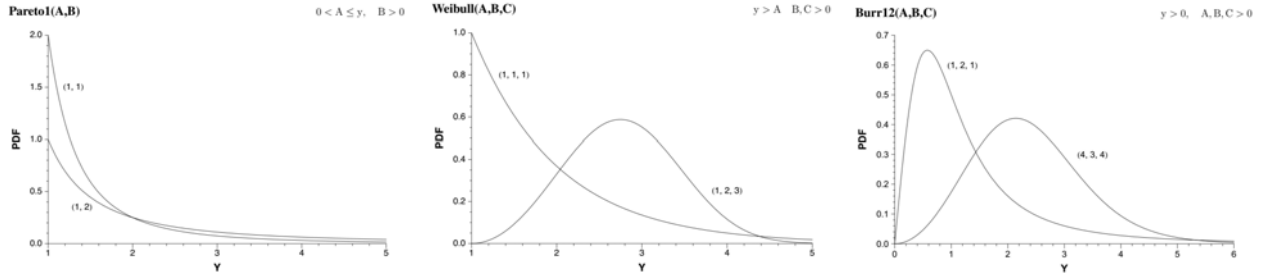
$$f_X(x) = \frac{1}{Bx\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\log(x)-A)^2}{2B^2}\right), \quad x > 0$$
$$Mean = \exp(A + B^2/2), \quad Var = (\exp(B^2) - 1)\exp(2A + B^2/2)$$

Ako je Z normalno raspodeljena, $\exp(Z)$ je log-normalno raspodeljena. Za VNS je B slobodan parametar, inicijalno postavljen na $B = 1/2$, a A se određuje tako da srednja vrednost bude $(\rho_k + \rho_{k-1})/2$.

2.4. Pareto raspodela (P)

$$f_X(x) = \frac{BA^B}{x^{B+1}}, \quad F_X(x) = 1 - \left(\frac{A}{x}\right)^B, \quad x > A$$
$$Mean = \frac{AB}{B-1}, \quad Var = \frac{A^2 B}{(B-2)(B-1)^2}$$

Za VNS se koristi $A = \rho_{k-1}$, a B se određuje tako da srednja vrednost bude $(\rho_k + \rho_{k-1})/2$.



Slika 2 Pareto, Weibull i Burr raspodela

2.5. Pomerena Pareto raspodela (PP)

$$f_X(x) = \frac{BA^B}{(x+A)^{B+1}}, \quad F_X(x) = 1 - \left(\frac{A}{x+A}\right)^B, \quad x > 0$$
$$Mean = \frac{AB}{B-1} - A, \quad Var = \frac{A^2B}{(B-2)(B-1)^2}$$

Ako je Z Pareto raspodeljena, $Z - A$ je pomereno Pareto raspodeljena. Za VNS je B slobodan parametar, inicijalno postavljen na $B = 2$, a A se određuje tako da srednja vrednost bude $(\rho_k + \rho_{k-1})/2$.

2.6. Weibull raspodela (W)

$$f_X(x) = \frac{C}{B}\left(\frac{x-A}{B}\right)^{C-1} \exp\left[-\left(\frac{x-A}{B}\right)^C\right], \quad F_X(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-A}{B}\right)^C\right], \quad x > A$$
$$Mean = A + BG(1), \quad Var = (G(2) - G^2(1))B^2, \quad G(n) = \Gamma(1 + n/C)$$

Za VNS je $A = 0$, C je slobodan parametar, inicijalno postavljen na $C = 1/2$, a B se određuje tako da srednja vrednost bude $(\rho_k + \rho_{k-1})/2$.

2.7. Burr raspodela (B)

$$f_X(x) = \frac{BC}{A}\left(\frac{x}{A}\right)^{B-1}\left[1 + \left(\frac{x}{A}\right)^B\right]^{-C-1}, \quad F_X(x) = 1 - \left[1 + \left(\frac{x}{A}\right)^B\right]^{-C}, \quad x > 0$$
$$Mean = \mu_1, \quad Var = -\mu_1^2 + \mu_2, \quad \mu_k = A^k CBeta(C - k/B, 1 + k/B)$$

Za VNS su B i C slobodni parametri, inicijalno postavljeni na $B = 1$, $C = 2$, a A se određuje tako da srednja vrednost bude $(\rho_k + \rho_{k-1})/2$.

2.8. Korišćenje raspodela u VNS

Prve tri raspodele se jednostavno generišu uz pomoć generatora normalne raspodele, a ostale uz pomoć generatora uniformne raspodele budući da su funkcije $F_X(x)$ jednostavnog oblika, a poznato je da su vrednosti $F_X(x)$ uniformno raspodeljene na $[0,1]$. Iz tehničkih razloga se u prvoj okolini, za $k = 1$, umesto log-normalne, Pareto i Burr raspodele koristi normalna raspodela.

U fazi razmrdavanja se slučajni pomeraj od tekuće tačke bira tako što se prvo odredi slučajan normiran pravac d korišćenjem višedimenzione normalne raspodele, a zatim se on pomnoži slučajnom vrednošću dobijenom nekom od pomenutih raspodela.

3. RAČUNARSKI EKSPERIMENTI

3.1. Test funkcije sa puno lokalnih minimuma

U svakom koraku VNS metode primenjuje se neki algoritam za lokalnu minimizaciju koji pronalazi lokalni minimum funkcije. Stoga je za testiranje osobina novih statističkih raspodela korisno da postoji puno lokalnih minimuma funkcije, kao i da se globalni minimum nalazi daleko od početne tačke. Ispitivanja su sprovedena na

poznatim test funkcijama koje imaju puno lokalnih minimuma za koje je značajno proširen dopustiv skup, a početna tačka izabrana daleko od rešenja. Test funkcije su:

Trefethen 4 funkcija. Ovo je funkcija dve promenljive sa puno lokalnih minimuma definisana u [8] (problem 4), takođe videti [9]:

$$f(a,b) = e^{\sin(50a)} + \sin(60e^b) + \sin(70\sin a) + \sin(\sin(80b)) - \sin(10(a+b)) + (a^2+b^2)/4.$$

Globalni minimum funkcije $f(a,b)$ je $f_{\min} = -3.306868647$ u tački $(-0.0244031018, 0.2106124286)$. U originalnoj postavci je dopustiv skup $a,b \in [-5,5]$, a ovde je proširen na $a,b \in [-50,50]$ sa početnom tačkom $[40,40]$.

Ackley funkcija. Definisana je u [10, 11]:

$$f(x) = 20 + e - 20\exp\left(-0.2\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i^2}\right) - \exp\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\cos(2\pi x_i)\right)$$

za $-15 \le x_i \le 30,\ i = 1,\ldots,n$, i ima globalni minimum $f_{\min} = 0$ u tački $(0,\ldots,0)$, kao i eksponencijalni po n broj lokalnih minimuma. Ovde je dopustiv skup proširen na $-150 \le x_i \le 300,\ i = 1,\ldots,n$, sa početnom tačkom $(250,\ldots,250)$.

Rastrigin funkcija.

$$f(x) = 10n + \sum_{i=1}^{n}\left(x_i^2 - 10\cos(2\pi x_i)\right)$$

je definisana za $-5.12 \le x_i \le 5.12,\ i = 1,\ldots,n$, ima globalni minimum $f_{\min} = 0$ u tački $(0,\ldots,0)$, kao i eksponencijalni po n broj lokalnih minimuma. Ovde je dopustiv skup proširen na $500 \le x_i \le 500,\ i = 1,\ldots,n$, sa početnom tačkom $(300,\ldots,300)$.

Tabela 1: Efikasnost predloženih raspodela za izabrane test funkcije

funkcija	n	$k_{\max}$	N	PN	LN	P	PP	W	B
Trefethen 4	2	10	*107412*	104396	105560	94067	70567	79467	**65775**
		7	63461	71126	56157	*87283*	61960	79385	**51582**
		5	99141	**78002**	121790	100421	84850	*137402*	110230
Ackley	10	10	533714	525048	515811	*618419*	439626	**403250**	472768
		7	1281375	1251997	1294806	*1491846*	1211995	**1096040**	1223065
		5	4090179	3737193	4203988	*6783198*	3599754	**3013742**	3569284
Ackley	20	10	1542866	1566727	1512492	*1799864*	1375685	**1284586**	1318493
		7	3761941	3567822	3829092	*4260161*	3469849	**3272226**	3598061
		5	15474464	13894697	14239966	*29674640*	11319086	**9511861**	11424259
Rastrigin	10	10	87677	*116897*	98744	**74206**	77268	83613	85429
		7	48882	60644	53072	61349	**34600**	59488	*65567*
		5	**54072**	70479	63314	77838	54787	71535	*109255*
Rastrigin	20	10	*988160*	830430	802281	769304	682175	**515036**	797161
		7	571633	590695	547555	**439271**	505038	627974	*637321*
		5	1013595	853404	1344599	*1690757*	1150923	**847632**	1170406

3.2. Eksperimentalni rezultati

Da bi se dodatno potencirala veličina dopustivog skupa i udaljenost početne tačke od globalnog rešanja, izabrane su vrednosti radijusa u VNS da budu male u odnosu na veličinu dopustivog skupa. Broj okolina je testiran za tri vrednosti $k_{\max} = 5,7,10$, a vrednosti radijusa u svim testovima su bile $\rho_1 = 0.01$, $\rho_2 = 0.05$, $\rho_3 = 0.2$, $\rho_4 = 0.5$, $\rho_5 = 1$, $\rho_6 = 2$, $\rho_7 = 5$, $\rho_8 = 10$, $\rho_9 = 20$ i $\rho_{10} = 50$, pri čemu je za $k_{\max} = 5$ uzimano prvih 5, a za $k_{\max} = 7$ prvih 7 radijusa.

Za testiranje je korišćen softverski paket GLOB koji je test platforma za ispitivanje raznih varijanti VNS ([3]). GLOB is pisan u ANSI C programskom jeziku kao konzolna aplikacija. Iako podržava različite algoritme za lokalnu minimizaciju, svuda je korišćena metoda najstrmijeg spusta. Test primeri su računati na desktop računaru sa procesorom Intel Core i7-6700 3.4 GHz i 16 GB RAM u 64bit Windows 7 okruženju.

Za algoritam lokalne minimizacije je korišćena metoda najstrmijeg spusta. U svim test primerima je meren broj izračunavanja funkcije za koje algoritam pronađe optimalnu vrednost rešenja sa tolerancijom 10^{-6}. Tolerancija za zaustavljanje algoritma lokalne minimizacije je svuda postavljena na 10^{-10}. Testirana je svaka pojedinačna raspodela iz prethodnog odeljka posebno. Svaki eksperiment je ponovljen 20 puta i izračunate su srednje vrednosti broja izračunavanja funkcija dok nije dostignut optimum.

U tabeli 1 prikazani su dobijeni rezultati za navedene test funkcije i to: Trefethen 4 funkcija za $n = 2$, Ackley funkcija za $n = 10$ i $n = 20$, Rastrigin funkcija za $n = 10$ i $n = 20$. U prve dve kolone navedeno je ime funkcije i dimenzija prostora rešenja. Treća kolona sadrži maksimalni broj korišćenih okolina $k_{\max}$. U preostalim kolonama je za svaku od razmatranih raspodela navedena računska složenost, tj. broj izračunavanja funkcije do dostizanja optimalnog rešenja. Najbolji rezultat je prikazan podebljano, a najlošiji ukošeno.

Iz rezultata je vidljivo da skoro uvek veći broj okolina $k_{\max}$, odnosno veći maksimalni radijus u koraku razmrdavanja rezultuje bržim dolaskom do optimalnog rešenja. Izuzetak predstavlja Rastrigin funkcija za $n = 20$ gde se najboljim pokazao $k_{\max} = 7$ za skoro sve distribucije. Ovo bi se moglo objasniti specifičnim prostornim rasporedom lokalnih minimuma. U svim slučajevima je maksimalni radijus bio značajno manji od rastojanja početne tačke do optimalnog rešenja, zbog čega je očekivana i veća računarska složenost. Upoređujući međusobno sedam raspodela, na osnovu ovih primera dolazimo do sledećih zaključaka. Prvo, Weibull (W) raspodela ima najveći broj najboljih rezultata, a Pareto (P) najveći broj najlošijih rezultata. Normalna (N) raspodela ima samo jedan najbolji rezultat, ali i dva najlošija. Burr (B) raspodela je bila dva puta najbolja (Trefethen 4), ali i tri puta najlošija (Rastrigin). Presavijena normalna (PN) raspodela je jednom bila najbolja, ali jednom i najlošija. Poredeći Pareto (P) i Pomerenu Pareto (PP) raspodelu, uprkos tome što je prva bila dvaput najbolja a druga samo jedanput, prva je osam puta bila najlošija, a i tamo gde je bila najbolja, druga je imala slične rezultate. Stoga zaključujemo da se Pomerena Pareto (PP) pokazala boljom od Pareto (P) na svim funkcijama. Pomerena pareto (PP) raspodela je uspešnija od Normalne (N) u svim slučajevima osim dva u kojima su rezultati vrlo bliski. Kao najuspešnije raspodele možemo proglasiti Weibull (W) i Pomerenu Pareto (PP) od kojih je prva jednom bila a druga nijednom nije bila najgora, pa iako je Weibull (W) bila osam puta najuspešnija a Pomerena Pareto (PP) samo jedanput, nema jasne dominacije: prva se pokazala uspešnijom kod Ackley funkcije, druga kod Trefethen 4 funkcije, a kod Rastrigin funkcije je druga bolja u četiri od šest slučajeva.

4. ZAKLJUČAK

U radu je razmatran problem nalaženja globalnog minimuma kontinualnog problema optimizacije primenom VNS metode. Za generisanje slučajnih tačaka u koraku razmrdavanja testirana je upotreba sedam različitih raspodela i upoređeni su dobijeni rezultati. Može se zaključiti da je umesto normalne raspodele bolje koristiti Pomerenu Pareto ili Weibull raspodelu koje daju bržu konvergenciju. U budućim istraživanjima se mogu razmotriti još neke raspodele, može se ispitati uticaj slobodnih parametara raspodela na efikasnost, a može se ispitati i efekat korišćenja više raspodela zajedno.

LITERATURA

[1] Mladenović, N., & Hansen, P. (1997). Variable neighborhood search. Computers & operations research, 24(11), 1097-1100.

[2] Kovačević-Vujčić, V., Čangalović, M., Dražić, M., Mladenović, N., An, L. H., & Tao, P. D. (2004). VNS-based heuristics for continuous global optimization. Modelling, Computation and Optimization in Information Systems and Managemant Sciences, Hermes Science Publishing, London, 215–222.

[3] Dražić, M., Kovačević-Vujčić, V, Čangalović, M., & Mladenović, N. (2006). GLOB – a new VNS-based software for global optimization. Global optimization, Springer, Boston, MA, 135–154.

[4] Dražić, M., Lavor, C., Maculan, N., & Mladenović, N. (2008). A continuous variable neighborhood search heuristic for finding the threedimensional structure of a molecule. European Journal of Operational Research, 185(3), 1265–1273.

[5] Mladenović, N., Dražić, M., Kovačevic-Vujčić, V., & Čangalović, M. (2008). General variable neighborhood search for the continuous optimization. European Journal of Operational Research, 191(3), 753-770.

[6] Carrizosa, E., Dražić, M., Dražić, Z., & Mladenović, N. (2012). Gaussian variable neighborhood search for continuous optimization. Computers & Operations Research, 39(9), 2206-2213.

[7] Dražić, M. (2019). Influence of a neighborhood shape on the efficiency of Continuous Variable Neighborhood Search. Yugoslav Journal Of Operations Research, 30(1), 3-17.

[8] Trefethen, N. (2002). A hundred-dollar, hundred-digit challenge. SIAM news, 35(1), 3.

[**9**] Audet, C., Béchard, V., & Le Digabel, S. (2008). Nonsmooth optimization through mesh adaptive direct search and variable neighborhood search. Journal of Global Optimization, 41(2), 299-318.
[**10**] http://www-optima.amp.i.kyoto-u.ac.jp/member/student/hedar/Hedarfiles/-TestGOfiles/Page295.htm.
[**11**] http://tracer.lcc.uma.es/problems/ackley/ackley.html.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

METAHEURISTIČKI PRISTUP REŠAVANJU VIŠEPERIODNOG PROBLEMA P-MEDIJANE OTPORNOG NA OTKAZE

METAHEURISTIC APPROACH TO SOLVING MULTI-PERIOD FAULT-TOLERANT P-MEDIAN PROBLEM

KRISTINA KOSTIĆ[1], ZORICA STANIMIROVIĆ[1]

[1] Matematički fakultet, Studentski trg 16, Beograd, Srbija, kristina_kostic@matf.bg.ac.rs, zoricast@matf.bg.ac.rs

Rezime: *Problem p-medijane otporan na otkaze predstavlja varijantu klasičnog problema p-medijane u kojoj se svaki korisnik pridružuje većem broju medijana. Na taj način, u slučaju prestanka rada nekog centra, svi korisnici koji su bili pridruženi tom centru, mogu biti preusmereni na drugi centar, čime se održava funkcionalnost sistema. U radu je predložena varijanta višeperiodnog problema p-medijane otpornog na otkaze koji uključuje promenu vremena putovanja među korisnicima kroz periode. Cilj problema je minimizacija ukupnih troškova pridruživanja korisnik-snabdevač kroz sve periode. Kako je razmatrani problem NP-težak, za njegovo rešavanje su implementirane dve metaheuristike: Osnovna metoda promenljivih okolina (engl. Basic Variable Neighborhood Search, BVNS) i hibridizacija Metode ponovnog povezivanja staza sa Lokalnom pretragom (engl. Path Relinking - Local Search, PR-LS). Predložene metaheuristike su testirane na dva skupa modifikovanih test instanci iz literature. Dobijeni rezultati su analizirani i upoređeni sa rezultatima egzaktnog rešavača CPLEX, u slučajevima kada je rešavač došao do rešenja.*

Ključne reči: *problem p-medijane, otpornost na otkaze, Metoda promenljivih okolina, Metoda ponovnog povezivanja staza, Lokalna pretraga*

Abstract: *The fault-tolerant p-median problem is a variant of the well-known p-median problem in which every customer is assigned to more than one facility. In case that a facility, for some reason, becomes unavailable, all customers assigned to that facility can be served by another facility, thus preserving a functionality of the system. In this paper, a variant of the multi-period fault-tolerant p-median problem is proposed, which allows for changing the travel time between customers across different periods. The goal of the problem is to minimize the sum of assignment costs customer-facility over all periods. As the considered problem is NP-hard, two metaheuristic-based solution approaches are proposed: Basic Variable Neighbourhood Search (BVNS) and a hybridization of Path Relinking (PR) with Local Search (LS). The performance of the BVNS and PR-LS methods is evaluated on the two sets of modified test instances from the literature. The obtained results are compared with the results of exact CPLEX solver, in cases when CPLEX returned solution.*

Keywords: *p-median problem, fault-tolerant, Variable Neighborhood Search, Path Relinking, Local Search*

1. UVOD

Problem p-medijane jedan je od fundamentalnih lokacijskih problema koji je još 60-ih godina prošlog veka uveo Hakimi u radu [3]. Za zadati skup lokacija potrebno je odrediti tačno p lokacija uslužnih centara i pridružiti svakog od korisnika tačno jednom uspostavljenom centru tako da suma rastojanja (troškova transporta, troškova pridruživanja) po svim parovima korisnik - pridruženi snabdevač bude minimalna. Hakimi i Kariv su dokazali da se radi o NP-teškom problemu [7], što je uticalo na intenzivnije izučavanje ovog problema kako sa teorijskog, tako i sa praktičnog aspekta. Problem p-medijane ima široku primenu u praksi pri određivanju optimalnih lokacija za izgradnju industrijskih postrojenja, skladišta, uslužnih centara, javnih objekata i ustanova itd. U cilju preciznijeg opisivanja realne situacije, najčešće je neophodno proširiti osnovni problem p-medijane dodatnim ograničenjima (kapacitetom skladišta, potrebama korisnika, troškovima izgradnje centara...). U literaturi su predložena razna proširenja osnovne varijante problema p-medijane, kao i veliki broj egzaktnih i aproksimativnih metoda za njihovo rešavanje. Detaljniji pregled raznih varijanti problema p-medijane, njihovih primena u praksi, kao i metoda rešavanja može se naći u [6,7,9].

U praksi se dešava da događaji uzrokovani prirodnim nepogodama, ljudskim faktorom ili socijalnim dešavanjima, mogu onesposobiti centar, a time i poremetiti proces snabdevanja. U cilju modeliranja sistema koji

je otporan na otkaze, u radu [10] je predložena varijanta problema p-medijane (engl. *Fault-tolerant p-median problem*) koja dozvoljava alokaciju korisnika većem broju medijana. Autori rada [10] su koristili Lagranžovu relaksaciju za dobijanje gornjih ograničenja optimalnih rešenja na velikim instancama iz TSPLIB biblioteke. Međutim, u praksi je čest slučaj da se ulazni parametri problema menjaju tokom vremena (npr. promena potreba korisnika za određenom vrstom usluge, promena kapaciteta uslužnih centara...), stoga je neophodno uzeti u obzir sve scenarije koji se mogu javiti i u skladu sa tim odrediti optimalne lokacije centara.

U ovom radu, uveden je višeperiodni problem p-medijane koji je otporan na iznenadne prekide rada (otkaze) uspostavljenih centara (engl. *Multi-period fault-tolerant p-median, MPFT-pmed*). Potreba za višeperiodnim modelom posledica je činjenice da se vremena putovanja (odnosno troškovi snabdevanja ili pridruživanja) među lokacijama mogu značajno razlikovati radnim danima i vikendom. Budući da radni dani čine veći deo nedelje, od interesa je modelovati i eventualne zastoje do kojih obično dolazi u poslovnom delu grada, tj. među gusto naseljenim lokacijama. U radu je izložena celobrojna linearna matematička formulacija uvedenog problema MPFT-pmed i zaključeno je da je NP-težak kao uopštenje problema p-medijane [6]. Preliminarni eksperimentalni rezultati sa CPLEX rešavačem i predloženom formulacijom problema, pokazuju da CPLEX ne daje čak ni dopustivo rešenje za instance problema većih dimenzija. To je bila motivacija za implementaciju dve metaheurističke metode. Pored Osnovne metode promenljivih okolina (engl. *Basic Variable Neighborhood Search - BVNS*) koja je korišćena za rešavanje ovog problema, kreirana je i hibridizacija Metode ponovnog povezivanja staza (engl. *Path relinking - PR*) i Lokalne pretrage (engl. *Local Search - LS*). Eksperimentalna analiza je sprovedena na skupu modifikovanih instanci iz literature koje imaju dva perioda, pri čemu prvi period predstavlja vikend, dok je drugim periodom modelovana gužva u saobraćaju koja karakteriše radne dane. Rezultati dobijeni BVNS i PR-LS metodama su upoređeni sa rezultatima egzaktnog rešavača, u slučajevima kada je rešavač dao rešenje.

Ostatak rada je struktuiran na sledeći način. U sekciji 2 data je formulacija višeperiodnog problema p-medijane otpornog na otkaze. U sekciji 3 opisani su detalji predloženih BVNS i PR-LS metaheuristika. Rezultati testiranja analizirani su u sekciji 4, dok su zaključak i smernice daljeg istraživanja date u sekciji 5.

2. MATEMATIČKA FORMULACIJA PROBLEMA MPFT-pmed

Neka je $G = (I, A)$ kompletan usmeren graf sa skupom čvorova I i skupom grana A. Svakom čvoru $i \in I$ odgovara lokacija jednog korisnika. Potencijalne lokacije uslužnih centara (snabdevača, medijana) poklapaju se sa lokacijama korisnika. Svakoj grani $(i, j) \in A$ u svakom periodu $t \in T$, dodeljena je veličina d_{ijt} koja predstavlja vreme putovanja (obično proporcionalno rastojanju) od korisnika j do snabdevača i u periodu t. U praksi, veličina d_{ijt} može odgovarati i troškovima transporta ili troškovima opsluživanja korisnika j od strane snabdevača i tokom perioda t. Parametrom r_{jt} određen je broj centara kojima će biti alociran korisnik j u periodu t. Neka je $\delta^-(j) = \{i \in I : (i, j) \in A\}$ skup svih čvorova čije se grane završavaju u čvoru j i neka je $\delta^+(i) = \{j \in I : (i, j) \in A\}$ skup svih čvorova čije grane počinju u čvoru i. Matematička formulacija problema MPFT-pmed koristi dva skupa binarnih promenljivih:

$$x_{ijt} = \begin{cases} 1, & \text{ukoliko je korisnik } j \text{ pridružen centru } i \text{ u periodu } t \\ 0, & \text{inače} \end{cases},$$

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{ukoliko je na lokaciji } i \text{ uspostavljen centar} \\ 0, & \text{inače} \end{cases}.$$

Koristeći navedenu notaciju, problem MPFT-pmed može biti formulisan u vidu celobrojnog linearnog matematičkog programa:

$$\min \sum_{t \in T} \sum_{(i,j) \in A} d_{ijt} x_{ijt}, \tag{1}$$

pri uslovima:

$$\sum_{i \in \delta^-(j)} x_{ijt} + y_j = r_{jt}, \quad j \in I,\ t \in T, \tag{2}$$

$$x_{ijt} \leq y_i \quad i \in I,\ j \in \delta^+(i),\ t \in T, \tag{3}$$

$$\sum_{i \in I} y_i = p, \tag{4}$$

$$x_{ijt} \in \{0, 1\} \quad i, j \in I,\ t \in T, \tag{5}$$

$$y_j \in \{0, 1\} \quad j \in I. \tag{6}$$

Funkcija cilja (1) minimizuje ukupno vreme putovanja svih korisnika do uslužnih centara kojima su pridruženi kroz sve razmatrane periode. Ograničenja (2) obezbeđuju da svaki korisnik j u svakom periodu t bude pridružen

tačno r_{jt} različitih uslužnih centara. U slučaju da je na lokaciji korisnika j uspostavljen uslužni centar, njega treba pridružiti $r_{jt} - 1$ preostalih centara. Ograničenjima (3) onemogućava se snabdevanje korisnika od strane centara koji nisu uspostavljeni, dok se ograničenjem (4) zahteva lokacija tačno p uslužnih centara. Ograničenja (5) i (6) definišu tip korišćenih promenljivih.

3. PREDLOŽENE METAHEURISTIČKE METODE ZA REŠAVANJE MPFT-pmed

Metoda promenljivih okolina, predložena 1997. godine od strane Mladenovića i Hansena [8], jedna je od najefikasnijih metaheurističkih metoda. VNS je zasnovana na lokalnom pretraživanju, a osnovna ideja je sistematska promena unapred definisanih okolina čime se izbegava konvergencija pretrage ka lokalnom optimumu. Okoline koje se pretražuju definisane su u skladu sa problemom koji se rešava. Dve osnovne komponente VNS metode su faza razmrdavanja i faza lokalnog pretraživanja. Cilj faze razmrdavanja je stohastičko izmeštanje pretrage u neki nov, možda nedovoljno istraženi, deo prostora dopustivih rešenja. Na ovaj način, unosi se određeni stepen diverzifikacije u proces pretraživanja. Rešenje dobijeno u fazi razmrdavanja predstavlja početno rešenje za fazu lokalne pretrage u kojoj se deterministički pretražuju njegove okoline u potrazi za boljim susedom. Ukoliko pretraga trenutne okoline tekućeg rešenja ne dovede do poboljšanja (u odnosu na vrednost funkcije cilja), algoritam nastavlja sa pretraživanjem naredne okoline tekućeg rešenja. U suprotnom, vrši se ažuriranje tekućeg rešenja, brojač okolina se postavi na 1 i nastavlja se sa procesom pretrage. Ove dve faze se smenjuju sve dok se ne ispuni unapred zadati kriterijum zaustavljanja. Pored opisane Osnovne metode promenljivih okolina, razvijena je i Metoda promenljivog spusta, Redukovana metoda promenljivih okolina, Metoda promenljivih okolina sa dekompozicijom i mnoge druge [4,5].

Predložena BVNS implementacija za rešavanje MPFT-pmed koristi celobrojnu vektorsku reprezentaciju rešenja. Rešenje je predstavljeno nizom p indeksa lokacija na kojima su uspostavljene medijane. Inicijalno rešenje BVNS metode kreirano je nasumičnim odabirom p korisnika. BVNS metoda koristi okoline $N_k,\ k = 1,...,k_{max}$ koje su definisane potezom "izbaci k postojećih i ubaci k novih medijana". Faza lokalne pretrage podrazumeva pretraživanje okoline N_1 rešenja dobijenog u fazi razmrdavanja pri čemu je korišćena strategija prvog poboljšanja (engl. *first improvement*). Kao kriterijum zaustavljanja BVNS metode korišćeno je maksimalno vreme izvršavanja *max_t*. Osnovni koraci predložene BVNS metode prikazani su Algoritmom 1.

Algorithm 1 Struktura BVNS metode za MPFT-pmed

```
max_t-maksimalno vreme izvršavanja
function BVNS(ulazni_podaci)
    X', f' ← kreiraj inicijalno rešenje nasumičnim odabirom p lokacija
    X_best ← X',  f_best ← f'
    k ← 1
    k_max ← min{ceil(p/2), 3}
    while vreme izvršavanja manje od max_t do
        while k ≤ k_max do
            // Faza razmrdavanja
            X_r, f_r ←nasumično odaberi suseda iz N_k(X')
            // Faza lokalnog pretraživanja
            X_l, f_l ← lokalno pretraži N_1 okolinu rešenja X_r
            if f_l < f_best then
                X_best ← X_l
                f_best ← f_l
                k ← 1
            else
                k ← k + 1
            end if
        end while
        k ← 1
    end while
    return X_best, f_best
end function
```

Metodu ponovnog povezivanja staza uveo je Glover u radu [2] iz 1997. godine, kao strategiju koja nalazi bolja rešenja kreirajući i pretražujući putanje koje povezuju tekuća rešenje sa do tada pronađenim najboljim

(elitnim) rešenjima. Rešenja koja se nalaze na trajektoriji između tekućeg (početnog) rešenja i elitnog (ciljnog) rešenja formiraju se postepenim uvođenjem atributa elitnog rešenja u tekuće rešenje. Na svakom koraku, evaluira se vrednost rešenja koje se nađe na putanji i ažurira se najbolje rešenje ako je pronađeno poboljšanje. Nakon ispitivanja svih rešenja koja povezuju tekuće i elitno rešenje, vrši se ažuriranje čitave populacije i pretraga se nastavlja sve dok se ne ispuni određeni kriterijum zaustavljanja. Metoda ponovnog povezivanja staza može započeti sa jednim rešenjem, pa kroz iteracije uvećavati populaciju do određene kardinalnosti. Drugi način je formirati čitavu populaciju rešenja određenom metodom pretraživanja i u svakoj iteraciji vršiti samo ažuriranje tekuće populacije. U svakom slučaju, potrebno je odrediti metodu pretraživanja prostora dopustivih rešenja.

Hibridizacija PR-LS koristi LS kao metod pretraživanja (Algoritam 2). Ukoliko je populacija prazna, rešenje X_l dobijeno LS metodom pridružuje se populaciji. U suprotnom, iz postojeće populacije bira se elitno rešenje koje najviše odgovara tekućem. Za odabir elitnog rešenja korišćen je sledeći kriterijum: od *no_elit* rešenja sa najmanjom vrednošću ciljne funkcije odabrati ono koje najviše odstupa od tekućeg rešenja (Hamingovo rastojanje tekućeg rešenja i odabranog rešenja je najveće). Cilj je formirati što dužu putanju između kvalitetnih rešenja, a to se ovim odabirom postiže. Rešenje pronađeno na kreiranoj putanji koje ima najmanju vrednost ciljne funkcije poboljšava se lokalnim pretraživanjem njegove N_1 okoline, nakon čega se vrši ažuriranje tekuće populacije. Kriterijum zaustavljanja hibridne metode je maksimalno vreme izvršavanja *max_t*.

Algorithm 2 Struktura hibridne PR-LS metode za MPFT-pmed

```
P - populacija, max_t-maksimalno vreme izvršavanja hibridne metode
function PR-LS(max_t, P)
    while vreme izvršavanja manje od max_t do
        X' ← kreiraj inicijalno rešenje nasumičnim odabirom p lokacija
        X_l = LS(X')
        if P = ∅ then
            P = P ∪ X_l
        else
            X_e ← izaberi elitno rešenje
            X_pr = PR(X_l, X_e)
            X*_pr ← poboljšaj tekuće rešenje X_pr lokalnim pretraživanjem njegove N_1 okoline
            if |P| <kardinalnost populacije then
                P = P ∪ X*_pr
            else
                ažuriraj P
            end if
        end if
    end while
    naći najbolje rešenje X_best u populaciji P
    naći vrednost funkcije cilja f_best rešenja X_best
    return X_best, f_best
end function
```

4. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Testiranja su izvršena na računaru sa procesorom AMD Ryzen 7 1700 i 32GB RAM. Predložene metode (BVNS i PR-LS) implementirane su u programskom jeziku C++. U cilju testiranja, modifikovane su dve grupe instanci iz literature. Prva grupa instanci preuzeta je iz [1], dok drugu grupu čine instance iz TSPLIB biblioteke. Euklidsko rastojanje između korisnika i i korisnika j uzeto je kao mera vremenu putovanja među korisnicima u prvom periodu, d_{ij1}. Drugi period modeluje radne dane kada najčešće dolazi do zagušenja u gusto naseljenim delovima, pa vreme putovanja među gusto naseljenim lokacijama postaje duže. Sa druge strane, slabije naseljeni delovi su rasterećeniji, pa je tu protok saobraćaja brži. Kako bismo kreirali scenario koji simulira ovu situaciju, najpre je određena gustina svake lokacije koristeći metod zasnovan na krenelima [11], a potom je izdvojena trećina najgušćih i trećina najređih lokacija. Za svakog izdvojenog korisnika, modifikovana su rastojanja do određenog broja njemu najbližih korisnika množeći ih koeficijentima $\alpha_1 > 1$ (za gusto naseljene lokacije) i $\alpha_2 < 1$ (za slabo naseljenje lokacije). U testiranjima su korišćene vrednosti $\alpha_1 = 2$ i $\alpha_2 = 0.5$, dok je vrednost r_{jt} (broj medijana koji treba pridružiti korisniku j u periodu t) generisana na slučajan način, ali ograničena sa 4.

BVNS i PR-LS metode su na svakoj instanci pokrenute po 10 puta. Obe metode kao kriterijum zaustavljanja

koriste maksimalno vreme izvršavanja: $1s$ na instancama kod kojih je $n \leq 100$, $3s$ za $100 < n \leq 190$, $25s$ za $190 < n \leq 500$ i $100s$ na instancama kod kojih je $n > 500$. Dobijeni rezultati upoređeni su sa rezultatima egzaktnog rešavača IBM ILOG CPLEX 12.7.1 čije je vreme izvršavanja ograničeno na 1 sat.

Tabela 1: Testirane instance

Instanca	n	p
inst_s18	60	4
inst_s1	70	5
inst_s2	80	5
inst_s7	90	6
inst_s13	100	6
berlin_52	52	5
eil_101	101	6
bier_127	127	8
kroB_150	150	8
d_198	198	9
kroA_200	200	10
lin_318	318	15
fl_417	417	15
u_574	574	20
u_724	724	25

U tabeli 1 prikazane su dimenzije testiranih instanci. U prvoj koloni dat je naziv instance, druga kolona sadrži broj korisnika - n, dok se u trećoj koloni nalazi broj medijana koje treba uspostaviti - p. U tabeli 2 prikazani su rezultati na razmatranim instancama na sledeći način. Prva kolona tabele 2 sadrži informaciju o nazivu instance. U naredne dve kolone, $CPLEX_{sol}$ i $t(s)$, prikazani su rezultati dobijeni egzaktnim rešavačem CPLEX i odgovarajuće vreme izvršavanja. Na instancama na kojima, usled ograničenih memorijskih resursa, nije pronađeno rešenje u koloni $CPLEX_{sol}$ stoji oznaka OOM (out of memory). Sledeće četiri kolone sadrže informacije o rezultatima BVNS metode: najbolje rešenje dobijeno kroz 10 pokretanja (**opt** ukoliko je metoda dostigla optimalno rešenje), prosečno vreme prvog dostizanja najboljeg rešenja - $t_{first}(s)$, prosečno procentualno odstupanje rešenja dobijenih metaheuristikom od optimalnog/najboljeg poznatog rešenja - $agap$ i standardna devijacija - std. Naredne četiri kolone su istog tipa kao i prethodne četiri i nose informaciju o rezultatima hibridne PR-LS metode. Optimalna ili najbolja dostignuta rešenja su istaknuta u tabeli 2.

Tabela 2: Rezultati dobijeni BVNS metodom i hibridnom PR-LS metodom

Instanca	$CPLEX_{sol}$	$t(s)$	$BVNS_{sol}$	$t_{first}(s)$	$agap$	std	$PR\text{-}LS_{sol}$	$t_{first}(s)$	$agap$	std
inst_s18	**52974.55**	1.33	**opt**	0.005	0.000	0.000	**opt**	0.005	0.000	0.000
inst_s1	**50976.19**	1.45	**opt**	0.012	0.000	0.000	**opt**	0.015	0.112	0.336
inst_s2	**60156.89**	2.22	**opt**	0.015	0.000	0.000	**opt**	0.015	0.000	0.000
inst_s7	**65779.81**	2.70	**opt**	0.050	0.000	0.000	**opt**	0.041	0.000	0.000
inst_s13	**69811.02**	3.48	**opt**	0.044	0.000	0.000	**opt**	0.042	0.000	0.000
berlin_52	**80541.85**	0.69	**opt**	0.006	0.000	0.000	**opt**	0.008	0.000	0.000
eil_101	**8801.34**	3.52	**opt**	0.181	0.000	0.000	**opt**	0.040	0.080	0.065
bier_127	**1422224.07**	48.17	**opt**	0.279	0.000	0.000	**opt**	0.173	0.063	0.096
kroB_150	**505416.64**	67.55	**opt**	0.323	0.000	0.000	**opt**	0.257	0.249	0.261
d_198	OOM	-	**282604.47**	0.763	0.000	0.000	**282604.47**	0.910	0.446	0.892
kroA_200	OOM	-	**549910.07**	0.581	0.000	0.000	**549910.07**	0.816	0.000	0.000
lin_318	OOM	-	**766520.36**	8.057	0.137	0.082	**766520.36**	21.438	0.036	0.061
fl_417	OOM	-	**385075.92**	8.607	0.000	0.000	**385075.92**	15.368	0.000	0.000
u_574	OOM	-	**757420.95**	36.429	0.132	0.127	757639.69	45.475	6.405	5.751
u_724	OOM	-	**839053.57**	45.752	0.328	0.287	855075.52	69.869	7.681	4.947

Na svim instancama na kojima je egzaktni rešavač uspeo da pronađe optimalno rešenje, BVNS je u svih 10 pokretanja dostigao isto rešenje i to sa znatno kraćim vremenom izvršavanja. Hibridna metoda PR-LS takođe dostiže sva poznata optimalna rešenja, ali ne pri svakom pokretanju (na 4 od 9 instanci vrednosti parametra

agap i *std* su različite od nule). Usled ograničenih memorijskih resursa, na šest instanci CPLEX nije uspeo da pronađe optimalna rešenja. Na dve od šest instanci (fl_417 i kroA_200) obe metode dobile su ista rešenja u svih 10 pokretanja. Pri rešavanju instance *d*_198 uz ograničeno vreme izvršavanja od 25*s*, BVNS metoda je dobila isto najbolje rešenje u svih 10 pokretanja (*agap* i *std* su jednaki 0%). Isto rešenje je dostigla i PR-LS metoda, ali ne u svakom pokretranju (vrednost *agap* iznosi 0.446%, dok je standardna devijacija 0.892%). Na instanci *lin*_318, hibridna PR-LS metoda je u proseku češće pronalazila kvalitetnija rešenja (rešenja bliska najboljem pronađenom rešenju) u odnosu na BVNS metodu, ali sa znatno dužim vremenom izvršavanja. Na instancama kod kojih je $n \geq 500$ dolazi do izražaja efikasnost BVNS-a u odnosu na hibridnu PR-LS metodu. Pored manjeg vremena izvršavanja, BVNS metoda nalazi i rešenja boljeg kvaliteta, prosečne vrednosti parametra *agap* ne prelaze 0.328%, dok prosečna vrednost standardne devijacije nije veća od 0.287%.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu je formulisana i rešavana varijanta višeperiodnog problema p-medijane otpornog na otkaze u kom svaki korisnik može biti pridružen većem broju centara i u kom se vremena putovanja između korisnika menjaju kroz periode. Budući da su korisnici pridruženi većem broju medijana, funkcionalnost sistema je održiva čak i u slučajevima prestanka rada nekog centra. Implementirane su dve metode BVNS i PR-LS čiji su elementi, kao i način kodiranja rešenja, prilagođeni karakteristikama problema koji se rešava. Testiranje je izvršeno na poznatim instancama iz TSPLIB biblioteke. Dobijeni rezultati upoređeni su sa rezultatima egzaktnog rešavača CPLEX na osnovu kojih se može zaključiti da su predložene metode pogodne za rešavanje uvedenog problema. Obe metode dostižu sva poznata optimalna rešenja u znatno kraćem vremenu izvršavanja u odnosu na CPLEX. Na velikim instancama, na kojima egzaktni rešavač nije uspeo da pronađe rešenje usled ograničenih memorijskih resursa, implementirane metode pokazuju stabilnost u pronalaženju kvalitetnih rešenja. U proseku, BVNS metoda brže i češće pronalazi rešenja visokog kvaliteta na instancama velikih dimenzija u odnosu na PR-LS metodu. Smernice daljeg istraživanja obuhvataju nadgradnju modela dodavanjem novih ograničenja, testiranje na intancama većih dimenzija i sa većim brojem perioda, kao i dodatna podešavanja i prilagođavanja komponenata predloženih metaheurističkih metoda prema karakteristikama razmatranog problema.

LITERATURA

[**1**] Diaz, J. A., Luna, D. E. (2017). Primal and dual bounds for the vertex p-median problem with balance constraints. Annals of Operations Research, 258(2):613–638.

[**2**] Glover, F. (1997). Tabu search and adaptive memory programming-advances, applications and challenges. In Interfaces in Computer Science and Operations Research, pages 1–75. Springer.

[**3**] Hakimi, S. L. (1964). Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. Operations Research, 12(3):450–459.

[**4**] Hansen, P., Mladenović, N., Perez, J. A. M. (2008). Variable neighbourhood search: methods and applications. 4OR, 6(4):319–360.

[**5**] Hansen, P., Mladenović, N., Todosijević, R., Hanafi, S. (2017). Variable neighborhood search: basics and variants. EURO Journal on Computational Optimization, 5(3):423–454

[**6**] Kalcsics, J., Nickel, S., Schröder, M. (2005). Towards a unified territory design approach—applications, algorithms and GIS integration. TOP, 13, 1–56.

[**7**] Kariv, O., Hakimi, S. L. (1979) An algorithmic approach to network location problems. II: The p-medians. SIAM Journal on Applied Mathematics, 37(3):539–560.

[**8**] Mladenović, N., Hansen, P. (1997). Variable neighborhood search. Computers & Operations Research, 24(11):1097–1100.

[**9**] Reese, J. (2006). Solution methods for the p-median problem: An annotated bibliography. NETWORKS: An International Journal, 48(3), 125-142.

[**10**] Vasilyev, I., Ushakov, A.V., Maltugueva, N. et al.(2019). An effective heuristic for large-scale fault-tolerant k-median problem. Soft Comput 23, 2959–2967.

[**11**] Weglarczyk, S. (2018). Kernel density estimation and its application. ITM Web of Conferences. 23. 00037. 10.1051/itmconf/20182300037.

XLVIII Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23. September 2021.
MATΦ University of Belgrade Faculty of Mathematics
Mathematical Institute SANU

GENERAL VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH FOR THE WEIGHTED SCHEDULING PROBLEM WITH DEADLINES AND RELEASE TIMES

LUKA MATIJEVIĆ[1], UNA STANKOVIĆ[1], TATJANA DAVIDOVIĆ[1]

[1] Mathematical Institute, Kneza Mihaila 36, Belgrade, Serbia
{luka,una,tanjad}@mi.sanu.ac.rs

Abstract: *We consider a non-preemptive scheduling problem with deadlines and release times, where each task is associated also a nonnegative weight, representing price to be rewarded when task is scheduled for execution. The problem consists of finding a subset of tasks that are going to be scheduled and ordering them in such a way to maximize the price (sum of weights) of all scheduled tasks. Since the problem is NP-hard, we propose a metaheuristic approach, using the General Variable Neighborhood Search (GVNS). This approach is tested on a set of randomly generated instances, and the results obtained this way suggest that GVNS is able to find a high-quality solutions in a short amount of time.*

Keywords: *Combinatorial optimization, scheduling problem, identical machines, metaheuristics*

1. INTRODUCTION

The scheduling problem and its variations are among the most frequently investigated problems in the field of combinatorial optimization. Its basic variants were formulated by Graham [2] in 1966 and remained relevant till today. The variations are usually classified according to some properties of the problem [6]: task data (such as task length, release time, deadline, etc.), task characteristics (such as precedence relations, preemption, etc.), machine environment (single or multiple machines, homogeneity of machines, etc.), and optimality criteria.

Here we consider a non-preemptive scheduling problem with multiple identical machines, where each of the tasks is characterized by a deadline, release time, weight, and length. This variant of scheduling problem can have many practical applications, and we are primarily interested in is the use of the developed scheduling algorithm as a part of *Proof-of-Useful-Work* (**PoUW**) in blockchain systems [6]. A review of the relevant literature is presented in the first part of our research [7].

In [7], we proposed two MILP formulations for the aforementioned problem, and used them within the GLPK solver. Since the solver was unable to give us satisfactory solutions within a limited amount of time, we naturally switch to metaheuristics. The main contribution of this paper is the development of the GVNS algorithm, which already proved itself successful for dealing with other scheduling problems [3, 5, 9, 10]. A set of five neighborhood structures is identified, all five are used in the shaking step, while only two of them are used in the local search step. We also present a greedy procedure for finding a high-quality initial solution. This approach is tested on a set of randomly generated instances, differing in the number of tasks and machines.

This paper is organized as follows. In Section 2 we briefly describe the considered problem. Section 3 is devoted to the implementation of the proposed GVNS, description of neighborhood structures, and generation of the initial solution. In Section 4 we present the results of the experimental analysis of comparing the results obtained by GVNS and GLPK using MILP formulations. Finally, concluding remarks are presented in Section 5.

2. PROBLEM DESCRIPTION

The problem can be stated as follows. We are given a set of tasks to be scheduled on a set of identical machines. Tasks are defined by their lengths, weights, deadlines and release times. We consider a non-preemptive version of the problem in which tasks cannot be interrupted before they are completely finished. Deadline constraints prevent a task to complete after a certain time unit, while the release time specifies how many time units have to pass before the task can begin its execution. In our version, empty time slots in which a machine is idle are not permitted. If a task can't be assigned to any of the machines without violating some constraints, it is not going to be scheduled. This is different from the much more common versions of this problem, which allow (with a certain penalty) to schedule tasks missing their deadlines. We can fill all the potential empty timeslots with some dummy unit tasks with zero weights. The reasoning behind this is explained in more detail in our paper [7]. The objective is to maximize the total sum of weights for scheduled tasks, taking into account constraints

imposed by deadlines and release times. More formal description of our problem, together with a mathematical formulation can be found in [7].

3. GVNS IMPLEMENTATION

Variable neighborhood search (VNS) is a metaheuristic method proposed by Mladenović and Hansen [8]. In its basic variant, it employs a systematic change of neighborhoods, together with an intensified search within a single neighborhood. VNS consists of three main steps: shaking, local search, and neighborhood change. Shaking step perturbs the incumbent solution, to prevent being stuck in a local optimum. This is done by randomly choosing a neighbor from the current neighborhood. The perturbed solution is then improved by some local search method. If the the obtained local optimum is better than the incumbent solution, it becomes the new incumbent solution, and the search continues from the first neighborhood, otherwise, the search moves to the next neighborhood. There are various versions of VNS [4]. Here, we explore the *General Variable Neighborhood Search* (**GVNS**), which uses *Variable Neighborhood Descent* (**VND**) as its local search procedure. In this section, we present in detail some important parts of this method.

3.1. Solution representation

A solution is represented as an array of $(K+1)$ double-linked lists, where K is the number of available machines. In each list, we store indices of tasks that should be executed on the corresponding machine, in the order in which they should be executed. The $(K+1)$-th list stores unscheduled tasks, that is, tasks that do not contribute to the value of the objective function. Therefore, constraints do not apply to the tasks in this list. The structure used for representing a solution can be seen in Figure 1.

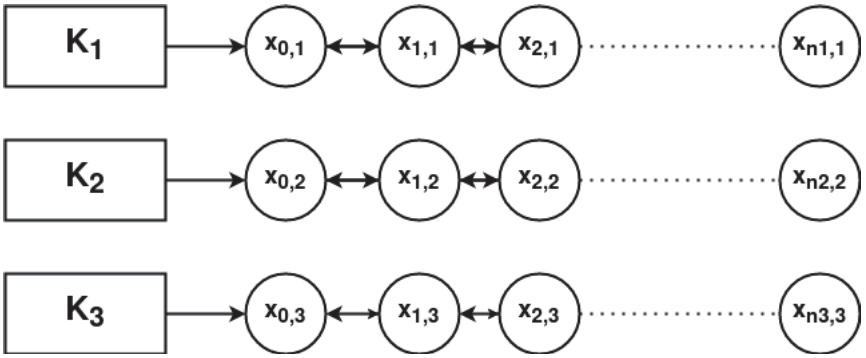


Figure 1 Representation of a solution

3.2. Determination of the initial solution

The initial solution is constructed in a greedy way. First, we sort tasks according to their deadlines in ascending order. Then, we iterate through all of the tasks trying to assign them to one of the machines. If a task cannot be assigned to a machine without violating some of the constraints, we try to assign it to the next machine. In order to balance the load over all of the machines, for each task, we choose a different machine as a starting point, in a round-robin manner. If a task cannot be assigned to any of the machines, we assign it to the dummy machine. The pseudo-code for this approach can be seen in Algorithm 1. A solution generated this way is always feasible.

3.3. Neighborhood structures

Properly chosen neighborhood structures can greatly influence the overall performance of GVNS. We consider five different neighborhood structures, classified into two categories: *active* and *inactive*. Active neighborhoods work only with tasks that are already scheduled, moving them to different time slots. On the other hand, inactive neighborhoods work with unscheduled tasks, trying to insert them into the schedule.

1. **Swap_active(k)** ($N_1(r,s)$) - This neighborhood selects a pair of blocks consisting of r and s consecutive tasks assigned to the same machine, and exchanges their places if possible;

Algorithm 1 Solution initialization

```
1: procedure INITSOLUTION(number of tasks N, number of machines K, tasks)
2:     solution ← emptySolution()
3:     tasks ← sortTasksByDeadlinesAscending(tasks)
4:     i ← 0
5:     for task ∈ tasks do
6:         inserted ← false
7:         j ← i
8:         while j < i + K do
9:             m ← j mod K
10:            if task doesn't violate constraints for machine m then
11:                solution[m].add(task)
12:                inserted ← true
13:                break
14:            end if
15:            j ← j + 1
16:        end while
17:        if not inserted then
18:            solution[K].add(task)
19:        end if
20:        i ← (i + 1) mod K
21:    end for
22:    return solution
23: end procedure
```

2. **Exchange_active(k)** ($N_2(r,s)$) - This neighborhood selects a pair of blocks consisting of r and s consecutive tasks assigned to two different machines, and exchanges their places if possible;
3. **Relocate_active(k)** ($N_3(r)$) - This neighborhood moves a block of r consecutive tasks from one machine to the other if possible;
4. **Exchange_inactive(k)** ($N_4(r,s)$) - This neighborhood selects a pair of blocks consisting of r and s consecutive tasks assigned to two different machines, one of which is the dummy machine, and exchanges their places if possible;
5. **Relocate_inactive(k)** ($N_5(r)$) - This neighborhood moves a block of r consecutive tasks from the dummy machine to some other machine if possible.

Considering the fact that active neighborhoods cannot contribute to the value of the objective function, they are used only during the shaking step. The logic behind this is that even though they cannot provide a better solution, changing the ordering of the tasks may potentially open a time slot for an unscheduled task.

3.4. Shaking

The shaking step of our procedure consists of finding a neighbor at the distance l from the current solution x. It is done by repeating l times the following steps: randomly chose one of the neighborhood structures and select a random neighbor of the incumbent solution. The pseudo-code of this procedure is presented in Algorithm 2.

3.5. Variable Neighborhood Descent

VND procedure explores neighborhoods $N_4(1,1)$ and $N_5(1)$, using the First Improvement principle. The ordering of neighborhoods was determined experimentally. At the beginning, the procedure searches for an improvement in the neighborhood $N_4(1,1)$. This continues as long as an improvement can be found. In case that procedure cannot find any improvement in the neighborhood $N_4(1,1)$, it moves to the next neighborhood - $N_5(1)$. If the improvement is obtained in $N_5(1)$, the search continues from $N_4(1,1)$, otherwise, the VND procedure ends. The pseudo-code of this procedure is given in Algorithm 3.

3.6. The structure of the proposed GVNS

Our GVNS can be presented by the pseudo-code given in Algorithm 4. After the instance is read, the first feasible solution is constructed using the described greedy procedure. GVNS then iterates its steps until the

Algorithm 2 Shaking

```
1: procedure SHAKING(solution x, value of neighborhood index l)
2:     i ← 0
3:     x' ← x
4:     while i < l do
5:         i ← i + 1
6:         Randomly select a value p ∈ {0,1,2,3,4}
7:         switch (p) do
8:             case 0 :
9:                 x' ← find a random neighbor from N1(1,1) of x'
10:            case 1 :
11:                x' ← find a random neighbor from N2(1,1) of x'
12:            case 2 :
13:                x' ← find a random neighbor from N3(1) of x'
14:            case 3 :
15:                x' ← find a random neighbor from N4(1,1) of x'
16:            case 4 :
17:                x' ← find a random neighbor from N5(1) of x'
18:    end while
19:    return x'
20: end procedure
```

Algorithm 3 Variable Neighborhood Descent

```
1: procedure VND(solution x)
2:     imp ← true
3:     x' ← x
4:     while imp do
5:         imp ← LS(N4(1,1), x')
6:         if not imp then
7:             imp ← LS(N5(1), x')
8:         end if
9:     end while
10:    return x'
11: end procedure
```

stopping criterion is met, which is a time limit in our case. More precisely, the inner loop, depending on the neighborhood index for shaking, is performed. The algorithm perturbs the solution and then tries to improve it with VND. If the newly found solution is better than the incumbent solution, it is accepted as the new incumbent solution and the search continues from the first neighborhood l_{min}. Otherwise, the neighborhood index for shaking is increased.

4. EXPERIMENTAL EVALUATION

GVNS presented in this paper was written in the C++ programming language and executed on a laptop with an Intel i7-10750H processor and 32GB of RAM. The obtained results are compared to results obtained by *GNU Linear Programming Kit* (GLPK), executed on the same machine. For more information about the mathematical model used by GLPK, please refer to [7].

For the purpose of testing our algorithm, we randomly generated a set of ten test instances, with the number of machines varying between 2 and 4, and the number of tasks ranging between 10 and 45. When testing these instances with GLPK, we limited CPU time to 1800 seconds, while the time limit imposed on GVNS was 300 seconds. In order to prove the stability of the results obtained by GVNS, for every instance we repeated the test 30 times, with a different seed value for the random number generator. The parameters l_{min} and l_{max} were

Algorithm 4 GVNS

```
1: procedure GVNS(Instance to be solved,l_min,l_max,runtime)
2:     x ← initSolution()
3:     while Time < runtime do
4:         l ← l_min
5:         while l < l_max do
6:             x' ← shake(x,l)
7:             x'' ← vnd(x')
8:             if f(x'') > f(x) then
9:                 x ← x''
10:                l ← l_min
11:                t_min ← Time
12:            else
13:                l ← l + 1
14:            end if
15:        end while
16:    end while
17:    return Solution x, minimal time t_min
18: end procedure
```

determined by using the iRace[1] package for the R programming language. With the budget of 200 tests, the algorithm determined that the best possible values are $l_{min} = 2$ and $l_{max} = 19$.

The results obtained by our GVNS are shown side by side with the results from GLPK in Table 1. The first three columns in this table describe instances, where N is the number of tasks to be scheduled, and K is the number of available machines. The second part of Table 1 (columns 4-7) shows the results from GLPK, namely, the objective function value (with the gap in parentheses) and the corresponding CPU time in seconds. The third part (columns 8 and 9) shows the results obtained from GVNS. The average objective value obtained over 30 independent executions is shown together with the corresponding standard deviation in column 8, while the average t_{min} (minimum CPU time) and its standard deviation are displayed in column 9. The last column in the table represents the objective function value of the initial GVNS solution, generated by the greedy algorithm.

As we can see from Table 1, GVNS outperformed GLPK for all instances, either by finding a better solution or by finding the same solution in a shorter time. Compared to MODEL I (MODEL II), GVNS was able to find a better solution than GLPK in eight (six) out of ten instances, within a negligible CPU time. We can also see that GVNS had no problem with finding a good solution even for larger instances (Ex9 and Ex10), for which GLPK was unable to find even the first feasible solution. What we have found especially interesting is that the greedy procedure used in GVNS for generating an initial solution usually provides a nearly optimal solution, solely outperforming GLPK in 7(6) out of 10 cases in the case of MODEL I (MODEL II). For instance Ex3, it was even able to find the best-known solution. Because of this, we can assume that providing the results of this greedy procedure to GLPK as an initial solution would greatly improve its performance.

5. CONCLUSION

We proposed GVNS for the non-preemptive version of scheduling tasks to identical machines. The considered version of the problem involves multiple machines and a set of tasks, each characterised by deadline, release time, and weight. The main objective is to maximize the total sum of weights for the scheduled tasks, having in mind that not all of the tasks have to be scheduled. Our GVNS uses five neighborhood structures, as well as a new greedy procedure for generating an initial solution.

We tested GVNS on a set of randomly generated instances and compared the results to the ones obtained by an exact solver GLPK exploring two different MILP formulation of the problem. The experimental evaluation shows that GVNS significantly outperforms GLPK, both in terms of solution quality and the running time. Future research should include testing the algorithm on some larger (and preferably real-life) instances, developing other metaheuristic methods, and generating hybrids between (meta)heuristic methods and exact solvers.

[1] https://cran.r-project.org/web/packages/irace/index.html

Table 1: A comparison between GLPK and GVNS

Example	K	N	GLPK (MODEL I)		GLPK (MODEL II)		GVNS		Greedy
			Obj. (% gap)	CPU time	Obj. (% gap)	CPU time	Av. obj. (σ)	Av. CPU time (σ)	Obj.
Ex1	2	10	**27 (0%)**	3.64	**27(0%)**	2.98	**27 (0)**	0.000072 (0.000006)	26
Ex2	2	15	23 (69%)	1800	**34** (14.7%)	1800	**34 (0)**	0.000816 (0.000630)	24
Ex3	2	15	33.0 (21.2%)	1800	33 (21.2%)	1800	**36 (0)**	0.000070 (0.000000)	**36**
Ex4	3	15	35 (8.6%)	1800	**37** (2.7%)	1800	**37 (0)**	0.000056 (0.000010)	32
Ex5	2	20	30 (56.7%)	1800	N/A	1800	**38 (0)**	0.001220 (0.000888)	34
Ex6	3	20	42 (21.4%)	1800	N/A	1800	**50 (0)**	0.000718 (0.000438)	47
Ex7	3	20	44.0 (11.4%)	1800	N/A	1800	**49 (0)**	0.000209 (0.000011)	46
Ex8	4	20	**59.0 (0%)**	1.18	**59.0 (0%)**	12.56	**59 (0)**	0.000210 (0.000016)	56
Ex9	4	40	N/A	1800	N/A	1800	**106 (0)**	0.016765 (0.010869)	97
Ex10	4	45	N/A	1800	N/A	1800	**102 (0)**	0.197937 (0.202902)	86

Acknowledgement

This work was supported by the Serbian Ministry of Education, Science and Technological Development, Agreement No. 451-03-9/2021-14/200029 and by the Science Fund of the Republic of Serbia, Grant AI4TrustBC: Advanced Artificial Intelligence Techniques for Analysis and Design of System Components Based on Trustworthy BlockChain Technology.

REFERENCES

[**1**] Ball, M., Rosen, A., Sabin, M., & Vasudevan, P. N. (2017). *Proofs of Useful Work*. IACR Cryptol. ePrint Arch., 2017, 203.

[**2**] Graham, R. L. (1966). *Bounds for certain multiprocessing anomalies*. Bell system technical journal, 45(9), 1563-1581.

[**3**] Guo, P., Chen, W., & Wang, Y. (2013). *A general variable neighborhood search for single-machine total tardiness scheduling problem with step-deteriorating jobs*. arXiv preprint arXiv:1301.7134.

[**4**] Hansen, P., Mladenovic, N., Todosijevic, R., & Hanafi, S. (2017). *Variable neighborhood search: basics and variants*. EURO Journal on Computational Optimization, 5(3), 423-454.

[**5**] Komaki, M., & Malakooti, B. (2017). *General variable neighborhood search algorithm to minimize makespan of the distributed no-wait flow shop scheduling problem*. Production Engineering, 11(3), 315-329.

[**6**] Lawler, E. L., Lenstra, J. K., Kan, A. H. R., & Shmoys, D. B. (1993). *Sequencing and scheduling: Algorithms and complexity*. Handbooks in operations research and management science, 4, 445-522.

[**7**] Matijević, L., Stanković, U., Davidović, T., *Mathematical models for the weighted scheduling problem with deadlines and release times* , Proc. XLVIII Symposium on Operational Research, SYMOPIS 2021, Banja Koviljača, Sept. 20-23, 2021 (submitted)

[**8**] Mladenovic, N., & Hansen, P. (1997). *Variable neighborhood search*. Computers & operations research, 24(11), 1097-1100.

[**9**] Tasgetiren, M. F., Buyukdagli, O., Pan, Q. K., & Suganthan, P. N. (2013, December). *A general variable neighborhood search algorithm for the no-idle permutation flowshop scheduling problem*. In International Conference on Swarm, Evolutionary, and Memetic Computing (pp. 24-34). Springer, Cham.

[**10**] Wen, Y., Xu, H., & Yang, J. (2011). *A heuristic-based hybrid genetic-variable neighborhood search algorithm for task scheduling in heterogeneous multiprocessor system*. Information Sciences, 181(3), 567-581.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

METODA PROMENLJIVIH OKOLINA ZA PROBLEM MAKSIMIZACIJE RAZNOLIKOSTI SA KAPACITETIMA

BASIC VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH FOR CAPACITATED DISPERSION PROBLEM

NENAD MLADENOVIĆ[1], RACA TODOSIJEVIĆ [2], DRAGAN UROŠEVIĆ[3]

[1] Univerzitet Khalifa, Abu Dhabi, nenad.mladenovic@ku.ac.ae.
[2] Polytechnic University of Hauts-de-France, Cedex 9, Valencienne, racatodosijevic@gmail.com.
[3] Matematički Institut SANU, Beograd, draganu@mi.sanu.ac.rs.

Rezime: *U radu se razmatra varijanta problema maksimiziranja disperzije (raznolikosti). Problem maksimiziranja se sastoji od izbora određenog broja elemenata (lokacija, pozicija) iz datog skupa elemenata tako da dva najbliža izabrana elementa budu na što većem rastojanju.U razmatranoj varijanti su elementima dodeljeni kapaciteti, tako da je potrebno izabrati elemente tako da ukupni kapacitet izabranih elemenata ne bude manji od zadate granične vrednosti. U radu je predložena metoda promenljivih okolina. Metoda je implementirana i izvršena su poređenja na velikoj kolekciji instanci sa postojećim metodama.*

Ključne reči: *Problem maksimiziranja raznolikosti (disperzije), Metoda promenljivih okolina.*

Abstract: *The paper considers a variant of the problem of maximizing dispersion (diversity). The problem consists of selecting a certain number of elements (locations, positions) from a given set of elements so that the two closest selected elements are as far apart as possible. In the considered variant, the elements are assigned capacities, so it is necessary to select the elements such that the total capacity of the selected elements is not less than the given limit value. In this paper a method based on variable neighborhood search is proposed. The method was implemented and comparisons with existing methods were made on a large collection of instances.*

Keywords: *Capacitated dispersion problem, Variable neighborhood search.*

1. UVOD

Problem maksimiziranja raznolikosti sa kapacitetima pripada širokoj familiji probema vezanih za raznolikost (diversity, dispersion). U ovim problemima se obično iz skupa nekih elemenata bira određen broj elemenata tako da raznolikost izabranih elemenata bude što veća (ili što manja). Ta raznolikost se meri na razne načine, pa se tako dobijaju razne varijante problema. Verovatno je najpoznatija varijanta u kojoj zbir rastojanja između izabranih elemenata treba da bude što manji (takozvani min-sum varijanta problema, Silva i ostali [5], Silva i ostali [6], Duarte i Marti [1]). Druga varijanta se sastoji od izbora unapred zadatog broja elemenata tako da rastojanje izmedju dva najbliža elementa bude što veće (takozvani max-min problem, Resende i ostali [3]). Smatra se da je druga varijanta problema značajno realnija jer nameće da iazabrani elementi budu na što većim rastojanjima, a to je u većini praktičnih primena (raspored marketa, benzinskih pumpi, drugih uslužnih centara) mnogo realnije.

U ovom radu se razmatra modifikacija max-min varijante problema (tj. varijanta sa maksimizacijom najkraćeg rastojanja) u kojoj je svakom elementu dodeljen kapacitet, a potrebno je izabrati elemente tako da zbir njihovih kapaciteta nije manji od zadate vrednosti. Ovu varijantu su uveli Rosenkrantz i ostali [4]. Kao primeri primene su navedeni raspoređivanje lokacija za odlaganje opasnog otpada ili za izgradnju nuklearnih postrojenja. Drugi primer je raspoređivanje prodavnica gde svaka prodavnica može da opsluži određen broj korisnika i svakako nije poželjno da budu blizu. U istom radu je predložena konstruktivna heuristika za rešavanja problema. Za predloženu heuristiku je pokazano da dobijeno rešenje može biti najviše dva puta lošije od optimalnog.

Peiro i ostali [2] su predložili metoda baziranu na kombinaciji pohlepnog oslučajenog pretaživanja (GRASP) i metodi supusta kroz promenljive okoline (*Variable Neighborhood Descent*, VND). Preciznije razvili su metodu koja predstavlja hibridnu metodu koja kombinuje GRASP i VND u okviru metode strategijskih

oscilacija (*Strategic Oscillation*, SO). Oni nemaju ocenu odstupanja pronađenih rešenja od optimalnih, ali tvrde da je heuristika efikasna i da se statistički ponaša dobro pri rešavanju većih instanci.
Mi smo razvili metodu baziranu na metodi promenljivih okolina. Metoda je testirana na instancama koje su generisali Peiro i ostali [2].
Rad je organizovan na sledeći način. U drugoj sekciji je prikazan matematički model za rešavani problem. U sekciji 3 je opisana metoda promenljivih okolina. Rezultati testiranja su prikazani u Sekciji 4. U Sekciji 5. su prikazani zaključci izvedeni na osnovu testiranja.

2. MATEMATIČKI MODEL

Neka je $G=(V,E)$ graf, gde je V skup čvorova (numerisani brojevima od 1 do n), a E skup ivica. Ivicama grafa su dodeljene dužine, tako da je d_{ij} dužina ivice koja spaja čvorove i i j. Čvorovima grafa su dodeljeni kapaciteti: c_i je kapacitet čvora i. Pored toga je zadat broj B ($0 < B < \sum_{i=1}^{n} c_i$) i on predstavlja minimalni zbir kapaciteta čvorova koji su izabrani. Potrebno je izabrati podskup $M \subset V$ skupa svih čvorova, tako da suma kapaciteta nije manja od B i da je najkraća ivica koja spaja neke od čvorova is iz skupa M što duža. Problem se može formulisati kao problem linearnog programiranja uvođenjem dve grupe binarnih promenljivih:

- Promenljive x_i odredjuju da li odgovarajući čvorovi pripadaju skup M ili ne, tako da je $x_i=1$, ako čvor i pripada skupu M, inače ima vrednost nula.
- Promenljive y_{ij}, koje govore o tome da li oba kraja ivice (i,j) pripadaju skupu M, ili ne (drugim rečima $y_{ij}=1$ ako i samo ako je $x_i=1$ i $x_j=1$)

Tada se problem formuliše na sledeći način:

$$\max z \tag{1}$$

Tako da

$$\sum_{i=1}^{n} c_i x_i \geq B, \tag{2}$$

$$y_{ij} \leq x_i, \qquad 1 \leq i < j \leq n, \tag{3}$$

$$y_{ij} \leq x_j, \qquad 1 \leq i < j \leq n, \tag{4}$$

$$x_i + x_j \leq y_{ij} + 1, \qquad 1 \leq i < j \leq n, \tag{5}$$

$$z \leq d_{ij} y_{ij} + D(1 - y_{ij}), \qquad 1 \leq i < j \leq n, \tag{6}$$

Ovde je D veliki broj (na primer maksimum rastojanja parova elemenata skupa V). Lako se zaključuje da ova formulacija ima $\frac{n(n-1)}{2} + n + 1$ nepoznatih i $2n(n-1) + 1$ ograničenja.

3. METODA PROMENLJIVIH OKOLINA ZA PROBLEM RAZNOLIKOSTI

3.1. Reprezentovanje rešenja

Rešenje se reprezentuje kao niz x dužine n koji predstavlja permutaciju brojeva od 1 do n. Pored toga se zna (odredjuje) broj elemenata izdvojenih u skup M (neka je to broj m). Tada prvih m elemenata niza x predstavljaju oznake elemenata koji su izdvojeni u skup M, dok preostalih n-m elemenata niza x predstavljaju oznake onih elemenata koji nisu uključeni u skup M. Radi ubrzanja metode za svaki element skupa V (dakle ne samo one koji se nalaze u skupu M) se odredjuju rastojanja do najbližeg elementa u skupu M i do drugog najbližeg elementa u skupu M:

$$d'_j = \min\{d_{jx_i}, i = 1, 2, \dots, m\},\ n'_j = \arg\min\{d_{jx_i}, i = 1, 2, \dots, m\},$$
$$d''_j = \min\{d_{jx_i}, i = 1, 2, \dots, m, i \neq n'_j\},\ n''_j = \arg\min\{d_{jx_i}, i = 1, 2, \dots, m,\ i \neq n'_j\}.$$

Jasno, tada je najkraće rastojanje medju elementima koji pripadaju skupu M jednako

$$f(x) = \min\{d'_{x_i}, i = 1,2, \dots, m\}.$$

Pored toga, nizovi d' i d'' treba da ubrzaju lokalno pretraživanje.

3.2. Okoline

Kao prva varijanta se nameće okolina koju čine sva rešenja dobijena zamenom jednog para elemenata: jedan element koji pripada trenutnom rešenju razmenjuje mesto sa nekim elementom koji ne pripada rešenju. Medjutim, kako je cilj da se u okolini nadje bolje rešenje, onda element (čvor) koji se izbacuje treba da bude jedan od krajeva najkraće ivice, odnosno jedan od elemenata iz skupa M koji ima najmanju vrednost za d'

(ako se nijedan od krajeva najkraće ivice ne izbaci, onda dužina najkraće ivice u novom rešenju ne može biti veća od dužine najkraće ivice u trenutnom rešenju). Time je okolina redukovana, pa je i vreme istraživanja okoline skraćeno (umesto $m(n\text{-}m)$ rešenja iz te okoline proverava sa samo $2(n\text{-}m)$ (naravno ako postoji samo jedna ivica čija vrednost ima najmanju moguću vrednost)).
Kako efikasno proveriti da li je zamenom elemenata x_i (koje pripada rešenju) i x_j (koje ne pripada rešenju) dobijeno rešenje koje je bolje?
Za početak zbir kapaciteta elemenata koji pripadaju novom rešenje ne sme biti manji od zadatog minimalnog zbira kapaciteta (odnosno, novo rešenje treba da bude dopustivo). Međutim, ta provera se vrlo jednostavno izvodi, ako je poznat zbir kapaciteta elemenata koji pripadaju trenutnom rešenju. Novi zbir kapaciteta se dobija oduzimanjem kapaciteta elementa x_i i dodavanjem kapaciteta elementa x_j.
Drugi, složeniji deo je provera koliko iznosi dužina najkraće ivice čiji su krajevi u novom rešenju. Pravolinijska implementacija bi podrazumevala formiranje novog skupa M (izbacivanjem elementa x_i i dodavanjem elementa x_j), a nakon toga određivanje najkraće ivice u novom skupu M (što podrazumeva određivanje najmanjeg rastojanja od ukupno $m(m\text{-}1)/2$ rastojanja, pa bi složenost testiranja samo jednog rešenja iznoslila $O(m^2)$).
Ali, ako primenimo opisane pomoćne podatke, onda možemo ubrzati proveru da li je rešenje dobijeno nakon razmene bolje ili ne. Naime sa svaki element x_k (različit od x_i, koji se izbacuje) trenutnog rešenja dužina najkraće ivice čije je jedan kraj element x_k je jednaka:

- $d_{x_k x_j}$, ako je $d_{x_k x_j} \leq d'_{x_k}$,
- d'_{x_k}, ako je $d_{x_k x_j} > d'_{xk}$ i $x_i \neq n'_{x_k}$,
- $d_{x_k x_j}$, ako je $d_{x_k x_j} < d''_{x_k}$ i $x_i = n'_{x_k}$,
- d''_{x_k}, ako je $d_{x_k x_j} > d''_{xk}$ i $x_i = n'_{x_k}$.

Takodje, za element x_j koji se dodaje u rešenje treba odrediti najkraću ivicu čije je dan kraj baš čvor x_j, ali to se izvodi na potpuno isti način.
Nabrojane provere se izvode u konstantnom vremenu. Kako isti postupak treba ponoviti za svaki element rešenja, to je određivanje najkraće ivice čiji su krajevi čvorovi iz skupa M ima složenost $O(m)$, pa je složenost testiranja jednog rešenja iz ove okoline $O(m)$. Zbog toga je složenost istraživanja kompletne okoline $O(m(n\text{-}m))$. Ali videćemo da se uglavnom ne istražuje kompletna okolina već deo okoline do pronalaženja prvog rešenja (u toj okolini) koje je bolje od trenutnog rešenja (tzv. strategija prve popravke, engl. *first improvement*).
Nakon pronalaženja para čvorova čijom razmenom se dobija bolje rešenje, razmenjuju se odgovarajući čvorovi, tj. formira se novo rešenje. Samim tim što je promenjeno rešenje menjaju se i vrednosti pomoćnih nizova d', d'' i n' i zbog toga oni moraju biti izračunati. Složenost ažuriranja je $O(n)$.
Ovo nije jedina okolina koju ima smisla primenjivati, ali smo se mi u ovom radu ograničili samo na nju. To jasno, utiče na performanse metode, ali smatramo da su i sa primenom samo ove okoline rezultati vrlo dobri.

3.3. Razmrdavanje

Jedan od sastavnih delova metode je Razmrdavanje (shaking). Razmrdavanje predstavlja skok (prelaz) u jednu od unapred definisanih okolina $\mathcal{N}_k$. Okolinu $\mathcal{N}_k(x)$ trenutnog rešenja čine sva rešenja na *rastojanju k* od trenutnog rešenja x. Rastojanje se obično definiše na prirodan način. U ovom slučaju to može biti broj elemenata u simetričnoj razlici ta dva rešenja. Naime, svako od dva rešenja je neki podskup svih čvorova grafa, pa se samim tim može računati njihova razlika. Mi smo se odlučili da razmrdavanje u okolini $\mathcal{N}_k$ izvedemo tako što ćemo ponoviti k puta razmenu na slučajan način izabranog elementa koje jeste u rešenju sa na slučajan način izabranim elementom koje nije u rešenju. Pri tome ne obraćamo pažnju na dopustivost, tj. da li zbir kapaciteta onih koji jesu u rešenju (tj. prvih m elemenata u nizu) nije manji od zadate vrednosti. Primetimo da na ovaj način simetrična razlika ne mora nužno biti k, tj. dobijeno rešenje ne mora biti u okolini $\mathcal{N}_k(x)$ (tačnije, može iznositi do $2k$, zavisno od toga kako su birani elementi koji se razmenjuju). Nakon toga, da bi dobili dopustivo rešenje određujemo najmanji broj m takav da zbir kapaciteta prvih m elemenata niza koje reprezentuje rešenje nije manji od zadate vrednosti. Na kraju se izračunaju vrednosti pomoćnih nizova d', d'' i n'.

3.4. Inicijalno rešenje

Mi smo se odlučili da inicijalno rešenje odredjujemo na slučajan način. To postižemo tako što na slučajan način ispermutujemo brojeve od 1 do *n* (koji predstavljaju oznake elemenata skupa/grafa). Tako dobijena permutacija se može posmatrati kao niz od *n* elemenata koji reprezentuje rešenje. Kao i kod razmrdavanja određujemo najmanju broj *m* sa osobinom da zbir kapaciteta prvih *m* elemenata tog niza nije manji od zadate minimalne vrednosti za zbir kapaciteta. Na kraju se izračunaju vrednosti pomoćnih nizova d', d'' i n'.

3.5. Metoda promenljivih okolina

Metoda promenljivih okolina [2] ima određen broj parametara

- Minimalna okolina u kojoj se vrši razmrdavanje $k_{\min}$;
- Maksimalnu okolinu u kojoj se vrši razmrdavanje $k_{\max}$;
- "Korak" koji govori o tome za koliko se menja okolina ako nakon izvođenja razmrdavanja i lokalnog pretraživanja nije popravljeno trenutno najbolje rešenje k_{step} (nije obavezan i tada obično ima vrednost 1);
- Neki kriterijum za okončanje postupka (najčešće vreme, ali može i broj iteracija bez popravke, ili nešto treće).

Metoda počinje formiranjem inicijalnog rešenja *x* i postavljanjem rednog broja okoline za razmrdavanje na minimalnu vrednosti ($k_{\text{tek}} \leftarrow k_{\min}$). Nakon toga se ponavljaju koraci:

1. Razmrdavanje u trenutnu okolinu nakon čega se dobija rešenje x';
2. Lokalno pretraživanja od rešenja x', nakon čega se dobija novo rešenje x'';
3. Odluka da li se pomeramo u novo rešenje ili ne:
    a. Ako je novo rešenje x'' bolje od trenutno najboljeg x, onda ono postaje novo najbolje ($x \leftarrow x''$) i redni broj okoline za razmrdavanje se postavlja na $k_{\min}$ ($k_{\text{tek}} \leftarrow k_{\min}$).
    b. Ako novo rešenje x'' nije bolje od trenutno najboljeg x, onda se ne menja rešenje x (tj. ono ostaje tekuće najbolje), redni broj okoline za razmrdavanje se uvećava za k_{step} ($k_{\text{tek}} \leftarrow k_{\text{tek}}+k_{\text{step}}$), ali ako je posle toga veći od $k_{\max}$, onda se ponovo postavlja na $k_{\min}$.

Opisani postupak se ponavlja sve dok se ne steknu uslovi za kraj postupka.

4. REZULTATI TESTIRANJA

4.1. Test instance

Kao što smo već pisali, Perio i ostali [2] su za potrebe testiranja svojih metoda razvili jednu veliku kolekciju instanci. Te instance su dobijene od instanci iz biblioteke MDPLIB. Biblioteku MDPLIB su generisali Marti i Duarte za testiranje metode za Problem Maksimalne Raznolikosti (Maximum Diversity Problem). Kao što smo pisali Problem Maksimalne Raznolikosti se sastoji od određivanja podskupa *U* koji sadrži tačno *m* čvorova iz grafa *G*=(*V*,*E*) koji ima *n* čvorova tako da je zbir rastojanja izmedju svih parova čvorova koji se nalaze u skupu *U* maksimalan. U ovim instancama su zadata rastojanja između svih parova čvorova, tj. svi grafovi su kompletni neorijentisani grafovi.

Da bi dopunili do instanci za problem Maksimalne Raznolikosti sa Kapacitetima, Peiro i ostali su dodali kapacitete svim čvorovima grafa. Kapaciteti su slučajno izabani celi brojevi iz intervala [1,1000]. Za svaki takav graf su formirali dve instance: jednu kod koje minimalni zbir kapaciteta iznosi 20% zbira kapaciteta svih čvorova grafa i jednu kod koje minimalni zbir kapaciteta iznosi 30% zbira kapaciteta svih čvorova. U svakoj od dve grupe postoji 50 instanci:

- GKD-b: 10 instanci sa po *n*=50 čvorova,
- GKD-b: 10 instanci sa po *n*=150 čvorova,
- GKD-c: 10 instanci sa po *n*=500 čvorova,
- SOM-a: 10 instanci sa po *n*=50 čvorova,
- MDG-b: 10 instanci sa po *n*=500 čvorova.

4.2. Parametri metode

Metoda je isprogramirana u programskom jeziku C++. Vrednosti parametara $k_{\min}$ i k_{step} su postavljene na 1, dok je vrednost parametra $k_{\max}$ jednaka trenutnoj veličini skupa koji predstavlja rešenje (tj. broj elemenata u

rešenju). Kriterijum za kraj izračunavanja je vreme trajanja i ono je postavljeno na $n/5$, gde je n broj čvorova u grafu.

4.3. Rezultati testiranja

Rezultati su prikazani u Tabeli 1 (za instance kod kojih je minimalni zbirni kapacitet izdvojenih čvorova jednak 20% od ukupnog kapaciteta svih čvorova) i Tabeli 2 (za instance kod kojih je minimalni zbirni kapacitet izdvojenih čvorova jednak 30% od ukupnog kapaciteta svih čvorova). Prva kolona sadrži naziv grupe instanci. Druga kolona sadrži informaciju o veličini svake instance iz odgovarajuće grupe (broj čvorova u grafu). Treća kolona sadrži prosečne rezultate za instance iz odgovarajuće grupe, dobijene primenom metode strategijskih oscilacija. U četvrtoj koloni su prikazana (prosečna) vremena do pronalaženja najboljeg rešenja primenom metode strategijskih oscilacija za odgovarajuće grupe instanci. Peta, šesta i sedma kolona sadrže prosečne vrdnosti za najbolje, srednje i najlošije rešenje za odgovarajuću grupu instanci dobijene primenom metode promenljivih okolina. Poslednja kolona sadrži prosečno vreme do pronalaženja najboljeg rešenje za metodu baziranu na metodi promenljivih okolina.
Iz tabela možemo zaključiti da su najbolja rešenja dobijena primenom metode bazirane na metodi promenljivih okolina jednaka ili bolja od rešenja dobijenih metodom strategijskih oscilacija. Primetimo da se razlika u korist metode promenljivih okolina povećava sa povećanjem veličine instanci. Za instance sa 500 čvorova kod kojih je minimalni ukupni kapacitet jednak 20% zbira svih kapaciteta, najbolje rešenje dobijeno metodom promenljivih okolina je za 22.52% (grupa instanci GKD-c), odnosno 40.82% (grupa instanci MDG-b) bolje od rešenja dobijenih metodom strategijskih oscilacija. Za instance sa 500 čvorova kod kojih je minimalni ukupni kapacitet jednak 30% zbira svih kapaciteta, najbolje rešenje dobijeno metodom promenljivih okolina je za 26.73% (grupa instanci GKD-c), odnosno 133.91% (grupa instanci MDG-b) bolje od rešenja dobijenih metodom strategijskih oscilacija.
Može se primetiti da za velike instance postoji određena razlika između najboljih i najlošijih rešenja dobijenih metodom baziranom na metodi promenljivih okolina. To je verovatno posledica relativno jednostavnog lokalnog pretraživanja. Naime, lokalno pretraživanje dozvoljava samo razmenu dva čvora, tako da se broj čvorova u izdvojenom skupu (rešenju) ne može promeniti (smanjiti ili povećati). Intuitivno, smanjenje broja elemenata u rešenju može dovesti do povećanja najmanjeg rastojanja između elemenata koji pripadaju rešenju. Metoda promenljivih okolina se može poboljšati dodavanjem novih okolina u lokalnom pretraživanju, što je sledeći korak (koji za sada nismo uspeli da realizujemo).

Tabela 1: Poredjenje rezultata dobijenih primenom metode bazirane na metodi promenljivih okolina i rezultata dobijenih primenom metode strategijskih oscilacija. Instance kod kojih je minimalni zbirni kapacitet izabranih čvorova jednak 20% zbira kapaciteta svih čvorova

Grupa instanci	Veličina instanci	SO-vrednost	SO-vreme	VNS-max	VNS-prosečno	VNS-min	VNS-vreme
GKD-b	50	112.33	0.00	112.33	112.32	112.21	0.00
GKD-b	150	118.15	15.20	118.22	117.43	117.00	6.42
GKD-c	500	7.46	18.50	9.14	9.05	8.95	11.67
SOM-a	50	4.10	0.00	4.10	4.10	4.10	0.03
MDG-b	500	34.35	25.40	48.37	48.15	47.97	10.83

Tabela 2: Poredjenje rezultata dobijenih primenom metode bazirane na metodi promenljivih okolina i rezultata dobijenih primenom metode strategijskih oscilacija. Instance kod kojih je minimalni zbirni kapacitet izabranih čvorova jednak 30% zbira kapaciteta svih čvorova

Grupa instanci	Veličina instanci	SO-vrednost	SO-vreme	VNS-max	VNS-prosečno	VNS-min	VNS-vreme
GKD-b	50	96.99	0.10	97.79	97.65	97.51	0.53
GKD-b	150	106.85	47.40	107.31	106.48	105.79	6.89
GKD-c	500	6.49	40.90	8.16	8.10	8.01	5.70
SOM-a	50	1.50	0.00	2.10	2.10	2.10	0.23
MDG-b	500	10.47	45.30	24.49	21.98	20.10	4.45

5. ZAKLJUČAK

U radu je prikazana metoda bazirana na metodi promenljivih okolina za rešavanje problema maksimizacije različitosti sa kapacitetima. Metoda je testirana na instancama generisanim od strane autora metode strategijskih oscilacija (Peiro i ostali [2]). Dobijeni rezultati su upoređeni sa rezultatima dobijenim metodom strategijskih oscilacija. Testiranja pokazuju da metoda bazirana na metodi promenljivih okolina pronalazi značajno bolja rešenja (posebno za velike instance) od metode strategijskih oscilacija. Naredna istraživanja su vezana za dodavanje novih okolina i razvoj Uopštene metode promenljivih okolina (Generalized Variable Neighborhood Search, GVNS). Pored ostalog, razmišljamo i o primeni razvijene metode kao dela sistema za dokaz o korisnom radu (*Proof-of-Useful-Work*) u blok-čejn sistemima.

Zahvalnica: Ovaj rad je delemično podržan od strane Ministarstva prosvete nauke i tehnološkog razvoja i od strane Fonda za nauku Republike Srbije kroz projekat *AI4TrustBC* (*Advanced Artificial Intelligence Techniques for Analysis and Design of System Components Based on Trustworthy BlockChain Technology*).

LITERATURA

[1] Duarte A., Martí R. (2007). Tabu search and GRASP for the Maximum Diversity Problem. European Journal of Operational Research 178, 71-84.

[2] Hansen P., Mladenović N. (1997). Variable neighborhood search. Computers and operations research 24(11), 1097-1101.

[3] Peiro J, Jimenez I, Laguardia J, Martí R. (2020), Heuristics for the Capacitated Dispersion Problem, International Transactions in Operational Research (u štampi).

[4] Resende M.G.C., Martí R., Gallego M., Duarte A. (2010). GRASP with path relinking for the maxmin diversity problem. Computers and Operations Research 37, 498-508.

[5] Rosenkrantz, D.J., Tayi, G.K., Ravi, S.S. (2000). Facility dispersion problems under capacity and cost constraints. Journal of Combinatorial Optimization 4, 7-33.

[6] Silva G.C., Ochi L.S., Martins S.L. (2004) Experimental Comparison of Greedy Randomized Adaptive Search Procedures for the Maximum Diversity Problem. In: Ribeiro C, Martins C Simone L. (Eds.), Experimental and efficient algorithms, vol. 3059. Springer: Berlin. 498-512.

[7] Silva, G.C., Andrade, M.R.Q., Ochi, L.S., Martins, S.L., Plastino, A. (2007). New Heuristics for the Maximum Diversity Problem. Journal of Heuristics 13(4), 315-336.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

DVOKRITERIJUMSKI DINAMIČKI PROBLEM MAKSIMALNOG POKRIVANJA LOKACIJA

BI-OBJECTIVE DYNAMIC MAXIMAL COVERING LOCATION PROBLEM

LAZAR MRKELA[1], ZORICA STANIMIROVIĆ[2]

[1] Univerzitet Metropolitan, Tadeuša Košćuška 63, Beograd, Srbija, lazar.mrkela@metropolitan.ac.rs

[2] Matematički fakultet - Univerzitet u Beogradu, Studentski trg 16, Beograd, Srbija, zoricast@matf.bg.ac.rs

Rezime: *U radu je predložen dvokriterijumski problem dinamičkog maksimalnog pokrivanja lokacija (engl. Bi-Objective Dynamic Maximal Covering Location Problem, Bi-DMCLP) koji uključuje više vremenskih perioda. Motivacija za uvođenje ovog problema je nalaženje balansa između potražnje pokrivenih korisnika i troškova snabdevača na odabranim lokacijama tokom posmatranih vremenskih perioda. Razmatrane su dve funkcije cilja: prva predstavlja sumu pokrivene potražnje korisnika, dok drugu čini ukupna cena otvorenih snabdevača. U cilju efikasnog nalaženja što većeg broja kvalitetnih rešenja, problem je rešavan primenom tri evolutivna algoritma za višekriterijumsku optimizaciju koji su prilagođeni problemu Bi-DMCLP. Performanse algoritama su upoređene korišćenjem nekoliko standardnih metrika na skupu generisanih instanci. Pored toga, analiziran je i uticaj broja razmatranih vremenskih perioda na referentne skupove rešenja.*

Ključne reči: *problem maksimalnog pokrivanja lokacija, dinamički lokacijski problem, evolutivni algoritmi, višekriterijumska optimizacija*

Abstract*: This paper introduces a variant of bi-objective dynamic maximal covering location problem (Bi-DMCLP) with multiple time periods involved. The motivation is to find the balance between the total covered customer demand and the total costs of facilities over considered time periods. Two objective functions are involved: the first objective maximizes the sum of covered demands, while the second objective minimizes the costs of opened facilities. Three multi-objective evolutionary algorithms (MOEAs) from the literature are adapted and used to efficiently find the set of high-quality solutions of the considered Bi-DMCLP. Performances of the three MOEAs are compared by using several standard performance measures on the set of newly generated problem instances. Additionally, the influence of the number of time periods on the resulting reference sets is analyzed.*

Keywords: *maximal covering location problem, dynamic location problem, evolutionary algorithms, multi-objective optimization*

1. UVOD

Problem maksimalnog pokrivanja lokacija (engl. *Maximal Covering Location problem, MCLP*) je klasični NP-težak lokacijski problem, formulisan 1974. godine u radu [4]. U osnovnoj varijanti MCLP, polazi se od zadatog skupa lokacija korisnika i skupa potencijalnih lokacija snabdevača, pri čemu korisnik može biti uslužen isključivo od snabdevača koji su od njega udaljeni ne više od zadatog rastojanja (radijusa pokrivanja). Zadatak je odabrati p lokacija za uspostavljanje snabdevača tako da se maksimizuje ukupna potražnja pokrivenih korisnika. MCLP ima značajnu primenu u brojnim oblastima: u dizajnu telekomunikacijskih mreža (lokacija predajnika mobilne telefonije, baznih stanica, kontrolera, antena), planiranju sistema hitnih službi, distributivnih mreža itd.

U literaturi postoje razne varijante MCLP problema, koje su nastale uključivanjem dodatnih ograničenja koji reflektuju uslove iz konkretnih realnih situacija. Neka od dodatih ograničenja su: fiksni troškovi uspostavljanja snabdevača na svakoj od potencijalnih lokacija, preferencije korisnika, pretpostavke o različitim geometrijskim oblicima oblasti snabdevanja, koncept parcijalnog pokrivanja korisnika, nepouzdanost ulaznih podataka, ograničenja kapaciteta snabdevača, razmatranje više perioda itd. Imajući u vidu da su potrebe korisnika i snabdevača različite, u literaturi su dosta razmatrana i proširenja MCLP koja uključuju dve ili više funkcija cilja. Na primer, u [5] predložen je dvokriterijumski MCLP koji istovremeno maksimizuje sumu zahteva pokrivenih korisnika i težinsku sumu rastojanja između nepokrivenih korisnika i njima najbližih uspostavljenih snabdevača. Karaskal i Silva [13] su formulisali dvokriterijumski MCLP koji za ciljeve ima maksimizaciju potpuno ili parcijalno pokrivenih zahteva korisnika i minimizaciju maksimalnog rastojanja između nepokrivenih korisnika i njima

najbližih uspostavljenih snabdevača. Varijante MCLP sa više funkcija cilja koje odslikavaju različite zahteve iz realnih situacija (pokrivenost korisnika, vreme opsluživanja, tehničke, organizacone, socio-ekonomske, političke zahteve) razmatrani su u [1, 2, 6, 20]. Pregled varijanti MCLP, primena i metoda za rešavanje dat je u [11].

Analizirajući mreže snabdevanja tokom dužeg vremenskog perioda, često se mogu identifikovati kraći periodi koje karakterišu različite vrednosti nekih parametara, kao što su različiti zahtevi korisnika, cena otvaranja ili funkcionisanja uslužnih centara tokom različitih perioda, itd. Stoga je prirodno dozvoliti da se odluke o lokaciji snabdevača i alokaciji korsnika donose na nivou jednog perioda, uz poštovanje određenih uslova koji važe za sve periode [14, 11]. Na primer, u radu [19] je predložen višeperiodni dvokriterijumski lokacijski model koji opisuje problem sakupljanja elektronskog i električnog otpada u domaćinstvima. Problem optimalnih lokacija kamera za nadzor saobraćajnih raskrsnica formulisan je kao višeperiodni MCLP u radu [10]. Paulino de Oliviera i sar. [16] su razmatrali problem određivanja baznih centara hitne pomoći i raspoređivanje vozila po uspostavljenim centrima u gradu Belo Horizonte, Brazil i predložili su dva višeperiodna dvokriterijumska lokacijska modela sa deterministčkim i probabilističkim konceptima pokrivanja.

U ovom radu predložena je varijanta dvokriterijumskog MCLP koja uključuje više vremenskih perioda. Kao i kod klasičnog MCLP, polazi se od zadatog skupa lokacija korisnika i skupa potencijalnih lokacija za otvaranje snabdevača (uslužnih centara). Za svakog korisnika poznat je njegov zahtev (u smislu količine robe ili usluge koju potražuje) u određenom periodu. Korisnik se smatra pokrivenim ukoliko njegova potražnja može biti zadovoljena od strane bar jednog otvorenog uslužnog centra koji se nalazi na rastojanju ne većem od unapred zadatog radijusa pokrivanja. Za svaku potencijalnu lokaciju snabdevača poznati su troškovi za njegovo otvaranje u određenom periodu. Neophodno je odabrati lokacije na kojima će biti otvoreni snabdevači u zadatim periodima tako da se istovremeno maksimizuje ukupna suma zahteva pokrivenih korisnika i minimizuju ukupni troškovi snabdevača u svim periodima. Koliko nam je poznato, ova varijanta dvokriterijumskog MCLP nije do sada razmatrana u literaturi.

U cilju efikasnog rešavanja predloženog dvokriterijumskog dinamičkog MCLP, primenjen je evolutivni pristup. Evolutivni algoritmi za višekriterijumsku optimizaciju (engl. *Multi-objective evolutionary algorithms*, MOEAs) su se pokazali uspešnim pri rešavanju različitih varijanti dvokriterijumskih i višekriterijumskih lokacijskih problema [3, 15, 17, 19], uključujući i višekrterijumski MCLP [13, 21].

Ostatak rada je organizovan na sledeći način. Matematička formulacija predloženog problema prezentovana je u Sekciji 2. Opis predloženih evolutivnih algoritama za rešavanje dvokriterijumske varijante DMCLP dat je u Sekciji 3. Eksperimentalni rezultati i poređenja prikazani su u Sekciji 4. Sekcija 5 sadrži zaključke i moguće pravce daljih istraživanja.

2. MATEMATIČKA FORMULACIJA PROBLEMA

Neka je J skup lokacija korisnika, I skup lokacija na kojima mogu biti otvoreni uslužni centri (snabdevači), a T skup posmatranih perioda. Rastojanje između lokacije korisnika $j \in J$ i potencijalne lokacije snadevača $i \in I$ označeno je sa s_{ij}. U zavisnosti od realne situacije koja se razmatra, rastojanje s_{ij} može predstavljati euklidsko rastojanje izmedju dve tačke u ravni, najkraći put izmedju dva čvora grafa u mreži, ali može odslikavati i troškove ili neophodno vreme transporta izmedju dve lokacije. Radijus pokrivanja r je maksimalno rastojanje između lokacije korisnika j i lokacije snabdevača i koje omogućava da korisnik j bude opslužen od strane snabdevača i. Korisnik se smatra pokrivenim ako postoji bar jedan otvoren snabdevač koji se od njega nalazi na udaljenosti ne većoj od r. Na osnovu datih ulaznih podataka, može se formirati pomoćni skup $I(j)$ sačinjen od svih lokacija $i \in I$ koje mogu da pokriju korisnika j. Svakom korisniku $j \in J$ pridružen je pozitivan broj D_{jt} koji označava količinu zahteva datog korisnika u periodu $t \in T$ (broj jedinica količine robe, obim usluge, količina protoka itd). Svakoj potencijalnoj lokaciji $i \in I$ pridružen je broj c_{it} koji predstavlja operativne troškove (cenu) snabdevača u periodu $t \in T$.

U cilju formulacije matematičkog modela razmatranog problema, uvode se dva skupa binarnih promenljivih odluke. Promenljiva y_{it}, $i \in I$ uzima vrednost 1 ako je na lokaciji i otvoren snabdevač u periodu $t \in T$, a 0 inače. Promenljiva x_{jt}, $j \in J$ ima vrednost 1 ako je korisnik na lokaciji j pokriven nekim od otvorenih snabdevača u periodu $t \in T$, a nula inače.

Koristeći navedenu notaciju i model iz [23], predložena varijanta MCLP može se zapisati u vidu celobrojnog linearnog programa:

$$\max \quad F_1 = \sum_{t \in T} \sum_{j \in J} D_{jt} x_{jt} \ , \quad \min \quad F_2 = \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} c_{it} y_{it} \tag{1}$$

pri ograničenjima

$$x_{jt} \leq \sum_{i \in I(j)} y_{it}, \quad \forall j \in J, t \in T, \tag{2}$$

$$y_{it} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, t \in T, \tag{3}$$

$$x_{jt} \in \{0,1\} \quad \forall j \in J, t \in T. \tag{4}$$

Prva funkcija cilja F_1 je suma ukupne pokrivene potražnje svih korisnika iz svih perioda. Druga funkcija cilja F_2 je suma ukupnih troškova snabdevača, tj. zbir svih troškova svakog otvorenog snabdevača za svaki period. Cilj problema (1) je maksimizovati vrednost F_1 i istovremeno minimizovati vrednost F_2 pod sledećim uslovima. Korisnik $j \in J$ u periodu $t \in T$ može biti pokriven samo lokacijom na kojoj je otvoren snabdevač, što je garantovano uslovom (2). Promenljive y_{it} i x_{jt}, $i \in I$, $j \in J$, $t \in T$ su binarne, što je definisano uslovima tipa (3) i (4), respektivno.

3. EVOLUTIVNI PRISTUP REŠAVANJU DVOKRITERIJUMSKOG DMCLP

U cilju rešavanja predloženog dvokriterijumskog DMCLP, korišćena su tri poznata evolutivna algoritma za višekriterijumsku optimizaciju:

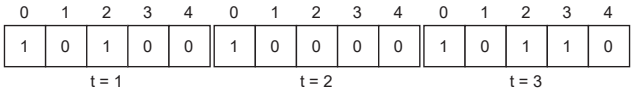
- NSGA-II, genetski algoritam zasnovan na brzom sortiranju nedominiranih rešenja (engl. *Non-dominated Sorting*) sa elitizmom [8].
- SPEA-II, unapređena verzija SPEA algoritma (engl. *Strength Pareto Evolutionary Algorithm*) [22].
- PESA-II, evolutivni algoritam koji ne dodeljuje funkciju prilagođenosti pojedinačnim rešenjima, već regionu (engl. *hyperbox*) u prostoru rešenja koji sadrži bar jedno rešenje. Selekcijom se bira region, dok se konkretno rešenje iz regiona bira slučajno [7].

Osnovna struktura MOEA algoritama prikazana je kao Algoritam 1. Svaki od MOEA algoritama kao rezultat vraća skup svih nedominiranih rešenja koja su pronađena u toku izvršavanja. Detaljan opis NSGA-II, SPEA-II i PESA-II može se naći u originalnim radovima [8, 22, 7].

Algoritam 1 Osnovna struktura MOEA algoritama

```
1: Generisanje početne populacije rešenja
2: while kriterijum zaustavljanja nije ispunjen do
3:     Operator selekcije
4:     Operatori varijacije (ukrštanje i mutacija)
5:     Evaluacija novih rešenja
6:     Ažuriranje tekuće populacije
```

Implementacije NSGA-II, SPEA-II i PESA-II su prilagođene karakteristikama predložene varijante dvokriterijumskog DMCLP. Kod sva tri MOEA, rešenje problema je predstavljeno kao binarni niz dužine $|I| \times |T|$, gde svaki bit odgovara jednoj potencijalnoj lokaciji u određenom periodu (videti Sliku 1). Ako bit na poziciji n u nizu ima vrednost 1, to znači da je na lokaciji $i = n \pmod{|T|}$ otvoren snabdevač u periodu $t = \lfloor n/|T| \rfloor + 1$ i promenljiva y_{it} uzima vrednost 1. U suprotnom, snabdevač nije otvoren na lokaciji i u periodu t i $y_{it} = 0$. Za svakog korisnika j, čuva se potražnja D_{jt} za svaki period t i lista potencijalnih lokacija koje ga pokrivaju $I(j)$.



Slika 1 Primer reprezentacije jednog rešenja za $|I| = 5$ i $|T| = 3$

Sve tri MOEA implementacije koriste istu proceduru za evaluaciju rešenja. Ukupna potražnja se čuva u promenljivoj F_1, koja odgovara vrednosti prve funkciji cilja. U promenljivoj F_2 koja se odnosi na vrednost druge funkcije cilja čuva se ukupna cena otvorenih snabdevača. Obe promenljive F_1 i F_2 imaju vrednost 0 na početku procedure evaluacije rešenja. Svaki korisnik j se u svakom periodu t dodeljuje prvoj lokaciji iz liste potencijalnih lokacija na kojoj je otvoren snabdevač u tom periodu, a koja se nalazi na udaljenosti ne većoj od r od korisnika j. Ako takva lokacija $i \in I(j)$ postoji, korisnik j se smatra pokrivenim i vrednost F_1 se uvećava za potražnju korisnika D_{jt}. U slučaju da ne postoji lokacija koja pokriva korisnika j, a na kojoj je otvoren snabdevač u periodu t, korisnik j se smatra nepokrivenim u periodu t i vrednost promenljive F_1 ostaje

nepromenjena. Na kraju, vrednost promenljive F_2 se dobija sabiranjem cena lokacija na kojima su otvoreni snabdevači za svaki period.

Inicijalna populacija rešenja je generisana na slučajan način kod sve tri MOEA implementacije. U toku faze selekcije koristi se binarna turnirska selekcija. Jednopoziciono ukrštanje (engl. *one-point crossover*) se koristi za kreiranje novih rešenja, dok se kao operator mutacije primenjuje prosta mutacija, koja sa izvesnom verovatnoćom invertuje slučajno izabrani bit (engl. *bit flipping*). Kriterijum zaustavljanja je dostignut zadat maksimalan broj evaluacija rešenja It_{max}.

4. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Algoritmi NSGA-II, SPEA-II i PESA-II su implementirani u Java programskom jeziku, koristeći MOEA framework [12]. Svi eksperimenti su izvršeni na računaru sa Intel Core i3-4170 @ 3.70GHz procesorom i 8GB RAM memorije. Evaluacija performansi sva tri MOEA algoritma izvršena je na skupu od 20 slučajno generisanih MCLP instanci, koje su podeljene u 4 grupe od po 5 instanci iste veličine. Veličina instance je određena brojem lokacija korisnika i brojem potencijalnih lokacija snabdevača: 450×50, 900×100, 1800×200, and 3600×400. Prvo je generisano $n = |I| + |J|$ slučajnih tačaka u jediničnom kvadratu $[0,1] \times [0,1]$, od kojih je 10% uzeto za potencijalne lokacije, dok ostale tačke predstavljaju korisnike. Radijus pokrivanja r je postavljen na 0.2 za sve instance. Količina zahteva svakog korisnika u nekom periodu se generiše kao slučajan broj iz intervala [1-100]. Za svaku potencijalnu lokaciju i uzima se slučajna vrednost za cenu u određenom periodu c_{it} iz skupa {1,2,3,4,5}. Kod svih instanci se razmatra slučaj sa tri perioda, tj. $|T| = 3$.

Kako je pravi Pareto front nepoznat, referentni skup se dobija kombinacijom Pareto frontova svih algoritama iz svih pokretanja. Za poređenje MOEA algoritama koristimo pet poznatih indikatora performansi [18]:

- *Hypervolume, HV* - veličina prostora rešenja kojim dominiraju rešenja iz aproksimativnog skupa;
- *Size, S* - broj rešenja u aproksimativnom skupu;
- *Contribution, C* - odnos između veličine preseka referentnog i aproksimativnog skupa i veličine referentnog skupa. Ova metrika govori koji deo referentnog skupa se poklapa sa aproksimativnim (u slučaju $C = 1$, aproksimativni skup jednak referentnom);
- *Inverted Generational Distance, IGD* - prosečno rastojanje između rešenja iz referentnog skupa do najbližeg rešenja iz aproksimativnog skupa;
- *Additive Epsilon Indicator, EPS+* - najmanja vrednost za koju treba translirati aproksimativni skup kako bi on dominirao nad referentnim skupom.

Kod sva tri MOEA algoritma, veličina populacije je postavljena na 100 rešenja, verovatnoća ukrštanja je jednaka 0.9, dok je verovatnoća mutacije $1.0/(|T| \times |I|)$. Parametar k koji se koristi u okviru SPEA-II algoritma fiksiran je na 1, što znači da se gustina računa u odnosu na najbliže susedno rešenje. Broj novih potomaka u svakoj iteraciji SPEA-II algoritma je takođe postavljen na 100. Broj polovljenja prostora rešenja po svakoj funkciji cilja kod PESA-II algoritma se računa na osnovu parametra *bisections* koji je postavljen na 4 (prostor se po svakoj osi deli na $2^4 = 16$ delova).

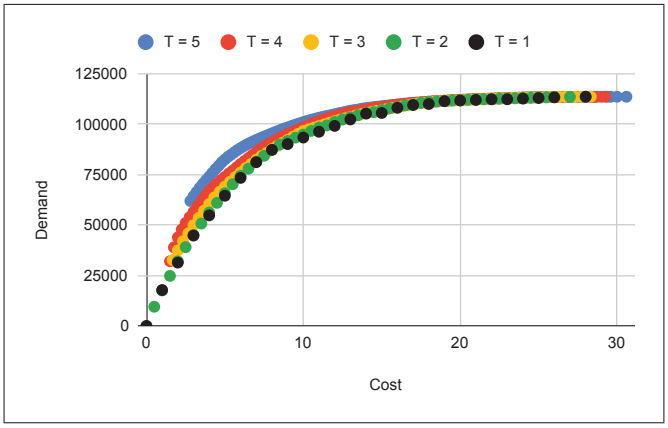
Kriterijum zaustavljanja je dostignut maksimalan broj evaluacija rešenja koji je postavljen na $It_{max} = 100000$ za sva tri MOEA algoritma. Svaki MOEA algoritam je pokretan 10 puta na svakoj instanci i rezultati su dati u Tabeli 1: na sledeći način. Za svaku metriku (HV, S, C, IGD, EPS+) u tabeli su prikazane srednja (mean), najmanja (min) i najveća vrednost (max), kao i medijana (median) na osnovu rezultata iz 10 pokretanja. U svrhu analize kvaliteta rešenja, prikazana je i standardna devijacija (std) vrednosti navednih metrika. Vrednosti prikazane u tabeli predstavljaju proseke po svakoj grupi instanci. Na isti način, prikazano je i prosečno vreme potrebno za izvršavanje svakog od MOEA u odgovarajućoj koloni $t(s)$. Najbolja srednja vrednost (*mean*) za svaki indikator je prikazana podebljanim slovima. Pritom treba imati u vidu da je cilj povećati vrednost HV, S i C indikatora, a smanjiti vrednosti IGD i EPS+ indikatora, tj. smanjiti rastojanje od referentnog skupa.

Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da sva tri algoritma rešavaju problem efikasno. PESA-II je pokazao bolje performanse od ostala dva algoritma kada se posmatraju prosečne vrednosti HV, IGD i EPS+ indikatora. NSGA-II daje najbolju srednju vrednost za C indikator za instance iz grupe 450x50 i 3600x400, dok SPEA-II daje za grupu 900x100. Za prve tri grupe instanci PESA-II je dao i najveći prosečan broj rešenja aproskimativnog skupa, dok u poslednjoj grupi (3600x400) NSGA-II daje skupove sa nešto više rešenja u proseku. Što se tiče vremena izvršavanja, performanse algoritama su slične, jedina značajna razlika je na najmanjoj grupi instanci, 450x50, gde je SPEA-II skoro dva puta sporiji od ostala dva algoritma. Na osnovu standardne devijacije (*std*) vrednosti indikatora može se zaključiti da su sva tri algoritma relativno stabilna. Rezultati ukazuju na potencijal PESA-II algoritma (koji nije zastupljen u literaturi koliko NSGA-II i SPEA-II) za rešavanje dvokriterijumskih lokacijskih problema.

Tabela 1: Rezultati i poređenja NSGA-II, SPEA-II i PESA-II

Grupa		NSGA-II						SPEA-II						PESA-II					
		HV	S	C	IGD	EPS+	t(s)	HV	S	C	IGD	EPS+	t(s)	HV	S	C	IGD	EPS+	t(s)
450x50	mean	0.784	85.340	**0.141**	**0.012**	0.055	5.38	0.760	80.960	0.112	0.030	0.125	9.87	**0.785**	**85.720**	0.092	**0.012**	**0.049**	5.11
	std	0.009	3.675	0.123	0.007	0.029	0.09	0.013	3.707	0.106	0.009	0.029	0.72	0.007	4.065	0.100	0.006	0.029	0.15
	min	0.765	78.800	0.002	0.005	0.014	5.31	0.736	74.800	0.004	0.017	0.081	9.36	0.773	79.200	0.007	0.004	0.010	5.01
	median	0.786	85.600	0.117	0.011	0.051	5.35	0.762	81.400	0.088	0.030	0.122	9.55	0.787	85.600	0.050	0.010	0.045	5.04
	max	0.792	90.000	0.359	0.029	0.115	5.48	0.777	86.800	0.268	0.047	0.173	10.70	0.792	91.400	0.292	0.023	0.098	5.29
900x100	mean	0.783	73.360	0.023	0.029	0.097	14.030	0.740	66.540	**0.042**	0.053	0.178	17.669	**0.792**	**76.760**	0.036	**0.023**	**0.068**	13.367
	std	0.016	4.774	0.048	0.011	0.039	1.261	0.027	4.855	0.080	0.015	0.042	1.280	0.015	4.406	0.052	0.011	0.043	0.812
	min	0.752	65.400	0.000	0.013	0.029	12.992	0.692	59.200	0.000	0.029	0.116	16.814	0.759	69.600	0.000	0.011	0.017	12.68
	median	0.786	73.400	0.003	0.027	0.096	13.665	0.744	66.800	0.004	0.053	0.177	17.052	0.795	76.700	0.012	0.021	0.065	13.15
	max	0.805	81.800	0.148	0.049	0.157	15.434	0.779	73.000	0.239	0.078	0.245	19.141	0.807	83.000	0.145	0.047	0.148	14.27
1800x200	mean	0.705	45.160	0.014	0.062	0.176	36.998	0.643	41.200	0.033	0.111	0.294	43.249	**0.726**	**46.660**	**0.067**	**0.046**	**0.135**	39.170
	std	0.035	4.932	0.038	0.025	0.070	5.570	0.057	4.131	0.090	0.035	0.071	5.970	0.034	4.922	0.123	0.025	0.074	1.945
	min	0.635	38.000	0.000	0.034	0.086	33.333	0.526	36.000	0.000	0.064	0.208	37.029	0.657	38.800	0.000	0.011	0.021	37.531
	median	0.712	44.600	0.000	0.056	0.166	34.253	0.658	41.500	0.000	0.107	0.283	43.783	0.726	45.900	0.008	0.046	0.145	38.659
	max	0.743	53.400	0.117	0.110	0.299	43.408	0.714	46.000	0.286	0.175	0.434	48.933	0.772	55.000	0.381	0.092	0.268	41.319
3600x400	mean	0.646	**33.360**	**0.057**	0.088	0.221	300.906	0.600	30.060	0.016	0.115	0.284	282.210	**0.659**	32.580	0.029	**0.078**	**0.199**	229.826
	std	0.070	4.904	0.130	0.040	0.104	34.705	0.074	4.234	0.048	0.046	0.116	36.750	0.052	4.700	0.063	0.031	0.091	9.409
	min	0.528	25.800	0.000	0.025	0.059	265.364	0.489	23.600	0.000	0.055	0.109	247.798	0.586	26.000	0.000	0.031	0.081	221.902
	median	0.652	33.000	0.000	0.083	0.223	302.646	0.606	29.700	0.000	0.114	0.291	277.911	0.654	32.500	0.000	0.082	0.209	227.351
	max	0.754	41.000	0.389	0.154	0.376	334.707	0.694	37.200	0.153	0.181	0.444	320.920	0.739	40.800	0.180	0.123	0.341	240.225

Dodatno, razmatran je uticaj parametra $|T|$, tj. broj perioda na referentni skup. Na jednoj instanci dimenzija 450x50, rešavan je problem sa $|T| = 1,...,5$ perioda. Kako bi rezultati mogli da se porede, cena lokacije u nekom periodu je postavljena na $c_i/|T|$ (gde je c_i cena lokacije i u slučaju jednog perioda), dok je zahtev korisnika slučajno raspoređen po periodima, ali tako da ukupna suma u svim periodima bude jednaka orginalnoj vrednosti potražnje tog korisnika u slučaju jednog perioda. Referentni skupovi za različite periode prikazani su na slici 2. Očekivano, za $|T| \geq 2$ dobija se više rešenja u referentnom skupu u odnosu na $|T| = 1$. Interesatno je da kod nekih rešenja, veći broj perioda znači da se za istu cenu ukupno može pokriti više zahteva korisnika, na primer za slučaj cena u intervalu [2,10]. Referetni skupovi za veći broj perioda propuštaju rešenja sa manjom ukupnom cenom, ali i daju neka rešenja sa većom cenom (oko 30), koja nisu uključena u skup za jedan period. Propuštanje rešenja se može objasniti većom kompleksnošću problema, broj promenljivih odlučivanja je proporcionalan broju perioda $|T|$, dok je u svim eksperimentima broj evaluacija rešenja fiksiran na istu vrednost.



Slika 2 Poređenje referentnih skupova za različitu vrednost parametra $|T|$ na jednoj instanci dimenzije 450x50

5. ZAKLJUČAK

U radu je predložena varijanta dvokriterijumskog dinamičkog problema maksimalnog pokrivanja lokacija (Bi-DMCLP) koja uključuje više vremenskih perioda i razmatra dva cilja: maksimizaciju ukupne sume potražnje korisnika i minimizaciju ukupnih troškova snabdevača u svim periodima. Za rešavanje Bi-DMCLP korišćena su tri algoritma iz literature (NSGA-II, SPEA-II, PESA-II), čije su implementacije prilagođene datom problemu. Performanse ova tri evolutivna algoritma su ispitane na novim generisanim instancama koje uključuju i do 400 potencijalnih lokacija. Kvaltitet aproskimativnih skupova rešenja je upoređen na osnovu pet indikatora (HV, Size, Contribution, IGD, EPS+). Sva tri algoritma daju rešenja dobrog kvaliteta u odnosu na pet posmatranih metrika za relativno kratko vreme izvršavanja imajući u vidu dimenzije instanci. Dalja istraživanja bi uključivala implementaciju novih metaheurističkih algoritama višekriterijumske optimizacije, na primer algoritama zasno-

vanih na lokalnom pretraživanju. Još jedan pravac istraživanja je proširenje razmatranog modela uključivanjem i cena zatvaranja snabdevača tokom posmatranih perioda, što bi realnije odslikavalo situacije u praksi.

LITERATURA

[**1**] Araz, C., Selim, H., & Ozkarahan, I. (2007). A fuzzy multi-objective coveringbased vehicle location model for emergency services. Computers & Operations Research, 34(3), 705–726.

[**2**] Badri, M.A., Mortagy, A.K., & Alsayed, C.A. (1998). A multi-objective model for locating fire stations, European Journal of Operational Research, 110(2), 243–260.

[**3**] Bhattacharya, R., & Bandyopadhyay, S. (2010). Solving conflicting bi-objective facility location problem by NSGA II evolutionary algorithm. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 51(1-4), 397-414.

[**4**] Church, R.L., & ReVelle, C. (1974). The maximal covering location problem. Papers of the Regional Science Association, 32, 101-118.

[**5**] Church, R., Current, J., & Storbeck, J. (1991). A bicriterion maximal covering location formulation which considers the satisfaction of uncovered demand, Decision Sciences, 22(1), 38–52.

[**6**] Chanta, S., Mayorga, M.E., & McLay, L.A. (2014). Improving emergency service in rural areas: a bi-objective covering location model for ems systems. Annals of Operations Research, 221(1), 133–159.

[**7**] Corne, D. W., Jerram, N. R., Knowles, J. D., & Oates, M. J. (2001). PESA-II: Region-based selection in evolutionary multiobjective optimization. In Proceedings of the 3rd annual conference on genetic and evolutionary computation, 283-290.

[**8**] Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan. T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: Nsga-ii. IEEE transactions on evolutionary computation, 6(2), 182–197.

[**9**] Díaz, J. A., Luna, D. E., Camacho-Vallejo, J. F., & Casas-Ramírez, M. S. (2017). GRASP and hybrid GRASP-Tabu heuristics to solve a maximal covering location problem with customer preference ordering. Expert Systems with Applications, 82, 67-76.

[**10**] Dell'Olmo, P., Ricciardi, N., & Sgalambro, A. (2014). A multiperiod maximal covering location model for the optimal location of intersection safety cameras on an urban traffic network. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 108, 106-117.

[**11**] Farahani, R.Z., Asgari, N., Heidari, N., Hosseininia, M., & Goh, M. (2012). Covering problems in facility location: A review. Computers & Industrial Engineering, 62(1), 368-407.

[**12**] Hadka, D. (2019). Moea framework: A free and open source java framework for multiobjective optimization (Online). Available: http://moeaframework.org.

[**13**] Karasakal, E. & Silav, A. (2016). A multi-objective genetic algorithm for a bi-objective facility location problem with partial coverage. TOP, 24(1), 206–232.

[**14**] Melo, M. T., Nickel, S., & Saldanha-Da-Gama, F. (2009). Facility location and supply chain management - a review. European journal of operational research, 196(2), 401-412.

[**15**] Mohammadi, M., Jolai, F., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2013). Solving a new stochastic multi-mode p-hub covering location problem considering risk by a novel multi-objective algorithm. Applied Mathematical Modelling, 37(24), 10053-10073.

[**16**] de Oliveira, C. P., de Sá, E. M., & Martins, F. V. C. (2020). A multi-period and bi-objective approach for locating ambulances: a case study in Belo Horizonte, Brazil. arXiv:2012.06655, 1-34.

[**17**] Rahmati, S.H.A., Ahmadi, A., Sharifi, M., & Chambari, A. (2014). A multi-objective model for facility location–allocation problem with immobile servers within queuing framework. Computers & Industrial Engineering, 74, 1-10.

[**18**] Riquelme, N., Von Lucken, C., & Bara, B. (2015). Performance metrics in multi-objective optimization. Proceedings of the 2015 Latin American Computing Conference (CLEI 2015), Arequipa, Peru, IEEE, 1-11.

[**19**] Shi, J., Chen, W., Zhou, Z., & Zhang, G. (2020). A bi-objective multi-period facility location problem for household e-waste collection. International Journal of Production Research, 58(2), 526-545.

[**20**] Spieker, H., Hagg, A., Gaier, A., Meilinger, S., & Asteroth, A. (2017). Multistage evolution of single-and multi-objective MCLP. Soft Computing, 21(17), 4859–4872.

[**21**] Villegas, J.G., Palacios, F., & Medaglia, A.L. (2006). Solution methods for the bi-objective (cost-coverage) unconstrained facility location problem with an illustrative example. Annals of Operations Research, 147(1), 109–141.

[**22**] Zitzler, E., Laumanns, M., & Thiele, L. (2001). Spea 2: improving the strength pareto evolutionary algorithm, Computer Engineering and Networks Laboratory (TIK), Technical Report 103, 236.

[**23**] Zarandi, M. H. F., Davari, S., & Sisakht, S. A. H. (2013). The large-scale dynamic maximal covering location problem. Mathematical and Computer Modelling, 57(3-4), 710-719.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

REŠAVANJE PROBLEMA RASPOREĐIVANJA POSLOVA NA JEDNOJ MAŠINI SA PERIODIČNIM RESURSNIM OGRANIČENJIMA

SOLVING THE SINGLE-MACHINE SCHEDULING PROBLEM WITH PERIODICAL RESOURCE CONSTRAINTS

MAJA RISTIĆ[1], ZORICA DRAŽIĆ[2]

[1] Rudarsko-geološki fakultet, Đušina 7, Beograd, Srbija, maja.ristic@rgf.bg.ac.rs

[2] Matematički fakultet, Studentski trg 16, Beograd, Srbija, zdrazic@matf.bg.ac.rs

Rezime: *U ovom radu razmatran je nedavno uveden NP-težak problem raspoređivanja poslova na jednoj mašini sa periodičnim resursnim ograničenjima (SMPRC). Cilj je da se minimizuje ukupno vreme koje je potrebno svim poslovima da se odrade na jednoj mašini uzimajući u obzir ograničenja koja se odnose na potrošnju resursa u svakom vremenski ograničenom periodu. U cilju rešavanja ovog problema, razvijena je metoda promenljivih okolina (VNS). Računski eksperimenti vršeni su na skupu test instanci iz literature i dobijeni rezultati su upoređeni sa rezultatima drugih metoda iz literature.*

Ključne reči: *Metoda promenljivih okolina, Raspoređivanje, Jedna mašina, Kombinatorna optimizacija*

Abstract: *This paper considers a recently introduces NP-hard problem called the single machine scheduling problem with periodical resource constraints (SMPRC). The goal is to minimize the total time needed for all jobs to be done on a single machine taking the resource consumption constraints per period into consideration. In order to solve this problem, we developed a Variable neighborhood search (VNS) based heuristics. Computational experiments were carried out on a set of test instances from the literature and the obtained results are compared with the results from other methods from the literature.*

Keywords: *Variable neighborhood search, Scheduling, Single maschine, Combinatorial optimization*

1. UVOD

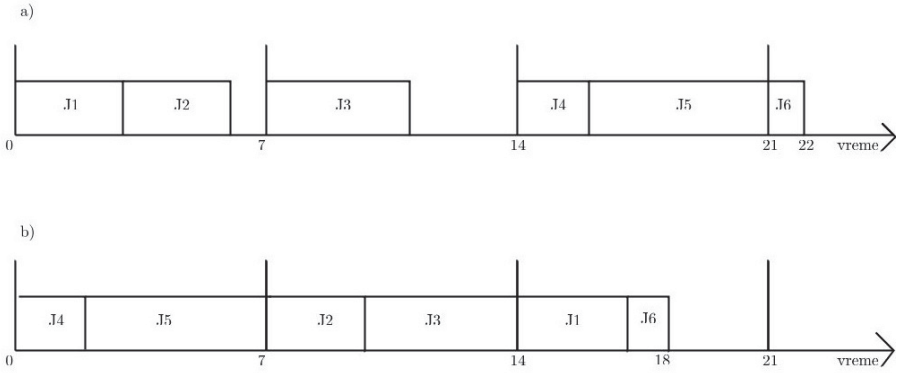
Problemi raspoređivanja spadaju u grupu jednih od najrasprostranjenijih problema kombinatorne optimizacije. U opštem slučaju, zadatak je rasporediti izvršavanje n poslova na m mašina pri određenim uslovima i ograničenjima. Najčešći ciljevi ovih problema su minimizacija ukupnog vremena potrebnog da se svi poslovi odrade, minimizacija ukupnog vremena koliko su mašine aktivno radile, minimizacija ukupnog kašnjena u slučaju da poslovi ne stignu da se odrade na vreme itd. U slučaju kada je $m = 1$, zadatak se svodi na raspoređivanje poslova na jednoj mašini i poslednjih decenija različite varijante ovog problema su proučavane u litearturi. Neki primeri ovakvih problema koji se odnose na raspoređivanje poslova na jednoj mašini mogu se pogledati u [1, 3, 8, 9, 10, 11].

U ovom radu razmatra se problem raspoređivanja poslova na jednoj mašini sa periodičnim resursnim ograničenjima (engl. Single-machine scheduling problem with periodical resource constraints – SMPRC). Ovaj problem je definisan nedavno u radu [6] gde su autori dokazali da je problem NP-težak, opisali kao kao problem mešovitog celobrojnog linearnog programiranja i prezentovali rešenja problema dobijenih sa 22 različite metode. Autori su prilagodili test instance iz [4, 7] za ovaj problem. Ovaj problem se često javlja u praksi prilikom proizvodnje određenih proizvoda, gde na sam proces proizvodnje pored kapaciteta mašina utiču i ograničenja u vremenu i resursima.

Ovaj rad je organizovan na sledeći način. U drugom poglavlju je dat prikaz opisa problema. U trećem poglavlju opisana je metoda promenljivih okolina predložena za rešavanje ovog problema. Dobijeni računski rezultati i njihova poređenja sa dosadašnjim rezultatima iz literature prikazani su u poglavlju 4. Poglavlje 5. sadrži zaključke i pravce daljeg istraživanja.

2. OPIS SMPRC PROBLEMA

Problem SMPRC se može opisati na sledeći način. Na jednoj mašini potrebno je rasporediti proizvodnju n proizvoda $J_1,...,J_n$ pri čemu je za svaki proizvod $J_i,\ i=1,...,n$ unapred poznato vreme t_i, kao i količina resursa p_i potrebna da bi se proizvod napravio. Ukupno vreme koje je na raspolaganju je izdeljeno na ograničene vremenske periode/blokove (npr. radni dani u nedelji). Za svaki vremenski blok postoji maksimalna količina resursa koja je na raspolaganju. Ograničenja koja se odnose na maksimalno dozvoljeno vreme proizvodnje T po bloku i maksimalnu količinu resursa P za svaki blok su unapred poznati. Resursi koji se ne iskoriste u jednom bloku nije moguće koristiti u nekom drugom. Svi proizvodi moraju biti napravljeni na jednoj mašini koja ne može da procesuira više od jednog proizvoda istovremeno. Prekidi u procesu proizvodnje jednog proizvoda nisu dozvoljeni, tj. nije dozvoljeno započeti proizvodnju proizvoda u jednom vremenskom bloku, a završiti ga u drugom. Problem se sastoji u tome da se proizvodnja svih proizvoda rasporedi po vremenskim blokovima tako da ukupno vreme potrebno da se celokupna proizvodnja završi bude što je moguće manje.



Slika 1 Vremenski dijagram rasporeda izvršavanja poslova na mašini

Na slici 1 dat je ilustrativni primer za problem koji se sastoji od 6 proizvoda/poslova $J_1,...J_6$ čiju proizvodnju/izvršavanje treba rasporediti na jednoj mašini. Neka su vektorima $t=\{3,3,4,2,5,1\}$ i $r=\{1,2,2,4,1,1\}$ data vremena t_i i količine resursa p_i koji su potrebni da bi se proizvod J_i $i=1,...,6$ napravio. Maksimalna dozvoljena vremenska dužina bloka je $T=7$ a maksimalna količina resursa po bloku $P=5$. Za dva različita redosleda $\Pi_1=\{J_1,J_2,J_3,J_4,J_5,J_6\}$ i $\Pi_2=\{J_4,J_5,J_2,J_3,J_1,J_6\}$ predstavljeni su vremenski dijagrami proizvodnje proizvoda po tim redosledima. U prvom slučaju (slika 1a), vreme potrebno da bi se celokupan proces završio je 22, dok u drugom (Slika 1b) je 18.

3. METODA PROMENLJIVIH OKOLINA ZA SMPRC

Metoda promenljivih okolina (engl. Variable neighborhood search – VNS) [5] je metaheuristička metoda za rešavanje problema kombinatorne i kontinualne optimizacije čija je glavna ideja promena okolina u kojima se vrši pretraga za boljim rešenjem. Najpre je potrebno definisati strukturu okolina $N_k,\ k=k_{\min},...,k_{\max}$ koje će se koristiti u pretrazi. U koraku razmrdavanja (engl. shaking), počevši od tekućeg rešenja x i za $k\in\{k_{\min},...,k_{\max}\}$ na slučajan način se bira nova tačka x' iz okoline $N_k(x)$. Zatim se, počevši od x' primenjuje lokalna pretraga (engl. local search) za potencijalno boljim rešenjem x'' u nekoj okolini od x' koja ne mora biti istog tipa kao i okolina za razmrdavanje. Ukoliko je rešenje x'' dobijeno lokalnom pretragom bolje od trenutno najboljeg rešenja x, proces pretrage se nastavlja dalje za okolinu $N_{k_{\min}}$ rešenja x''. U suprotnom, algoritam nastavlja sa razmrdavanjem u narednoj okolini rešenja x. Kada brojač okolina dostigne $k_{\max}$ pretrga se nastavlja dalje počevši od okoline $N_{k_{\min}}$. Ovaj postupak se nastavlja dokle god se ne zadovolji unapred zadati kriterijum zaustavljanja.

Kako bi se implementirao VNS za CMPRC najpre treba definisati skup dopustivih rešenja X i funkciju cilja $f(x)$. Skup dopustivih rešenja definisan je kao skup n-dimenzionih vektora sa različitim celobrojnim vrednostima $0\le x_k\le n-1,\ x_i\neq x_j$, za $i\neq j$, gde je n ukupan broj poslova čije izvršavanje treba rasporediti na mašini, tj. $X=\{0,...,n-1\}^n$. Svaki element $x\in X$ predstavlja jednu permutaciju poslova, tj. redosled po kojem će se poslovi izvršavati na mašini.

Za zadati vektor $x\in X$ funkcija cilja je definisana na sledeći način:

- Ubacujemo posao sa indeksom x_1 kao prvi posao koji će se izvršiti na mašini u prvom bloku.
- Za svaki posao sa indeksom $x_i,\ i=2,...,n$ proveriti da li su njegovo vreme izvršavanja i njegova resursna potražnja manji od preostalog vremena i preostalih resursa za tekući blok. Ukoliko je odgovor u oba

slučaja potvrdan, dodati posao u tekući blok. U suprotnom, dodati ga kao prvi posao u narednom bloku koji postaje tekući blok. Nakon što se započne novi blok više nije moguće dodavati poslove u blokove koji mu prethode.

- Ako je sa n_T označen ukupan broj blokova koji je bio potreban za izvršavanje svih poslova i ako je T maksimalna dozvoljena dužina bloka, vrednost funkcije cilja $f(x)$ odrediti kao $(n_T - 1) \cdot T$ + ukupno vreme izvršavanja svih poslova u poslednjem bloku.

Parametri VNS metode su: najmanji i najveći indeks okolina koje treba pretraživati ($k_{\min}$ i $k_{\max}$), maksimalni broj dozvoljenih iteracija i parametar p koji pretstavlja verovatnoću prelaska iz jednog u drugo rešenje sa istom vrednošću funkcije cilja.

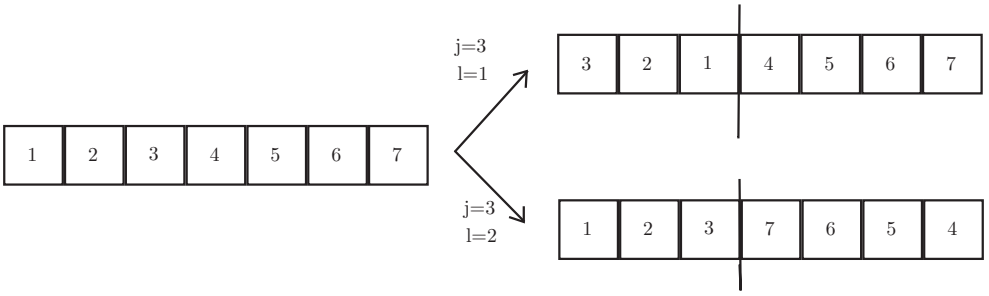
3.1. Inicijalizacija

Na početku VNS algoritma potrebno je generisati početno rešenje. Inicijalizacija se vrši na slučajan način. To se postiže tako što se na slučajan način generiše permutacija celobrojnih vrednosti od 0 do $n-1$. Tako dobijena permutacija predstavlja početno rešenje x za VNS metodu.

3.2. Razmrdavanje

Za $k \geq 1$ definišemo okoliku $N_k(x)$ rešenja x na sledeći način. Za $k = 1$ na slučajan način izaberemo poziciju j u vektoru x i slučajan broj $l \in \{1,2\}$. Ukoliko je $l = 1$ obrnemo redosled elementima u vektoru x na pozicijama od 1 do j. U suprotnom, za $l = 2$ obrnemo redosled elementima na pozicijama od j do n.

Na slici 2 dat je primer razmrdavanja vektora rešenja dužine 7 za $k = 1$ u slučajevima kada je $j = 3$ i $l = \{1,2\}$.



Slika 2 Primer razmrdavanja za $k = 1$

Za Za $k \geq 2$ opisani postupak se ponovi k puta. Polazeći od rešenja x primenom koraka razmrdavanja za različite vrednosti parametra k generiše se novi vektor $x' \in N_k(x)$.

3.3. Lokalna pretraga

Uloga razmrdavanja je da se postigne diverzifikacija rešenja u cilju izlaska iz lokalnih minimuma. Dobijeno rešenje x' uglavnom nije čak ni lokalni minimum tako da u cilju nalaženja boljeg rešenja potrebno je primeniti neki metod lokalne pretrage u nekoj okolini od x'. Okolina koja će se koristiti u ovom koraku sastoji se od svih vektora koji se mogu dobiti od x' zamenom dva njegova proizvoljna elementa x'_i i x'_j, $i = 1,...,n-1$, $j = 2,...,n$, $i \neq j$. Korišćena je strategija prvog poboljšanja (eng. first improvement strategy). Ovom strategijom iterativno pretražujemo okolinu rešenja x' i kada se naiđe na prvo poboljšanje lokalna pretraga se zaustavlja i sa novodobijenim poboljšanjem ponovo pokušava da se poboljša lokalnim pretraživanjem ponavljajući algoritam u okolini tog novog, poboljšanog rešenja. U slučaju da nema poboljšanja, rešenje x' se ne menja. Lokalna pretraga se završava kada se rešenje ne može više popraviti i najbolje rešenje dobijeno lokalnom pretragom označavamo sa x''.

3.4. Promena okoline

Rešenje x'' dobijeno lokalnom pretragom upoređujemo sa trenutno najboljim rešenjem x. Ako vrednost funkcije cilja za rešenje x'' ima manju vrednost od vrednosti funkcije cilja za rešenje x, tj. $f(x'') < f(x)$, pomeramo se u rešenje x'' i pretragu nastavljamo u njegovoj okolini N_k. Ako je x'' lošije rešenje od x, tj. $f(x'') > f(x)$ pretragu nastavljamo u narednoj okolini N_{k+1} rešenja x. Ako je $f(x'') = f(x)$ tada sa verovatnoćom p prelazimo u rešenje x'' i nastavljamo pretragu u njegovoj okolini N_k, a sa verovatnoćom $1-p$ pretragu nastavljamo dalje u narednoj okolini rešenja x.

4. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

U ovom poglavlju predstavljeni su eksperimentalni rezultati dobijeni primenom predložene VNS metode za rešavanje SMPRC problema. Sva izračunavanja vršena su na računaru sa procesorom Intel Core i3-2350M 2.30GHz i 4GB RAM u 64bit Windows 7 okruženju. VNS metoda je programirana u programskom jeziku C. Testiranja su vršena nad skupom test primera iz literature [6] koji se sastoji od 140 instanci podeljenih u 14 grupa od po 10 instanci istih dimenzija ($n = 10, 20, ..., 100, 150, 200, 250, 300$). Za dobijanje optimalnih vrednosti korišćen je egzaktni rešavač CPLEX [2], verzija 12.4, koji koristi matematičku formulaciju problema iz [6].

Kao kriterijum zaustavljanja VNS metode korišćen je maksimalni dozvoljeni broj iteracija koji je postavljen na 100 za instance manjih dimenzija (od $n = 10$ do $n = 70$), dok je za instance većih dimenzija (od $n = 80$ do $n = 300$) maksimalni broj iteracija postavljen na 500. Od ostalih parametara VNS metode korišćeni su: $k_{\min} = 1$, $p = 0.4$ i $k_{\max} = 5$ za instance dimenzija od $n = 10$ do $n = 70$, $k_{\max} = 10$ za instance dimenzija od $n = 80$ do $n = 100$ i $k_{\max} = 15$ za instance dimenzija od $n = 150$ do $n = 300$. Za svaki test primer eksperiment je ponovljen 10 puta.

U radu [6] autori su razvili 22 različite metode za rešavanje ovog problema. Za upoređivanje dobijenih rezultata koristili su relativni procenat odstupanja rešenja (RPD_i) od donje granice problema (LB_i) za sve instance iz tog skupa. Ako sa sol_i označimo rešenje dobijeno nekom metodom za instancu i, onda se RPD_i dobija na sledeći način:

$$RPD_i = \frac{sol_i - LB_i}{LB_i} \cdot 100, \quad LB = \left\lceil \max \left\{ \frac{\sum_{j=1}^{n} t_j}{T}, \frac{\sum_{j=1}^{n} r_j}{R} \right\} \right\rceil,$$

gde se vrednosti LB razlikuju za svaku instancu i.

U tabeli 1 data su poređenja rezultata prezentovanih u [6] koji su dobijenih sa dve najbolje heuristike zasnovane na lokalnom pretraživanju, u oznaci LSFF i LSBF, sa rezultatima dobijenim VNS metodom predloženom u ovom radu. Autori LSFF i LSBF metoda su prikazali ove vrednosti za najbolje rezultate dobijene ovim metodama u eksperimentima koji su ponovljeni 10 puta. U prvoj koloni tabele date su oznake metode, dok u narednim kolonama, za svaki skup instanci iste dimenzije prezentovan je prosečan relativni procenat odstupanja rešenja RPD_i od donje granice problema LB_i za sve instance iz tog skupa.

Tabela 1: Prikaz prosečnih vrednosti RPD_i za LSFF, LSBF i VNS metode

Metoda	Dimenzija						
	10	20	30	40	50	60	70
LSFF	29.45	35.90	22.98	19.45	30.06	22.23	17.95
LSBF	30.10	35.54	22.94	19.78	30.06	22.34	18.51
VNS	**29.37**	**34.96**	**22.02**	**18.23**	**29.27**	**21.72**	**17.53**
Metoda	Dimenzija						
	80	90	100	150	200	250	300
LSFF	21.06	15.85	17.61	**17.96**	**13.79**	**15.62**	**13.64**
LSBF	21.61	15.71	17.81	18.65	15.02	16.22	14.61
VNS	**20.90**	**15.40**	**17.05**	18.57	14.71	16.03	15.23

Naglašavamo da su ova odstupanja relativno velika zato što su rešenja poređena sa teoretskim donjim granicama LB_i koja uglavnom nisu bliska. Na primer, $LB_2 = 737$ dok je optimalno rešenje dobijeno CPLEX rešavačem 1147. Poredeći rezultate predstavljene u Tabeli 1, može se videti da je VNS metoda postigla bolje rezultate po ovom kriterijumu u odnosu na LSBF metodu za 13 od ukupno 14 skupova instanci, dok je u odnosu na LSFF bolja na 10 od 14 skupova instanci.

Koristeći model mešovitog celobrojnog linearnog programiranja iz [6] CPLEX rešavač je za manje od 1800s uspeo da dođe do optimalnog rešenja za ukupno 35 instanci uglavnom manjih dimenzija. Poredeći rezultate dobijene navedenim trima metodama za te instance, LSBF metoda je uspela da postigne 17 od 35 optimalnih rešenja, LSFF 24 od 35, dok je VNS došao do svih 35 optimalnih rešenja.

Sa druge strane, poredeći rezultate dobijene za svih 140 instanci, metode LSBF i VNS dobijaju isto rešenje za 35 instanci, LSBF je bolja za 14 instanci, dok je VNS bolji za 91 instancu. U slučaju LSFF metode, isto rešenje kao i rešenje VNS-om dobijeno je za 38 instanci, LSFF je bolji za 25 instanci, dok je VNS bolji za 77 instanci.

Tabela 2: Ukupan broj dostignutih $best_i$ vrednosti metodama LSFF, LSBF i VNS

Metoda	Dimenzija						
	10	20	30	40	50	60	70
LSFF	5	7	4	1	5	5	1
LSBF	8	6	7	3	4	3	3
VNS	10	10	10	10	10	10	10
Metoda	Dimenzija						
	80	90	100	150	200	250	300
LSFF	2	3	1	0	1	0	1
LSBF	1	2	2	4	6	4	8
VNS	9	9	10	6	3	6	2

Za instancu i označimo sa $best_i$ najmanju vrednost funkcije cilja dobijenu koristeći ove tri metode. Kako VNS dostiže sva optimalna rešenja koja se mogu dobiti korišćenjem egzaktnog rešavača CPLEX, one vrednosti uključuju i poznata optimalna rešenja. U tebali 2, za svaki skup od 10 instanci istih dimenzija prikazan je ukupan broj instanci za koje su metode LSFF, LSBF i VNS dostigle vrednost $best_i$. Kao što se može videti iz tabele 2, iako je metoda LSBF dostigla više puta manje vrednosti na dva skupa instanci (za $n = 200$ i $n = 300$), VNS metoda dostiže najbolja poznata rešenja za ukupno 115 od 140 instanci, LSBF za 61, dok LSFF za 33.

Tabela 3: Prosečne vrednosti koje se odnose na vremena izvršavanja, procentualnu relativnu grešku i standardnu devijaciju u 10 izvršavanja VNS-a

Metoda	Dimenzija						
	10	20	30	40	50	60	70
t_{avg}	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	0.03	0.06	0.11
err	0	0	0	0.41	0.40	1.15	0.92
σ	0	0	0	0.21	0.58	0.94	0.75
Metoda	Dimenzija						
	80	90	100	150	200	250	300
t_{avg}	0.34	0.58	1.06	4.39	17.51	31.31	64.58
err	0.22	0.16	0.31	0.34	0.72	0.63	0.60
σ	0.25	0.14	0.29	0.31	0.49	0.39	0.44

Konačno, kako je VNS metoda za svaku instancu izvršavana 10 puta u tabeli 3 date su informacije koje se odnose na prosečna vremena izvršavanja i kvalitet dobijenih rešenja. Za svaki skup od po 10 instanci iste dimenzije u prvoj vrsti t_{avg} data su prosečna vremena (u sekundama) izvršavanja VNS metode do dolaska do najboljeg rešenja. U drugoj vrsti (oznaka *err*) data je prosečna vrednost procentualne relativne greške rešenja dobijenih VNS metodom, a u trećoj vrsti prosečna vrednost standardne devijacije σ, tj. odstupanja dobijenog rešenja u odnosu na najbolje dobijeno rešenje VNS metodom. Iako su i metode LSFF i LSBF izvršavanje po 10 puta za svaku instancu, autori su prezentovali samo vrednosti RPD_i za najbolje rešenje, te nije moguće uporediti dobijeni kvalitet rešenja.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu razmatran je NP-težak problem raspoređivanja poslova na jednoj mašini sa periodičnim resursnim ograničenjima (SMPRC). Predložena je metoda promenljivih okolina za njegovo rešavanje i dobijeni rezultati su upoređeni sa rezultatima dobijenim egzaktnim rešavačem CPLEX koji koristi matematičku formulaciju problema, kao i sa rezultatima drugih heuristika iz literature. Predložena metoda dostiže sva optimalna rešenja koja se mogu dobiti egzaktnim rešavačem, dok za ostale instance, gde optimalno rešenje nije poznato, VNS metoda postiže prosečno bolje rezultate od drugih predloženih heuristika iz literature i to po više kriterijuma poređenja rezultata. Buduća istraživanja odnose se na uvođenje novih okolina, ubrzanje algoritma lokalne pretrage, kao i hibridizaciju predložene metode sa drugim heuristikama za rešavanje SMPRC.

LITERATURA

[**1**] Ángel-Bello, F., Álvarez, A., Pacheco, J., & Martínez, I. (2011). A single machine scheduling problem with availability constraints and sequence-dependent setup costs. Applied Mathematical Modelling, 35(4), 2041-2050.

[**2**] CPLEX solver, IBM company, www.ibm.com/software/integration/optimization/cplex-optimizer.

[**3**] Karhi, S., & Shabtay, D. (2018). Single machine scheduling to minimise resource consumption cost with a bound on scheduling plus due date assignment penalties. International Journal of Production Research, 56(9), 3080-3096.

[**4**] Low, C., Ji, M., Hsu, C. J., & Su, C. T. (2010). Minimizing the makespan in a single machine scheduling problems with flexible and periodic maintenance. Applied Mathematical Modelling, 34(2), 334-342.

[**5**] Mladenović, N., & Hansen, P. (1997). Variable neighborhood search. Computers & Operations Research, 24, 1097-1100.

[**6**] de Athayde Prata, B., de Abreu, L. R., & Lima, J. Y. F. (2020). Heuristic methods for the single-machine scheduling problem with periodical resource constraints. TOP, 1-23.

[**7**] Perez-Gonzalez, P., & Framinan, J. M. (2018). Single machine scheduling with periodic machine availability. Computers & Industrial Engineering, 123, 180-188.

[**8**] Wang, J. B., & Wang, M. Z. (2012). Single-machine scheduling to minimize total convex resource consumption with a constraint on total weighted flow time. Computers & Operations Research, 39(3), 492-497.

[**9**] Wang, X. R., & Wang, J. J. (2013). Single-machine scheduling with convex resource dependent processing times and deteriorating jobs. Applied Mathematical Modelling, 37(4), 2388-2393.

[**10**] Wu, L., & Cheng, C. D. (2016). On single machine scheduling with resource constraint. Journal of Combinatorial Optimization, 31(2), 491-505.

[**11**] Zhu, Z., Chu, F., Sun, L., & Liu, M. (2013). Single machine scheduling with resource allocation and learning effect considering the rate-modifying activity. Applied Mathematical Modelling, 37(7), 5371-5380.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

HIBRIDNA METAHEURISTIKA ZA REŠAVANJE PROBLEMA p-HAB MAKSIMALNOG POKRIVANJA NEOGRANIČENIH KAPACITETA SA r-ALOKACIJSKOM ŠEMOM

HYBRID METAHEURISTIC METHOD FOR THE UNCAPACITATED r-ALLOCATION p-HAB MAXIMAL COVERING PROBLEM

ZORICA STANIMIROVIĆ[1], OLIVERA STANČIĆ[2]

[1] Matematički fakultet, Studentski trg 16, Beograd, Srbija, zoricast@matf.bg.ac.rs
[2] Ekonomski fakultet, Liceja Kneževine Srbije 3, Kragujevac, Srbija, olivera.stancic@kg.ac.rs

Rezime: *U ovom radu je razmatran problem p-hab maksimalnog pokrivanja neograničenih kapaciteta sa r-alokacijskom šemom (engl. Uncapacitated r-allocation p-hub Maximal Covering Problem – UrApHMCP). Cilj UrApHMCP je odrediti optimalne lokacije tačno p habova i pridružiti svakog korisnika skupu od najviše r uspistavljenih habova, tako da se maksimizuje ukupan protok po svim pokrivenim parovima snabdevač-korisnik, uz pretpostavku binarnog ili parcijalnog pokrivanja. Data je matematička formulacija problema i predložena hibridna metaheuristika za njegovo rešavanje, zasnovana na pohlepnoj stohastičko-adaptivnoj proceduri pretrage (engl. Greedy Randomized Adaptive Search Procedure - GRASP) i metodi promenljivog spusta (engl. Variable Neighborhood Descent - VND). Rezultati testiranja predložene hibridne metaheuristike na instancama problema veličine do 200 čvorova ukazuju na njenu efikasnost u pogledu kvaliteta rešenja i brzine izvršavanja, u oba slučaja pokrivanja.*

Ključne reči: *p-hab problem maksimalnog pokrivanja, Binarno i parcijalno pokrivanje, r-alokacijska šema, Pohlepna stohastičko-adaptivna procedura pretrage, Metoda promenljivog spusta*

Abstract: *This paper considers the uncapacitated r-allocation p-hab maximal covering problem (UrApHMCP). Starting from the given set of users and potential hub locations, the goal of the UrApHMCP is to choose exactly p locations for establishing hubs and to allocate each user to at most r established hubs, so as to minimize the total amount of traffic among all covered origin-destination pairs, under the assumption of either binary or partial coverage. Mathematical formulation of the UrApHMCP is given and a hybrid metaheuristic method is proposed for solving the considered problem. The proposed hybrid method successfully combines the Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) and Variable Neighborhood Descent (VND). The results of computational study conducted on the set of hub instances with up to 200 nodes indicate the effectiveness in the sense of the solution quality and running times for both binary and partial coverage criteria.*

Keywords: *p-hab maximal covering problem, Binary and partial coverage, r-allocation scheme, Greedy randomized adaptive search procedure, Variable neighborhood descent*

1. UVOD

Problemi p-hab maksimalnog pokrivanja (p-HMCP) predstavljaju klasu hab lokacijskih problema čiji je cilj određivanje optimalnih lokacija za uspostavljanje unapred zadatog broja habova i alokacije korisnika i snabdevača jednom ili više uspostavljenih habova, tako da ukupni protok među svim pokrivenim parovima snabdevač-korisnik bude maksimalan, uz pretpostavku binarnog ili parcijalnog pokrivanja. *Binarno pokrivanje* podrazumeva da cena transporta od čvora-snabdevača do čvora-korisnika nije veća od unapred zadate maksimalne cene transporta β. Ovaj tip pokrivanja je prvi koristio Campbell u [3]. U radu [9] uveden je koncept tzv. *parcijalnog pokrivanja*, koji uključuje "*stepen pokrivenosti*"između parova snabdevač-korisnik.

U zavisnosti od načina rutiranja protoka, razlikuju se dva osnovna alokacijska koncepta: šema jednostruke alokacije (engl. *single allocation scheme*) i šema višestruke alokacije (engl. *multiple allocation scheme*). Šema jednostruke alokacije podrazumeva da je svaki ne-hab čvor pridružen tačno jednom habu, dok šema višestruke alokacije dopušta svakom ne-hab čvoru da komunicira sa jednim ili više uspostavljenih habova, što znači da svaki ne-hab čvor može slati ili primati protok preko više od jednog haba [11]. Šema r-alokacije je uopštenje ova dva alokacijska koncepta, koja dozvoljava svakom ne-hab čvoru da komunicira sa najviše r habova ($1 \leq r \leq p$), gde je p ukupan broj uspostavljenih habova. Koncept r-alokacije je 2011. godine uvela Yaman u radu [12] za problem p-hab medijane.

U ovom radu je razmatran problem p-hab maksimalnog pokrivanja neograničenih kapaciteta sa r-alokacijskom šemom (UrApHMCP) sa dve varijante pokrivanja: binarnog i parcijalnog. UrApHMCP pripada klasi NP-teških problema, kao generalizacija problema p-hab maksimalnog pokrivanja neograničenih kapaciteta sa jednostrukim ($r = 1$) i višestrukim ($r = p$) alokacijama (videti [1, 3]). Detaljniji pregled relevantne literature koja se odnosi na različite varijante hab lokacijskih problema može se naći u radovima [1] i [4].

Imajući u vidu složenost razmatranog problema i rezultate dobijene egzaktnim rešavačem CPLEX 12.6 na skupu hab instanci iz literature, može se zaključiti da egzaktne metode ne daju rešenja za instance problema većih dimenzija usled memorijskog ili vremenskog ograničenja. Iz tog razloga, u ovom radu je implementirana hibridna metaheuristička metoda GRASP-VND (engl. *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure with Variable Neighborhood Descent*) za rešavanje UrApHMCP, koja u kratkom vremenu izvršavanja obezbeđuje kvalitetna rešenja na hab instancama problema do 200 čvorova.

2. MATEMATIČKA FORMULACIJA PROBLEMA

UrApHMCP je definisan na kompletnom simetričnom grafu $G = (N, E)$, gde je $N = \{1, 2, ..., n\}$ skup različitih čvorova mreže, a $E = \{(i, j) : i, j \in N\}$ skup grana neograničenog kapaciteta. Svaki čvor predstavlja lokaciju snabdevača ili korisnika, kao i potencijalnu lokaciju haba. Troškovi transporta po jedinici količine protoka preko grane $(i, j) \in E$ su označeni sa c_{ij}, pri čemu je $c_{ij} = c_{ji}$ i pretpostavlja se da važi nejednakost trougla: $c_{ij} \leqslant c_{ik} + c_{kj}$, za svako $i, j, k = 1, ..., n$. Ako ne postoji grana od čvora snabdevača i do čvora korisnika j, tada je $c_{ij} = \infty$. Troškovi transporta između dva čvora su obično proporcionalni njihovom međusobnom rastojanju, pa se za vrednost c_{ij} može uzeti rastojanje između i-tog i j-tog čvora. Za svaki odlazno-dolazni (O–D) par $i - j$, $i, j \in N$ poznata je količina robe T_{ij} koja se transportuje od čvora i do čvora j. Neophodno je uspostaviti tačno p habova na odabranim lokacijama iz skupa $H \subseteq N$. Nakon određivanja skupa habova $\overline{H}$, ne-hab čvorovi se pridružuju uspostavljenim habovima. Šema r-alokacije podrazumeva da svaki ne-hab čvor $i \in N$ može komunicirati sa najviše r habova. Direktan transport između ne-hab čvorova nije dozvoljen, već se protok od čvora snabdevača do čvora korisnika obavlja preko najmanje jednog, a najviše dva haba. Cena transporta po jedinici količine protoka od čvora $i \in N$ pridruženog habu $k \in \overline{H}$ do čvora $j \in N$ pridruženog habu $m \in \overline{H}$ se računa na sledeći način: $d_{ij}^{km} = \chi c_{ik} + \alpha c_{km} + \delta c_{mj}$, gde χ, α i δ redom označavaju parametre kojima se množe troškovi kolekcije (snabdevač–hab), transfera (hab–hab) i distribucije (hab–korisnik) protoka po jedinici količine. Imajući u vidu da je cena transporta između habova niža, važi da je $\alpha < \chi$ i $\alpha < \delta$.

Matematička formulacija UrApHMCP koristi sledeće parametre:

- T_{ij} je količina protoka koji treba transportovati od čvora i do čvora j, odnosno potražnja za O–D par $i - j$;
- U slučaju binarnog pokrivanja, parametri q_{ij}^{km} imaju vrednost 1 ukoliko je O–D par $i - j$ sa pridruženim habovima k, m pokriven, a 0 inače.
- U slučaju parcijalnog pokrivanja, parametri r_{ij}^{km} su definisani na sledeći način:

$$r_{ij}^{km} = \begin{cases} 1, & \text{ako je } \chi c_{ik} + \alpha c_{km} + \delta c_{mj} \leq \beta, \\ f(d_{ij}^{km}), & \text{ako je } \beta \leq \chi c_{ik} + \alpha c_{km} + \delta c_{mj} \leq \eta_{ij}, \\ 0, & \text{inače,} \end{cases}$$

gde je η_{ij} dati nenegativan parametar, a f nerastuća funkcija koja uzima vrednosti iz intervala $(0, 1)$, kao i sledeće skupove promenljivih:

- Binarna promenljiva x_{ik} dobija vrednost 1 ukoliko je čvor i pridružen habu k, a 0 inače. Promenljiva x_{kk} dobija vrednost 1 ukoliko je čvor k hab, a 0 inače;
- Nenegativna realna promenljiva Z_{ij} označava deo protoka usmerenog od odlaznog čvora i do dolaznog čvora j, u slučaju da je O–D par $i - j$ pokriven.;
- Binarna promenljiva w_{ijk} uzima vrednost 1 ukoliko je početni čvor i pridružen habu k i krajnji čvor j alociran nekom habu iz skupa G_{ij}^{k}, gde je $G_{ij}^{k} = \{m \in H : q_{ij}^{km} = 1\}$ skup koji sadrži sve habove $m \in H$ za koje je uspostavljen put $i \to k \to m \to j$ pokriven. U suprotnom, vrednost promenljive w_{ijk} je jednaka 0.

Opšti modeli za USApHMCP i oba koncepta pokrivanja, izloženi u radu [7], se malim modifikacijama transformišu u odgovarajuće modele za UrApHMCP. Koristeći uvedenu notaciju, UrApHMCP sa konceptom binarnog pokrivanja se može formulisati kao problem mešovitog celobrojnog linearnog programiranja, na sledeći način:

$$\max \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} T_{ij} Z_{ij} \tag{1}$$

pri uslovima:

$$x_{ik} \leq x_{kk} \quad \forall i \in N, k \in H \tag{2}$$

$$\sum_{k\in H} x_{ik} \le r \quad \forall i \in N \tag{3}$$

$$\sum_{k\in H} x_{kk} = p \tag{4}$$

$$w_{ijk} \le \sum_{m\in G_{ij}^k} x_{jm} \quad \forall i,j \in N, k \in H \tag{5}$$

$$w_{ijk} \le x_{ik} \quad \forall i,j \in N, k \in H \tag{6}$$

$$\sum_{k\in H} w_{ijk} \le 1 \quad \forall i,j \in N \tag{7}$$

$$Z_{ij} \le \sum_{k\in H} w_{ijk} \quad \forall i,j \in N \tag{8}$$

$$w_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i,j \in N, k \in H \tag{9}$$

$$x_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, k \in H \tag{10}$$

$$Z_{ij} \ge 0 \quad \forall i,j \in N. \tag{11}$$

Funkcija cilja (1) definisana je kao ukupan pokriven protok između svih O–D parova $i-j$, čiju vrednost treba maksimizovati. Uslovi (2) i (3) obezbeđuju da svaki čvor komunicira sa najviše r habova, dok uslov (4) ukazuje da je uspostavljeno tačno p habova. Uslovi (5)–(6) obezbeđuju da binarna promeljiva w_{ijk} uzima vrednost 1 samo ako je čvor i pridružen habu k, a čvor j alociran nekom habu m iz skupa G_{ij}^k, odnosno samo u slučaju da je put od i do j preko haba k pokriven. Uslovi (7) garantuju da za svaki O–D par $i-j$ postoji najviše jedna pokrivena staza, dok uslovi (8) definišu deo protoka za O–D par $i-j$ koji je pokriven. Tipovi promenljivih w_{ijk}, x_{ik} i Z_{ij} su definisani redom uslovima (9)–(11).

Formulacija (1)–(11) se može lako prilagoditi za UrApHMCP sa parcijalnim pokrivanjem. Dovoljno je definisati skup $G_{ij}^{kl} = \{m \in H : r_{ij}^{km} = v_{ijkl}\}$, za svaki O–D par $i-j$ i svaki hab k, gde $v_{ijkl} \in V_{ij}^k$, $V_{ij}^k = \{r_{ij}^{km} > 0 : m \in H\}$, i uvesti binarnu promenljivu w_{ijkl}, koja odgovara skupu G_{ij}^{kl}, na sličan način kao u slučaju binarnog pokrivanja. Uslovi (5)–(8), koji važe za slučaj binarnog pokrivanja, mogu biti preformulisani na sledeći način:

$$w_{ijkl} \le \sum_{m\in G_{ij}^{kl}} x_{jm} \quad \forall i,j \in N, k \in H, l \in L_{ij}^k \tag{12}$$

$$w_{ijkl} \le x_{ik} \quad \forall i,j \in N, k \in H, l \in L_{ij}^k \tag{13}$$

$$\sum_{k\in H} \sum_{l\in L_{ij}^k} w_{ijkl} \le 1 \quad \forall i,j \in N \tag{14}$$

$$Z_{ij} \le \sum_{k\in H} \sum_{l\in L_{ij}^k} v_{ijkl} w_{ijkl} \quad \forall i,j \in N. \tag{15}$$

3. POHLEPNA STOHASTIČKO-ADAPTIVNA PROCEDURA PRETRAGE SA METODOM PROMENLJIVOG SPUSTA ZA UrApHMCP

Pohlepna stohastičko-adaptivna procedura pretrage (GRASP) je metaheuristika koju su uveli Feo i Bard [5], a kasnije popularizovali Feo i Resende [6]. GRASP je iterativna metoda u kojoj se svaka iteracija sastoji iz dve faze: konstrukcije rešenja i lokalne pretrage. Prva faza generiše dopustivo rešenje primenom pohlepno stohastičke procedure za konstrukciju rešenja (engl. *Greedy Randomized Construction procedure - GRC*). Počevši od rešenja konstruisanog u GRC proceduri, u drugoj fazi se primenjuje lokalna pretraga u cilju nalaženja lokalnog optimuma u odnosu na date okoline. Iteracije se smenjuju do ispunjenja nekog kriterijuma zaustavljanja.

U ovom radu je predložena hibridna metaheuristika GRASP-VND (engl. *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure with Variable Neighborhood Descent*) za rešavanje UrApHMCP, zasnovana na kombinaciji

GRASP metode i sekvencijalne metode promenljivog spusta (SeqVND). U literaturi postoje mnogi primeri uspešne primene ovakve hibridizacije na različite probleme optimizacije [10]. U nastavku su opisani osnovni elementi predložene hibridizacije GRASP-VND za UrApHMCP.

Kako je neophodno da *reprezentacija rešenja* sadrži informacije o uspostavljenim habovima i alokacijama, prirodno je predstaviti rešenje problema uređenim parom $S = (\overline{H}, A)$, gde je $\overline{H} = \{h_1, h_2, \ldots, h_p\}$ skup p odabranih habova, dok je A matrica alokacije dimenzije $n \times r$. Skup čvorova pridruženih habu h_k je označen sa A_k, $h_k \in \overline{H}$.

Svaka iteracija GRASP-VND metode se sastoji iz konstrukcije inicijalnog rešenja GRC procedurom, primene SeqVND procedure umesto standarde lokalne pretrage i pomeraja. Uloga pohlepno stohastičke procedure za konstrukciju rešenja je generisanje inicijalnog rešenja koje se prosleđuje proceduri zasnovanoj na lokalnom pretraživanju. GRC počinje sa praznim skupom habova $\overline{H}$ i iterativno dodaje jedan po jedan element (hab), sve dok se ne kompletira skup $\overline{H}$ od p habova. Neka je C lista kandidata (engl. *Candidate List*) sastavljena od svih elemenata koji mogu biti dodati u skup $\overline{H}$ (inicijalno, $C = H$). U GRC fazi predložene GRASP-VND metode, lista kandidata se formira na osnovu vrednosti pohlepne funkcije $g(h) = \max\{c_{ih} : i \in N, i \neq h\}$, koja odražava promene u vrednosti funkcije cilja koje bi nastale uključivanjem elementa $h \in C$ u parcijalni skup $\overline{H}$. Sledeći korak je konstrukcija ograničene liste kandidata (engl. *Restricted Candidate List - RCL*) pomoću izračunatih vrednosti pohlepne funkcije $g(h)$, $h \in C$. RCL se sastoji od svih kandidata $h \in C$ za koje važi $g(h) \leq g_{min} + \varphi(g_{max} - g_{min})$, gde je $\varphi \in [0,1]$, $g_{min} = \min\{g_h : h \in C\}, g_{max} = \min\{g_h : h \in C\}$. Element h (ne nužno najbolji) se na slučajan način bira iz RCL i pridružuje parcijalnom skupu $\overline{H}$. Ukoliko nakon pridruživanja izvesnog broja habova ograničena lista kandidata bude prazna, GRC faza se ponavlja. Nakon kreiranja skupa $\overline{H}$ koji sadrži p habova, alokacije ne-hab čvorova se određuju tako što se svaki čvor i povezuje sa r habova sa najmanjim vrednostima funkcije $alloc(i,h) = \chi c_{ih} + \max\{\alpha c_{hh'} : h' \in H\}$. Kada su poznate lokacije habova i alokacije ne-hab čvorova, lako je pronaći najkraće puteve za svaki par $i - j$ i izračunati vrednost funkcije cilja. Izračunavanje svih O–D najkraćih puteva zahteva $O(n^2r^2)$ operacija u najgorem slučaju. U slučaju kada je $r = p$, korišćenjem modifikacije dobro poznatog Floyd-Warshall algoritma za nalaženje najkraćih puteva, izračunavanje se realizuje kroz najviše $O(n^2r)$ operacija. U implementiranoj GRASP proceduri, parametar φ ima fiksnu vrednost u svim iteracijama. Ako je $\varphi = 0$, GRC faza se svodi na klasičan pohlepni algoritam, dok se u slučaju $\varphi = 1$ rešenje konstruiše na potpuno slučajan način.

Rešenje generisano u GRC fazi postaje tekuće najbolje rešenje i prosleđuje se proceduri poboljšanja rešenja. U predloženoj GRASP-VND metodi, kao procedura poboljšanja korišćena je SeqVND heuristika iz opšte metode promenljivih okolina (GVNS) za rešavanje UrApHMCP, detaljno opisana u radu [8]. Ova heuristika istražuje okoline $Interchange_hub(S) = \{S' : S' = (H', A'), |\overline{H} \cap H'| = p - 1\}$ i $ReAllocate_node(S) = \{S' : S' = (\overline{H}, A'), |A_i \setminus A'_i| = 1, |A'_j \setminus A_j| = 1, i, j \in \overline{H}, i \neq j\}$, jednu za drugom. Za računanje vrednosti funkcije cilja susednog rešenja S' iz okoline *Interchange_hub(S)*, dovoljno je izračunati troškove na O–D putevima koji sadrže nov hab, kao i razliku u količini pokrivenog protoka u odnosu na prethodno rešenje S. Za rešenja iz okoline *ReAllocate_node(S)*, ukoliko se izvrši premeštanje čvora l iz skupa A_i u skup A_j, vrednost funkcije cilja novog rešenja procenjuje se ponovnim proveravanjem pokrivenosti protoka za O–D staze koje sadrže čvor l, čija je alokacija promenjena. Kada se pronađe lokalni optimum u odnosu na okolinu *Interchange_hub(S)*, pretraga se nastavlja u okolini *ReAllocate_node(S)*. Ukoliko nema poboljšanja u ovoj okolini, odnosno ukoliko je tekuće rešenje lokalni optimum u odnosu na obe okoline, procedura SeqVND se završava. U suprotnom, SeqVND nastavlja pretragu u okolini *Interchange_hub(S)*. Procedura SeqVND vraća kao izlaz pronađeni lokalni optimum. Prednost pri korišćenju SeqVND metode u odnosu na običnu lokalnu pretragu je u brzini izvršavanja procedure, što poboljšava ukupnu efikasnost algoritma. Nakon primene SeqVND sledi faza pomeraja, u kojoj se tekuće najbolje rešenje upoređuje sa rešenjem dobijenim iz faze poboljšanja. Ako je rešenje iz SeqVND faze bolje od trenutnog rešenja, proglašava se za novo tekuće najbolje rešenje. Iteracije se smenjuju dok se ne zadovolji kriterijum zaustavljanja - maksimalno dozvoljeno vreme izvršavanja algoritma t_{max}.

4. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

GRASP-VND metaheuristika za rešavanje UrApHMCP implementirana je u programskom jeziku C++. Sva testiranja su izvršena na računaru sa procesorom Intel Core I7 sa 2.8 GHz CPU i 8GB RAM pod OS Windows 10. Eksperimentalni rezultati dobijeni su na CAB i AP hab instancama iz ORLIB biblioteke. Za CAB instance, parametar α uzima vrednosti od 0.2 do 0.8, a χ i δ su postavljeni na 1. Broj habova $p \in \{3,4,5\}$, dok je $r \in \{2,\ldots,p-1\}$. Za AP instance, parametar $\alpha = 0.75$, a parametri χ i δ su takođe postavljeni na 1. Broj habova $p \in \{3,4,5,10\}$ i $r \in \{2,\ldots,p-1\}$.

Parametri q_{ij}^{km} i r_{ij}^{km}, korišćeni redom za binarno i parcijalno pokrivanje, definisani su kao u radu [9]. Za CAB instance, vrednosti parametra β su takođe preuzete iz [9], dok su za AP instance vrednosti parametra β jednake

odgovarajućim vrednostima rešenja problema p-hab centra sa višestrukim alokacijama iz [2]. Za sve CAB i AP instance, vrednost parametra φ iz GRC faze GRASP-VND metode je 0.8, dok je parametar $t_{max} = n$ sekundi. Kvalitet rezultata dobijenih predloženom GRASP-VND metodom je procenjen upoređivanjem sa optimalnim i suboptimalnim rešenjima dobijenim egzaktnim rešavačem CPLEX 12.6, koji koristi matematičku formulaciju UrApHMCP. Vreme izvršavanja CPLEX rešavača je ograničeno na 1h (3600s) za svaku testiranu instancu.

Tabela 1: Sumirani rezultati na CAB ($n = 25$) i AP instancama ($25 \leq n \leq 50$) – binarno i parcijalno pokrivanje

		CPLEX						**GRASP-VND**					
Data	#inst	av. value(%)	av. time	#opt	av. time	#feas.	av. time	av. value(%)	av. time	#opt	av. time	#best	av. time
Binarno pokrivanje													
CAB	24	92.2838	37.82	24	37.82	-	-	92.2838	1.57	24	1.57	-	-
AP	42	83.9132	1738.30	25	364.24	17	3571.96	98.7054	12.01	25	10.76	17	13.45
Parcijalno pokrivanje													
CAB	24	95.0189	247.98	24	247.98	-	-	95.0107	0.74	23	0.61	-	-
AP	42	73.0938	2332.80	20	1055.14	22	3600.92	99.3273	14.96	20	11.66	22	17.19

U Tabeli 1 su prikazani prosečni rezultati dobijeni CPLEX rešavačem i rezultati dobijeni GRASP-VND metaheuristikom na CAB i AP instancama manjih i srednjih dimenzija ($n = 25, 40, 50$). Tabela 2 sadrži rezultate GRASP-VND metode na AP instancama većih dimenzija ($n = 100, 200$) za koje CPLEX nije dao optimalno rešenje. Kolone *Data*, *#inst*, *#opt*, $\#feas$, i *#best* sadrže ime instanci, ukupan broj testiranih instanci, broj instanci sa optimalnim, dopustivim i najboljim rešenjima, respektivno. U kolonama $av.value(\%)$ su prikazane prosečne vrednosti funkcije cilja koje odgovaraju najboljim poznatim vrednostima, dobijenim CPLEX rešavačem ili GRASP-VND metodom, izražene kao procenat ukupnog pokrivenog protoka. U kolonama *av.time* prikazana su odgovarajuća prosečna vremena izvršavanja (u sekundama). Iz rezultata predstavljenih u Tabeli 1, može se zaključiti da na CAB instancama, u slučaju binarnog pokrivanja, CPLEX rešavač dostiže sva optimalna rešenja za 37.82s (u proseku), dok GRASP-VND metoda dostiže sva optimalna rešenja za samo 1.57s (u proseku). U slučaju parcijalnog pokrivanja, predložena formulacija omogućava CPLEX rešavaču nalaženje svih optimalnih rešenja na CAB instancama, za 247.98s (u proseku). Prosečno vreme izvršavanja GRASP-VND metode je 0.74s, uz napomenu da se ovom metodom pri zadatim vrednostima parametara, ne dostiže 1 optimalno rešenje. Na AP instancama do 50 čvorova, u slučaju binarnog pokrivanja, CPLEX dostiže optimalna rešenja za 25 od 42 AP instance, dok za preostalih 17 instanci daje dopustiva rešenja. Predložena GRASP-VND metoda dostiže sva poznata optimalna rešenja dobijena CPLEX rešavačem za 10.76s (u proseku) i daje nova najbolja rešenja za instance na kojima optimalnost nije dokazana, za 13.45s (u proseku). Slično, u slučaju parcijalnog pokrivanja, GRASP-VND metoda dostiže sva optimalna rešenja za 11.66s (u proseku) i daje nova najbolja rešenja za instance na kojima optimalnost nije dokazana, za 17.19s (u proseku).

Tabela 2: GRASP-VND rezultati na većim AP instancama ($n = 100, 200$) – binarno i parcijalno pokrivanje

		GRASP-VND			
		Binarno pokrivanje		**Parcijalno pokrivanje**	
$n.p$	r	Best value%)	time(s)	Best value(%)	time(s)
100.3	2	98.1204	94.55	99.1264	31.67
100.4	2	97.7148	89.14	98.8068	86.29
100.4	3	98.1085	56.83	99.0608	45.84
100.5	2	97.9909	113.67	98.8851	32.91
100.5	3	98.4629	89.01	99.2624	75.90
100.5	4	98.6039	29.87	99.3893	54.67
200.3	2	98.9908	200.41	99.5094	93.03
200.4	2	98.6059	116.66	99.3576	93.61
200.4	3	98.8588	69.84	99.5081	41.95
200.5	2	98.5789	200.43	99.2680	200.54
200.5	3	98.8223	199.52	99.4736	171.89
200.5	4	98.8583	200.05	99.4555	148.94
Prosek:		98.4764	121.67	99.2586	89.77

U Tabeli 2 su prikazani samo rezultati dobijeni predloženom GRASP-VND metaheuristikom na AP instancama sa 100 i 200 čvorova, jer za ove instance CPLEX ne daje čak ni dopustiva rešenja usled nedostatka memorije.

Kolone Tabele 2 sadrže sledeće podatke: $n.p$ - broj čvorova i habova za datu instancu, r - broj dozvoljenih alokacija, $Best\ value(\%)$ - vrednost funkcije cilja koja odgovara najboljem poznatom rešenju, izražena kao procenat ukupnog pokrivenog protoka, $time(s)$ - vreme (u sekundama) koje je neophodno GRASP-VND metodi da dostigne svoje najbolje rešenje. Poslednja vrsta tabele, označena sa *"Prosek"*, sadrži prosečne vrednosti rezultata po kolonama. Rezultati prikazani u Tabeli 2 pokazuju da predloženi GRASP-VND daje rešenja visokog kvaliteta za kratko vreme izvršavanja, uzimajući u obzir dimenzije testiranih instanci. Prosečne vrednosti funkcije cilja najboljih rešenja su 98.4764% za binarno pokrivanje i 99.2586% za parcijalno pokrivanje, dok su prosečna vremena izvršavanja 121.67s za binarno i 89.77s za parcijalno pokrivanje.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu razmatran je problem p-hab maksimalnog pokrivanja neograničenih kapaciteta sa r-alokacijskom šemom (UrApHMCP) i binarnim i parcijalnim pokrivanjem. Egzaktni rešavač CPLEX 12.6 koji koristi matematičku formulaciju problema ne daje čak ni dopustiva rešenja za veće dimenzije problema, što je i očekivano, imajući u vidu da je UrApHMCP NP-težak problem. Predložena hibridna metaheuristika (GRASP-VND) u kratkom vremenu izvršavanja dostiže sva optimalna rešenja na CAB i AP instancama manjih i srednjih dimenzija ($25 \leq n \leq 50$) i obezbeđuje kvalitetna rešenja na AP instancama problema većih dimenzija ($n = 100, 200$). Buduća istraživanja mogu uključiti paralelizaciju i hibridizaciju predloženih metoda sa drugim heuristikama za rešavanje UrApHMCP ili sličnih hab lokacijskih problema.

LITERATURA

[**1**] Alumur, S., & Kara, B. (2008). Network hub location problems: The state of the art. European Journal of Operational Research, 190(1), 1-21.

[**2**] Brimberg, J., Mladenović, N., Todosijević, R., & Urošević, D. (2017). A basic variable neighborhood search heuristic for the uncapacitated multiple allocation p-hub center problem. Optimization Letters, 11(2), 313–327.

[**3**] Campbell, J.F. (1994). Integer programming formulations of discrete hub location problems. European Journal of Operational Research, 72(2),387-405.

[**4**] Farahani, R.Z., Hekmatfar, M., Arabani, A.B., & Nikbakhsh, E. (2013). Hub location problems: A review of models, classification, solution techniques, and applications. Computers & Industrial Engineering, 64(4), 1096-1109.

[**5**] Feo, T.A., & Bard, J.F. (1989). Flight scheduling and maintenance base planning. Management Science, 35(12), 1415-1432.

[**6**] Feo, T.A., & Resende, M.G. (1995). Greedy randomized adaptive search procedures. Journal of Global Optimization, 6(2), 109-133.

[**7**] Janković, O., Mišković, S., Stanimirović, Z., & Todosijević, R. (2017). Novel formulations and VNS-based heuristics for single and multiple allocation p-hub maximal covering problems. Annals of Operations Research, 259(1-2), 191–216.

[**8**] Janković, O., & Stanimirović, Z. (2017). A general variable neighborhood search for solving the uncapacitated r-allocation p-hub maximal covering problem. Electronic Notes in Discrete Mathematics, 58, 23–30.

[**9**] Peker, M., & Kara, B.Y. (2015). The p-hub maximal covering problem and extensions for gradual decay functions. Omega, 54, 158-172.

[**10**] Resende, M. G., & Ribeiro, C. C. (2014). GRASP: Greedy randomized adaptive search procedures. In: Search methodologies. Springer, Boston, MA, 287-312.

[**11**] Wagner, B. (2008). Model formulations for hub covering problems. Journal of the Operational Research Society, 59(7), 932-938.

[**12**] Yaman, H. (2011). Allocation strategies in hub networks. European Journal of Operational Research, 211(3), 442-451.

XLVIII Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23. September 2021.
MATΦ University of Belgrade Faculty of Mathematics
Mathematical Institute SANU

HYBRID VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH FOR THE AUTOMATIC WAREHOUSE SCHEDULING

YURY KOCHETOV[1], IVAN DAVYDOV[2], DANIIL TOLSTYKH [3]

[1] Sobolev Institute of Mathematics, Novosibirsk, Russia, jkochet@math.nsc.ru
[2] Sobolev Institute of Mathematics, Novosibirsk, Russia, Vann.davydov@gmail.com
[3] Novosibirsk State University, Russia, daniil.tolstykh.1996@gmail.com

---

Abstract: *We study a real-life scheduling problem for an automated warehouse of a huge electronic manufacturer. We consider a new picking and packing process on several production lines equipped with parallel machines and intermediate buffer. The picking process is serviced by a limited fleet of transportation robots. Each robot delivers raw materials from the storage to picking stations and back. Moreover, special constraints arise from the availability of parking slots and duration of the batch handling. For this new makespan minimization problem, we design a hybrid heuristic approach, based on VNS framework with penalties. We have conducted computational experiments on a set of instances based on real data, provided by the Huawei company with up to 500 batches, 4 production lines and 40 robots. The proposed approach provides solutions with a small average relative error from the simple lower bound.*

Keywords: *VNS framework, hybrid flow-shop scheduling, picking and packing process, automatic transportation robot, production line*

XLVIII Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23. September 2021.
MATΦ University of Belgrade Faculty of Mathematics
Mathematical Institute SANU

VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH ALGORITHMS FOR SOME DISCRETE FACILITY LOCATION PROBLEMS

TATIANA LEVANOVA[1,2]

[1] Sobolev Institute of Mathematics, Omsk Branch, Pevtsov Str., 13, Omsk, Russia, levanova@ofim.oscsbras.ru

[2] Omsk State University, Mir Av., 55a, Omsk, Russia, levanovat@mail.ru

Abstract: *The work is devoted to the development of Variable Neighborhood Search algorithms for NP hard facility location problems, previous and current studies of the authors are reported. Two-stage uncapacitated facility location problem, competitive facility location and design problem with elastic demand and two-stage location problem of radio communication systems planning are considered. Variants of the Variable Neighborhood Search algorithms are constructed for them. New special problem-oriented types of neighborhoods are described. Numerical experiments are conducted to determine the quality of the proposed algorithms. Experimental studies are carried out on well-known and specially created test instances. The results of the new algorithms are compared with known optimal solutions, with the work of well-known software and the results of other authors. The performed studies show the high accuracy of the proposed algorithms and the prospects for using the Variable Neighborhood Search approach.*

Keywords: *Discrete Optimization, Location Problem, Two-Stage Facility Location, Elastic Demand, Variable Neighborhood Search*

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

OCENE KVALITETA ZA FAZI KLASTEROVANJE NA KOMPLEKSNIM MREŽAMA

QUALITY MEASURES FOR FUZZY CLUSTERING IN COMPLEX NETWORKS

FILIP VIDOJEVIĆ[1], DENIS ALIČIĆ[1], MIROSLAV MARIĆ[1], DUŠAN DŽAMIĆ[2]

[1] Matematički fakultet, Studentski trg 16, Beograd, Srbija, {filip_vidojevic, denis_alicic, maricm}@matf.bg.ac.rs

[2] Fakultet organizacionih nauka, Jove Ilića, Beograd, Srbija, dzamic.dusan@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Klasterovanje predstavlja proces grupisanja podataka tako da stepen sličnosti između elemenata bude maksimalan ako pripadaju istoj grupi i minimalan ako pripadaju različitim grupama. Ukoliko su podaci nad kojima se vrši klasterovanje predstavljeni u formi mreže koja opisuje strukturu nekog kompleksnog sistema, radi se o klasterovanju na kompleksnim mrežama. Do sada je u literaturi predloženo nekoliko mera za ocenu kvaliteta disjunktnog klasterovanja, poput modularnosti, modularnosti gustine, e-funckije i drugih. Korišćenjem ovih mera, problem klasterovanja na mreži se formuliše kao problem kombinatorne optimizacije, a za rešavanje se mogu koristiti različite metode matematičke optimizacije. U ovom radu, izvršili smo prilagođavanje postojećih mera za rasplinuto (fazi) klasterovanje na kompleksnim mrežama u kojima klasteri nisu disjunktni, već se preklapaju, odnosno svaki čvor ima verovatnoću pripadanja svakom od klastera. Računski eksperimenti na generisanim i realnim instancama pokazuju da prilagođene mere imaju potencijal za sprovođenje rasplinutog klasterovanja na kompleksnim mrežama.*

Ključne reči: *Fazi klasterovanje, kompleksne mreže, e-funkcija, modularnost*

Abstract: *Clustering is a process of grouping the data, so that similarity degree between elements is maximal, if they belong to the same group, and minimal if they belong to different groups. If the data being clustered is presented in the form of a network that describes the structure of a complex system, it is clustering on complex networks. So far, several measures have been proposed in the literature to assess the quality of disjoint clustering, such as modularity, density modularity, e-function and others. Using these measures, the problem of network clustering is formulated as a problem of combinatorial optimization, and various methods of mathematical optimization can be used to solve it. In this paper, we have adjusted the existing measures for fuzzy clustering on complex networks in which the clusters are not disjoint, but overlap, i.e. each node has the probability of belonging to each of the clusters. Computational experiments on generic and real instances show that adjusted measures have the potential to implement fuzzy clustering on complex networks.*

Keywords: *Fuzzy clustering, complex networks, e-function, modularity*

Informacioni sistemi i tehnologije

Information Systems and Technologies

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

UNAPREĐENJE POSLOVNIH PROCESA POMOĆU ROBOTSKE AUTOMATIZACIJE PROCESA

PROCESS IMPROVEMENT THROUGH ROBOTIC PROCESS AUTOMATION

DANIJEL HORVAT[1], RAJKO IVANIŠEVIĆ[1]

[1] Univerzitet u Novom Sadu, Ekonomski fakultet u Subotici, {danijelhorvat024, rajkonn97}@gmail.com

Rezime: *Svakodnevne tehnološke promene i unapređenja doprinose ostvarivanju brojnih prednosti i olakšica u poslovanju, ali isto tako iniciraju pojavu novih radnih mesta, promenu načina obavljanja posla i korišćenje većeg broja različitih poslovnih sistema. Poslovni procesi se upravo definišu kao skup aktivnosti koje je potrebno izvršiti radi obavljanja određenog posla bilo da je to evidentiranje novih klijenata, kreiranje i slanje fakture ili obračun zarada. Mnogi od navedenih poslovnih procesa se izvršavaju manuelno od strane zaposlenih što doprinosi trošenju značajnog dela radnog vremena zaposlenog na obavljanje ponavljajućih i monotonih aktivnosti koje ne stvaraju dodatnu vrednost za kompaniju. Kako bi se zaposleni oslobodili obavljanja ovakvih aktivnosti došlo je do pojave nove tehnologije poznate kao robotska automatizacija procesa (eng. Robotic Process Automation - RPA). RPA omogućava automatizaciju manuelnih i ponavljajućih aktivnosti ili celokupnih procesa koje ljudi svakodnevno obavljaju na radnom mestu. Cilj rada je upoznavanje sa mogućnostima i prednostima primene robotske automatizacije procesa u kompanijama.*

Ključne reči: *Robotska automatizacija procesa, poslovni procesi, RPA, upravljanje poslovnim procesima.*

Abstract: *Everyday technological changes and improvements contribute to the achievement of numerous benefits in business, but they also initiate the appearance of new jobs, the change of conducting business and the use of numerous different business systems. Business processes are precisely defined as a set of activities that need to be perform to execute a certain job, whether it is recording new clients or creating and sending invoices. Many of the business processes are performed manually by employees, which contributes to the significant spending of the employee's working time on performing repetitive and monotonous activities that do not create added value for the company. In order to free employees from performing such activities, a new technology, known as robotic process automation (RPA), has emerged. Robotic process automation enables the automation of manual and repetitive activities or entire processes that people perform daily in their workplace. This paper aims to get acquainted with the possibilities and advantages of robotic process automation implementation in companies.*

Keywords: *Robotic Process Automation, Business Process, RPA, Business Process Management.*

1. UVOD

Svakodnevno dolazi do pojava novih tehnologija koje narušavaju dotadašnji način obavljanja posla. Nakon industrijske revolucije (eng. Industrial Revolution) i manufakturne revolucije (eng. Manufacturing Revolution) može se reći da trenutni pravac razvoja tehnologije vodi ka robotskoj revoluciji (eng. Robots Revolution). Ona predstavlja naredni korak nakon interneta, ERP sistema (eng. Enterprise Resource Planning), CRM sistema (eng. Customer Relationship Management) i računarstva u oblaku (eng. Cloud Computing), a naziva se robotska automatizacija procesa (eng. Robotic Process Automation).(Anagnoste, 2017)

Prema Aguirreu i Rodriguezu (2017), robotska automatizacija procesa predstavlja tehnologiju za automatizaciju koje su bazirane na softverskim alatima i omogućavaju imitiranje ljudskih postupaka, izvršavanje ponavljajućih aktivnosti i aktivnosti koje ne stvaraju vrednost, kao što su: kopiranje podataka, unos podataka u različite sisteme, učitavanje podataka itd. RPA predstavlja industrijski (eng. Industrial) odgovor na ogromnu količinu manuelnog rada koji pojedinci obavljaju svakodnevno. (Mendling et al., 2018)

2. POJAM I SADRŽAJ ROBOTSKE AUTOMATIZACIJE PROCESA

Razvoj novih tehnologija zahteva od kompanija praćenje novih trendova i svakodnevno prilagođavanje i unapređivanje sopstvenog poslovanja u skladu sa nastalim promenama sa ciljem povećanja svojih prednosti u odnosu na konkurenciju i ostvarivanja boljeg finansijskog rezultata. Kompanije koje iz nekog razloga nisu u stanju da isprate trend promena mogu u veoma kratkom roku biti potisnute iz tržišne borbe od strane konkurencije koja značajnu pažnju posvećuje svakodnevnom unapređenju poslovanja.

RPA predstavlja tehnologiju za konfigurisanje softverskih robota koji koriste postojeće aplikacije za obradu transakcija, manipulisanje podacima i komunikaciju sa drugim softverskim sistemima. (Leshob et al., 2018) Računarski softver koji izvršava navedene operacije se naziva „Robot" ili „Bot". Iako se prilikom upotrebe termina „Robot" prvo pomisli na fizičku mašinu (robota) koja radi u kancelarijama i obavlja zadatke koje inače obavljaju ljudi, bitno je naglasiti da to ipak nije slučaj već da robotska automatizacija procesa predstavlja softversko rešenje, konfigurisano za izvršavanje ponavljajućih zadataka koje su do sada radili ljudi. (Aguirre & Rodriguez, 2017)

RPA roboti su sposobni da (Hofmann et al., 2020):

- prikupljaju podatke,
- pokreću aplikacije,
- automatski šalju odgovore i
- komuniciraju sa postojećim sistemima.

Značajne uštede, agilnost i unapređenje kvaliteta su odlika uspešnog RPA projekta. (Jimenez-Ramirez et al., 2019) Ipak, nisu svi poslovni procesi pogodni za automatizaciju. RPA se prvenstveno koristi za automatizaciju procesa koji su (Aguirre & Rodriguez, 2017):

- manuelni,
- ponavljajući,
- zasnovani na striktnim pravilima i
- sadrže nisku stopu izuzetaka.

Fung (2013.) predlaže nekoliko kriterijuma za određivanje pogodnosti poslovnih procesa za automatizaciju:

- niski kongnitivni zahtevi - zadaci koji ne zahtevaju subjektivno rasuđivanje, kreativnost ili veštine tumačenja,
- veliki obim - zadaci koji se često izvršavaju,
- pristup većem broju sistema - procesi koji zahtevaju pristup većem broju aplikacija i sistema kako bi se izvršio posao,
- ograničeno rukovanje izuzecima - zadaci koji su standardizovani i sadrže nisku stopu izuzetaka,
- ljudska greška - zadaci koji su skloni ljudskim greškama zbog manuelnog izvršavanja istih.

U skladu sa navedenim kriterijumima, snažni kandidati za robotsku automatizaciju procesa su Back office kancelarije koje obuhvataju veliki broj procesa koji su standardizovani i koji imaju nizak ili nikakav stepen izuzetaka. (Aguirre & Rodriguez, 2017) Zadaci poput čuvanja pristiglih dokumenata u folderima, čitanje i korišćenje podataka iz fajlova poput PDF-a, prijavljivanje u sisteme poput ERP-a i CRM-a, donošenje odluka na osnovu unapred definisanih kriterijuma predstavljaju aktivnosti koje se svakodnevno izvršavaju i to na potpuno identičan način. Zbog toga oni predstavljaju dobre opcije za automatizaciju. (Anagnoste, 2017)

3. POGODNOSTI KOMPANIJAMA OD PRIMENE AUTOMATIZACIJE

Robotska automatizacija procesa donosi kompanijama brojne benefite kao što su (Leshob et al., 2018; Nandan Mullakara and Arun Kumar Asokan, 2020): povećanje produktivnosti, rast kvaliteta usluga, kraće vreme obavljanja poslova kao i oslobađanje zaposlenih od obavljanja dosadnih i ponavljajućih radnih zadataka. RPA se može primeniti u mnogim industrijama kao što su bankarstvo, zdravstvo i osiguranje, jer se u svim navedenim industrijama posvećuje značajan broj sati zadacima koje bi mogli izvršavati softverski roboti (Leshob et al., 2018).

Na početku svog pojavljivanja, centralno pitanje vezano za koristi koje je RPA doneo ticao se ROI (eng. Return on Investment) pokazatelja. U poređenju sa drugim tehnologijama, metrike su ukazivale na značajan nivo pozitivnog uticaja na celokupno okruženje. Prema izveštaju kompanije Computer Economics Technology iz 2019. godine, koja je sprovela istraživanje u kojoj je bilo uključeno oko 250 kompanija, došlo se do odgovora da je oko 12% kompanija primenilo RPA u okviru sopstvene organizacije i da je polovina njih izjavila da je u roku od 18 meseci postojao pozitivan povraćaj ulaganja ROI. Prema istraživanju koje je sprovela kompanija Forrester, otkriveno je da je čak 86% učesnika u istraživanju odgovorilo da je primenom RPA ostvaren značajan napredak u efikasnosti. Naredna prednost koju je potrebno navesti je relativna

jednostavnost implementacije. Naime, za razliku od tradicionalnih poslovnih sistema kao što su CRM ili ERP, RPA generalno ne uključuje tešku implementaciju i integraciju. Veoma se lako pridodaje postojećim softverima i sistemima koje kompanije koriste. Takođe je bitno napomenuti da je veoma jednostavan za korišćenje jer se od korisnika ne zahteva razumevanje složenog programiranja. (Taulli, 2020)

Još jedna velika prednost RPA rešenja jeste i to što se zaposleni mogu obučiti za korišćenje automatizacije u veoma kratkom roku bez potreba za angažovanjem spoljnih konsultanata što podrazumeva značajne troškove. (Anagnoste, 2017)

Prema autorima Mullakaru i Asokanu (2020), neke od najznačajniji prednosti koje RPA nosi sa sobom su:

- povećanje produktivnosti - tokom radnog vremena, zaposleni na svom radnom mestu često izvršavaju pojedine aktivnosti i po nekoliko puta. Prema nekim analizama 60 - 90% takvih zadataka je moguće automatizovati. Na taj način je moguće smanjiti napor koji zaposleni ulažu u obavljanje ponavljajućih aktivnosti i ostvariti povećanje produktivnosti,
- brzi rezultati i koristi koji se ostvaruju - brza implementacija i rezultati su ključna prednost koju donosi RPA,
- niski početni troškovi - licenca za svakog robota je jeftinija od bilo kojeg drugog softverskog alata,
- smanjeni troškovi rada - troškovi rada su drastično niži jer robot košta oko jedne trećine troškova zaposlenog,
- unapređenje kvaliteta i preciznosti - dodeljene zadatke roboti izvršavaju sa 100% tačnošću što znači da bilo kakva ponovna obrada zbog eventualne greške nije potrebna,
- poboljšana usklađenost - RPA aktivnosti se evidentiraju i iste je moguće pregledati u bilo kom trenutku. Na taj način se omogućava veći stepen nadzora i kontrole poslovanja.

4. TEHNOLOGIJE ROBOTSKE AUTOMATIZACIJE PROCESA U TRANSFORMACIJI POSLOVANJA

Uvođenje robotske automatizacije procesa radi unapređenja poslovnih procesa u kompaniji nije jednostavan zadatak i zahteva prolazak kroz više faza. Ti koraci su: (Jimenez-Ramirez et al., 2019; Leshob et al., 2018; Santos et al., 2019)

- analiza poslovanja radi utvrđivanja koji su procesi ili njihovi delovi kandidati za robotizaciju. Jedan od najvećih izazova predstavlja identifikovanje procesa pogodnih za automatizaciju. Izbor pravog procesa je ključan, jer automatizacija pogrešnog procesa povećava neefikasnost. Rezultat sprovedenog istraživanja može da klasifikuje identifikovane poslovne procese u jednu od 4 grupa: Nije pogodan za automatizaciju, manje pogodan za automatizaciju, pogodan za automatizaciju ili visoko pogodan za automatizaciju,
- dizajn odabranih procesa što uključuje specifikaciju aktivnosti (eng. actions) i tokova podataka (eng. data flow) koji se moraju razviti,
- razvoj svakog dizajniranog procesa,
- primena robota u njihovom individualnom okruženju za obavljanje njihovih poslova,
- faza testiranja ili kontrole u kojoj se analiziraju performanse svakog robota i otkrivaju greške. Primetno je da u okviru tradicionalnog razvoja softvera faza testiranja prethodi fazi primene, dok robotsku automatizaciju procesa karakteriše nedostatak okruženja za testiranje te je dostupno samo proizvodno okruženje zbog čega faza testiranja sledi tek nakon faze primene,
- faza izvršenja i održavanja procesa koji uzima u obzir performanse svakog robota i eventualne greške. Izlazi koje generiše ova faza omogućavaju novi ciklus analize i dizajna radi unapređenja robota.

Prilikom razmatranja najsavremenih RPA tehnologija kao što su UiPath ili WorkFusion, očigledno je da se oni uglavnom fokusiraju na kasnije faze životnog ciklusa tj. na faze stvarnog razvoja i primene kreiranog robota. Pružaju izuzetno nizak nivo podrške za otkrivanje zadataka ili procesa koji su pogodni za automatizaciju. Takođe, do danas ne postoje uspostavljene metode za sprovođenje faza analize i projektovanja poslovnih procesa. Kao posledica toga, trenutni RPA projekti se često oslanjaju na analizu dokumentacije koja može biti lošeg kvaliteta i koja može zahtevati dodatni napor za razumevanje. (Jimenez-Ramirez et al., 2019)

Uzimajući u obzir da dizajnirani roboti koriste postojeće sisteme kompanije, postoji veliki rizik koji nastaje zbog razvoja robota na bazi netačnih informacija. Zbog toga su prve dve faze razvoja najbitnije za uspešan razvoj kvalitetnog robota i potrebno im je posvetiti značajan vremenski period radi temeljnog otkrivanja i opisivanja poslovnih procesa u kompaniji.

Zanimljivo je da u kompanijama koje su usvojile RPA, ljudi i roboti uglavnom rade uporedo. Ljudi su zaduženi za upravljanje procesima koji nisu pogodni za automatizaciju ili još nisu robotizovani. (Jimenez-Ramirez et al., 2019) Ovi zaposleni moraju proći kroz dve vrste obuke. Prva obuka podrazumeva obučavanje

za izvršavanje dela procesa koji nije automatizovan dok drugi deo podrazumeva obuku o način ispravnog korišćenja kreiranog robota.

RPA alati se široko koriste i neophodni su za automatizaciju različitih zadataka. Na tržištu postoje brojni RPA alati i njihov odabir može predstavljati izazov. Do sada ne postoji ni jedan dobavljač koji bi mogao da se istakne u svemu. (Anagnoste, 2017) Svaki alat poseduje svoje specifičnosti i u skladu sa tim je potrebno odabrati alat koji najviše pogoduje projektu na kojem se radi. U vreme pisanja ovog rada najpopularniji RPA alati su (Anagnoste, 2017):

- UiPath,
- Automation Anywhere,
- BluePrism,
- WorkFusion,
- RedWood,
- OpenSpan itd.

Roboti kreirani pomoću alata koje nude pomenuti dobavljači su sposobni da oponašaju mnoge, ako ne i sve ljudske aktivnosti. Oni mogu da se prijavljuju u aplikacije, premeštaju fajlove i foldere, kopiraju podatke, popunjavaju različite forme (obrasce), izvlače struktuirane i polustruktuirane podatke iz dokumenata, očitavaju podatke iz browsera i drugo.

5. ZAKLJUČAK

U radu su razmatrani pojam i sadržaj robotske automatizacije procesa u cilju upoznavanja sa relativno novom i nadolazećom tehnologijom koja već sada zaokupljuje značajan nivo pažnje ljudi širom sveta, ali svoj vrhunac treba da dostigne tek u budućnosti. Kao što je poznato, svaki tehnološki napredak ima veliki uticaj na promenu poslovanja savremenih organizacija. Međutim, uvođenje automatizacije odnosno robotskih rešenja može doprineti ostvarivanju daleko većeg uticaja.

Bitno je naglasiti da robotska automatizacija procesa ne zahteva značajne organizacione promene kao što je to slučaj sa većinom drugih tehnologija. Robotska automatizacija procesa zahteva sprovođenje detaljne i kvalitetne analize radi identifikovanja poslovnih procesa i utvrđivanja ključnih poslovnih procesa koje je potrebno automatizovati. Ukoliko se navedeni koraci izvrše na kvalitetan način, sama implementacija kreiranog softverskog rešenja ne bi trebalo da izaziva velike poteškoće. Ona se prilagođava postojećem stanju organizacije i koristi raspoložive resurse i sisteme kompanije.

Pregledom naučne i stručne literature moguće je zaključiti da je tema istraživanja u ovom radu još uvek u povoju i da će tek u budućnosti biti dostignuti i iskorišćeni maksimalni potencijali robotske automatizacije procesa. Cilj ovog rada je upoznavanje i razumevanje pojma, prednosti i tehnologije robotske automatizacije procesa koja će sobzirom na današnje vreme kada se sve više teži robotizaciji i veštačkoj inteligenciji zaokupirati značajan nivo pažnje.

LITERATURA

[1] Aguirre, S., & Rodriguez, A. (2017). *Automation of a Business Process Using Robotic Process Automation (RPA): A Case Study* (pp. 65–71). https://doi.org/10.1007/978-3-319-66963-2_7

[2] Anagnoste, S. (2017). Robotic Automation Process - The next major revolution in terms of back office operations improvement. *Proceedings of the International Conference on Business Excellence*, *11*(1), 676–686. https://doi.org/10.1515/picbe-2017-0072

[3] Han Ping Fung. (2013). Criteria, Use Cases and Effects of Information Technology Process Automation (ITPA). *Advances in Robotics & Automation*, *03*(03). https://doi.org/10.4172/2168-9695.1000124

[4] Hofmann, P., Samp, C., & Urbach, N. (2020). Robotic process automation. *Electronic Markets*, *30*(1), 99–106. https://doi.org/10.1007/s12525-019-00365-8

[5] Jimenez-Ramirez, A., Reijers, H. A., Barba, I., & Del Valle, C. (2019). *A Method to Improve the Early Stages of the Robotic Process Automation Lifecycle* (pp. 446–461). https://doi.org/10.1007/978-3-030-21290-2_28

[6] Leshob, A., Bourgouin, A., & Renard, L. (2018). Towards a Process Analysis Approach to Adopt Robotic Process Automation. *2018 IEEE 15th International Conference on E-Business Engineering (ICEBE)*, 46–53. https://doi.org/10.1109/ICEBE.2018.00018

[7] Mendling, J., Decker, G., Hull, R., Reijers, H. A., & Weber, I. (2018). How do Machine Learning, Robotic Process Automation, and Blockchains Affect the Human Factor in Business Process

Management? *Communications of the Association for Information Systems*, 297–320. https://doi.org/10.17705/1CAIS.04319

[8] Nandan Mullakara and Arun Kumar Asokan. (2020). *Robotic Process Automation Projects*.

[9] Santos, F., Pereira, R., & Vasconcelos, J. B. (2019). Toward robotic process automation implementation: an end-to-end perspective. *Business Process Management Journal*, *26*(2), 405–420. https://doi.org/10.1108/BPMJ-12-2018-0380

[10] Taulli, T. (2020). *The Robotic Process Automation Handbook*. Apress. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5729-6

[11] Wewerka, J., & Reichert, M. (2020). Towards Quantifying the Effects of Robotic Process Automation. *2020 IEEE 24th International Enterprise Distributed Object Computing Workshop (EDOCW)*, 11–19. https://doi.org/10.1109/EDOCW49879.2020.00015

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

TESTIRANJE PREZENTACIONOG SLOJA .NET VEB APLIKACIJA

TESTING PRESENTATION LAYER OF .NET WEB APPLICATIONS

TIJANA MILOŠEVIĆ[1], SAŠA LAZAREVIĆ[1], TATJANA STOJANOVIĆ[1]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, milosevic.tijana111@gmail.com, {sasa.lazarevic, tatjana.stojanovic}@fon.bg.ac.rs

---

Rezime: *Testiranje je neizostavni deo razvoja svakog softvera. U novije vreme softveri su postali sve kompleksiniji, pa je potrebno da se tesiranje obavi na što brži i jeftiniji način. Ovo ukazuje na to da ručno testiranje softvera treba zameniti automatskim testiranjem. Automatsko testiranje je postupak testiranja softvera gde testove izvršava određeni računarski program, odnosno alat za automatizaciju. Najčešće se automatizuju testovi za testiranje grafičkog korisničkog interfejsa koji može biti na primer desktop ili veb aplikacija. Njihova ideja je da pokrenu aplikaciju, simuliraju kretanje korisnika po njoj i da proveri odgovor sistema na akcije korisnika. Danas postoji mnogo alata za automatsko testiranje, a od svih se izdvojio Selenium. On podržava pisanje test skripti u različitim programskim jezicima (poput Jave i C#-a), veb aplikacija se može pokrenuti u različitim pretraživačima kao što su Chrome, Firefox, Safari, Internet Explorer, Opera, Edge, podržan je na različitim operativnim sistemima (Windows, Linux, Mac OS), lako se implementira.*

Ključne reči: *Automatsko testiranje, Selenium, testiranje softvera, veb aplikacija, .NET.*

Abstract: *Testing is an integral part of any software development. In recent times, software has become increasingly complex, so it is necessary to perform testing in the fastest and cheapest way. This indicates that manual software testing should be replaced by automatic testing. Automated testing is a software testing process where tests are performed by a specific computer program, an automation tool. Tests to test a graphical user interface, which can be, for example, a desktop or web application, are most often automated. Their idea is to run the application, simulate user movement on it and check the system's response to user actions. Today, there are many tools for automatic testing, and Selenium stood out from all of them. It supports writing test scripts in different programming languages (Java, C #, etc.), web applications can run in different browsers such as Chrome, Firefox, Safari, Internet Explorer, Opera, Edge, it is supported on different operating systems (Windows, Linux, Mac OS, etc.), is easily implemented.*

Keywords: *Automatic testing, Selenium, software testing, web application, .NET.*

1. UVOD

Testiranje je postupak izvršavanja programa sa namerom pronalaženja grešaka (Myers i ostali, 2011). Testiranje softvera je proces ili niz procesa koji su napravljeni sa namerom da se proveri programski kod, i da on radi onako kako je predviđeno, bez neočekivanih grešaka. Softver bi trebalo da bude predvidljiv i dosledan, ne predstavljajući iznenađenja za korisnike (Myers i ostali, 2011).
Metodologije razvoja softvera, poput agilne (engl. *Agile*) i vodopad (engl. *Waterfall*), kao jednu od faza imaju fazu testiranja. Ideja tradicionalne, vodopad metodologije je da se u fazama planiranja i analize utvrde svi tehnički detalji i zahtevi softvera, i da se u daljim fazama prati i postupa po njima, da bi se u fazi testiranja uradilo par testova koji, u većini slučajeva, ne bi pronašli grešku jer je prethodno sve dobro isplanirano. Ti testovi su uglavnom bili ručni, jer nije postojala potreba za automatskim. Međutim, danas je to gotovo nemoguće izvesti. Projekti (softveri) su sve kompleksiniji da je teško utvrditi sve zahteve i isplanirati ih do sitnih detalja i predvideti sva moguća ponašanja. Zbog toga se sada sve više razvoj softvera okreće agilnom pristupu. Kod ovog pristupa se utvrđuju zahtevi softvera, međutim oni nisu konačni. Moguće ih je dopunjavati i menjati. Ukoliko se u fazi testiranja uoči greška, razvoj softvera se ponavlja od početka, i otklanjaju se uočene greške. Time se dopunjava početno postavljena specifikacija. S obzirom na kompleksnost softvera, ručni testovi bi oduzimali dosta vremena. Zbog toga se teži automatizaciji testova. Postoji dosta razlika između ove dve metodologije, a jedna od njih, koja se tiče upravo faze testiranja, je da se kod agilnog pristupa testiranje može vršiti paraleno sa implementacijom, dok se kod vodopad pristupa

faza testiranja dešava nakon implementacije. Sve ima svoje prednosti i mane, ali jedno je sigurno- testuranje je bitan i neizostavan deo razvoja softvera.

Danas na tržištu postoji na hiljade alata za testiranje softvera (ručnih i automatskih). Koji alat će programer primeniti zavisi od njegovih preferencija, od toga šta želi da testira, perfomansi testova, troškova. Koji god alat da se odabere, i koliko god se vremena i novca uložilo u testiranje softvera, ishod je isti- programer će otkriti eventualne greške (a ne korisnik), i time uštedeti i vreme i novac.

2. AUTOMATSKO TESTIRANJE

Automatsko testiranje je postupak testiranja softvera gde testove izvršava određeni računarski program, odnosno alat za automatizaciju. Automatsko testiranje se koristi za ponovno pokretanje test scenarija koji se izvodi ručno, brzo i više puta.

Danas postoji na stotine alata za automasko testiranje softvera. Neki od njih su *Selenium*, *WinRunner*, *LoadRunner*... Postupak automatskog testiranja kod svakog alata je isti, gde postoji više procesa: prvo se identifikuje deo softvera za automatizaciju, odabere se alat za automatsko testiranje, pišu se testovi (test skripte), razvijaju se test slučajevi, pokreću se testovi i na kraju se analiziraju rezultati testova.

Automatski testovi se najčešće koriste kod testiranja grafičkog korisničkog interfejsa (engl. *Graphical User Interface, GUI*). Grafički korisnički interfejs može biti na primer veb aplikacija ili desktop aplikacija. U oba slučaja, neophodno je da se prvo uoče njegove komponete, kretanje miša po njima, klik i unos podataka. Komponente se mogu prepoznati po nazivu, id-ju, klasi, položaju na ekranu (koordinatama). Preporuka je da se komponente ne identifikuju preko koordinarta jer one mogu biti drugačije na različitim platformama i rezolucijama ekrana (Kanglin i Mengqi, 2004).

Nakon što su se uočile komponente grafičkog korisničkog interfejsa, pišu se testovi (test skripte). Ovaj deo programerima oduzima najviše vremena. Test skripte bi trebalo da imaju mogućnost ponovne upotrebe, da budu čitljive, održive i prenosive (Kanglin i Mengqi, 2004).

Najvažnije stvari koje bi alat za automatsko testiranje trebalo da omogući su pokretanje aplikacije, učitavanje komponenti stranica, manipulaciju njima (klik, selektovanje, unos vrednosti, čitanje vrednosti), dobru dokumentaciju, jednostavnu upotrebu, izveštavanje nakon pokretanja testova.

Pisanje automatskih testova pomaže u velikoj meri da se smanje vreme i troškovi utrošeni na testiranje softvera tokom čitavog životnog ciklusa njegovog razvoja. Automatizacija osigurava da se testovi izvode redovno i dosledno, što rezultira ranim otkrivanjem grešaka i time dovodi do poboljšanja kvaliteta softvera. (Kanglin i Mengqi, 2004).

3. SELENIUM

Selenium je besplatan (*open-source*) automatski okvir za testiranje koji se koristi za validaciju veb aplikacija u različitim pregledačima i platformama. Za kreiranje *Selenium* test skripti može se koristiti više različitih programskih jezika, kao što su *C#, Java, Python* itd. On nije samo jedan alat, već se sastoji od više softvera- *Selenium IDE*, *Selenium RC*, *Selenium Grid* i *Webdriver*.

Integrisano razvojno okruženje *Selenium (IDE)* je najjednostavniji okvir u paketu *Selenium* i najlakši je za naučiti. To je dodatak za *Firefox* koji možete instalirati kao i ostale dodatke. Međutim, zbog svoje jednostavnosti, *Selenium IDE* treba koristiti samo kao alat za izradu prototipova. Ukoliko postoji potreba za naprednijim testovima, treba koristiti *Selenium RC* ili *WebDriver*.

Selenium RC je dugo bio vodeći okvir za testiranje celog projekta *Selenium*. Ovo je prvi alat za automatizovano veb testiranje koji je korisnicima omogućio da koriste programski jezik koji preferiraju. Od verzije 2.25.0, *RC* podržava *C#, Javu, PHP, Python, Perl, Ruby.*

WebDriver se pokazao boljim od *Selenium IDE*-a i *Selenium RC*-a u mnogim aspektima. Primenjuje moderniji i stabilniji pristup u automatizaciji pregledača. *WebDriver* se, za razliku od *Selenium RC*, ne oslanja na *JavaScript* prilikom automatskog testiranja. On kontroliše pregledač direktnom komunikacijom sa njim. Pomoću *WebDriver*-a može da se napiše kod za direktno upravljanje pregledačem, uz pomoć skripti za testiranje koje simuliraju korisničke interakcije. On može da radi sa svim pretraživačima, kao što su *Chrome*, *Internet Explorer, Firefox, Microsoft Edge*, i tako dalje.

4. PRIMENA SELENIUM ALATA

Za potrebe ovog rada, napravljena je veb aplikacija korišćenjem *ASP .NET MVC* okvira u razvojnom okruženju *Visual Studio* 2019. Korišćen je *.NET* 5 okvir. Aplikacija služi za čuvanje mesta. Mesto se može dodati, izmeniti, obrisati ili pregledati. Nad ovom aplikacijom primenjeni su automatski testovi. Ideja ovih testova je da se pokrene veb aplikacija i da se testom kreće po njoj kao što bi to radio korisnik. Testirane su sve stranice i njihova ponašanja. Svi testovi napisani su u okviru projekta *UI.Test*, kao jedinični testovi *NUnit* biblioteke.

4.1. Konfiguracija

U okviru *NuGet*-a je potrebno instalirati *Selenium.WebDriver* biblioteku. U ovom radu korišćena je verzija 3.141.0. S obzirom da *Selenium* otvara pregledač i aplikaciju, potrebno je da se instalira odgovarajući drajver za odabrani pretraživač. Pretraživač koji će se pokretati automatksim testovima u ovom radu je *Chrome*, i zbog toga je instalirana *Selenium.WebDriver.Chrome* biblioteka verzije koja prati verziju *Chrome* pretraživača na računaru. U ovom radu korišćena je verzija 89. Fajl *chromedriver.exe* se nalazi na putanji UI.Test\bin\Debug\net5.0.

4.2. Testiranje

Pre nego što se počne sa pisanjem testova, potrebno je da se instancira drajver za odabrani pretraživač. Kao što je prethodno rečeno, u ovom radu korišćen je *Chrome* drajver. *IWebDriver* interfejs je ključan kod ovog testiranja, jer predstavlja pretraživač. Ovaj drajver se instancira pre svakog pokretanja testa i zbog toga je metotda, u okviru koje se instancira, označena atributom *SetUp*. Pored toga, potrebno je da se drajver zatvori nakon izvršenja svakog testa. To je postignuto metodom *Cleanup* koja je označena atributom *TearDown*. Na slici 1 prikazano je instanciranje drajvera.

```
public class AutomatedTests : IDisposable
{
   private IWebDriver _driver;

   public void Dispose()
   {
     _driver.Quit();
     _driver.Dispose();
   }

   [SetUp]
   public void Setup()
   {
      _driver = new ChromeDriver();
 }

   [TearDown]
   public void Cleanup()
   {
      _driver.Close();
      Dispose();
 }

}
```

Slika 1: Instanciranje drajvera

Cilj ovih testova je da se pokrene veb aplikacija i simulira kretanje po njoj. Otvaranje veb stranice se radi pozivom *Navigate()* metode drajvera. Ova metoda za povratnu vrednost ima *INavigation* interfejs koji u sebi ima metode *Back()*, *Forward(), GoToUrl(string url), GoToUrl(Uri url)* i *Refresh()* koje služe za navigaciju po veb pretraživaču. Kako bi drajver otvorio url naše veb aplikacije, pozvana je *GoToUrl(string url)* metoda, i prosleđen joj je url aplikacije. Napisan je test *Index_Page* kojim se otvara početna stranica veb aplikacije u pretraživaču i proverava naslov stranice. Naslov stranice učitava se pozivom polja *Title* drajvera. Ova testna metoda ima atribut *Order(1)* kako bi se ovaj test prvi pokrenuo pri pokretanju grupe testova, jer je to prva stranica koja se otvara pri startovanju aplikacije. Test *Index_Page* prikazan je na slici 2.

```
[Test, Order(1)]
[Description("Testing if first(Index) page is successfully launched.")]
public void Index_Page()
{
    _driver.Navigate().GoToUrl("https://localhost:44371/");

    Assert.AreEqual("Pregled mesta - Testiranje i kvalitet softvera", _driver.Title);
}
```

Slika 2: Test otvaranja *Index* stranice

Učitavanje elemenata stranice se radi pozivom metode drajvera *FindElelement(By by)* koja očekuje da se definiše način učitavanja elementa. Postoji nekoliko načina: preko naziva klase, css selektora, id-ja, linka teksta, parcijalnog linka teksta, naziva, naziva taga i Xpath-a. U ovom radu, svaki veb element ima svoj id, pa se željeni element učitava pomoću id-ja elementa. Ovo je veoma korisno ukoliko želimo da simuliramo klik na dugme, upis u polje…

Napisan je test kojim se proverava pretraga na početnoj stranici. Scenario koji se testira je sledeći: korisnik unosi naziv za pretragu, klikće na dugme za pretragu i u tabeli na istoj stranici treba da bude željeni grad. Test prati taj scenario, odnosno simulira korake korisnika, proverava da li je korisnik ostao na istoj stranici, da li je url odgovarajuć i da li tabela sadrži pretraženi grad. Da bi se popunilo polje za pretragu, potrebno je da se učita polje i da mu se pošalju podaci za pretragu. Pozivom metode *SendKeys(string text)* i prosleđivanjem parametra za pretragu smo popunili element na stranici. Metodom *Click()* klikćemo na učitan element, u ovom slučaju je to dugme za pretragu. Kako bi se proverilo da li neki element sadrži željeni tekst, to se radi pozivom svojstva *Text* i pozivom metode *Contains(string text)* elementa. Ovaj test prikazan je na slici 3.

```
[Test, Order(2)]
[Description("Testing if Beograd city is searched successfully.")]
public void Index_Page_Search_Exist()
{
    _driver.Navigate().GoToUrl("https://localhost:44371/");

    _driver.FindElement(By.Id("criteria")).SendKeys("Beograd");
    _driver.FindElement(By.Id("btn-search")).Click();

    IWebElement table = _driver.FindElement(By.Id("table-mesto"));

    Assert.AreEqual("Pregled mesta - Testiranje i kvalitet softvera",
_driver.Title);
    Assert.AreEqual("https://localhost:44371/?criteria=Beograd", _driver.Url);
    Assert.That(table.Text.Contains("Beograd"));
}
```

Slika 3: Test pretrage na *Index* stranici

Klikom na dugme za izmenu pretraženog mesta, otvara se stranica za izmenu tog mesta. Simulira se korisnikovo kretanje po aplikaciji, od pretrage mesta, klika dugmeta za izmenu i otvaranja stranice. Na stranici se proverava da li su u input poljima podaci odabranog mesta za izmenu. Uzimanje vrednosti u input polju vrši se pomoću metoge *GetAttribute(string attributeName)*. Ova metoda očekuje da joj kao parametar prosledimo naziv atributa, u ovom slučaju je to *value*. Test otvaranja *Edit* stranice i test uspešne izmene mesta prikazani su na slici 4.

```
private IWebElement _nazivElement => _driver.FindElement(By.Id("naziv"));
private IWebElement _pttElement => _driver.FindElement(By.Id("postanski-broj"));
private IWebElement _brojStanovnikaElement =>
_driver.FindElement(By.Id("broj-stanovnika"));
[Test, Order(4)]
[Description("Testing if Edit page for Beograd city is successfully launched.")]
public void Edit_Page()
{
   _driver.Navigate().GoToUrl("https://localhost:44371/");
```

```
   _driver.FindElement(By.Id("criteria")).SendKeys("Beograd");
   _driver.FindElement(By.Id("btn-search")).Click();
   _driver.FindElement(By.Id("btn-edit")).Click();

   Assert.AreEqual("Beograd", _nazivElement.GetAttribute("value"));
   Assert.AreEqual("11000", _pttElement.GetAttribute("value"));
   Assert.AreEqual("3000000", _brojStanovnikaElement.GetAttribute("value"));
   Assert.AreEqual("Izmeni mesto - Testiranje i kvalitet softvera", _driver.Title);
   Assert.AreEqual("https://localhost:44371/Mesto/Edit/1", _driver.Url);
}
[Test, Order(5)]
[Description("Testing if Belgrade city is successfully edited.")]
public void Edit_City_Successfull()
{
   _driver.Navigate().GoToUrl("https://localhost:44371/Mesto/Edit/1");

   _brojStanovnikaElement.Clear();
   _brojStanovnikaElement.SendKeys("3000000");
   _driver.FindElement(By.Id("btn-edit")).Click();

   Assert.AreEqual("Pregled mesta - Testiranje i kvalitet softvera", _driver.Title);
   Assert.AreEqual("https://localhost:44371/", _driver.Url);
}
```

Slika 4: Test otvaranja *Edit* stranice i izmena mesta

Testirano je dodavanje novog mesta. Korisnik odlazi na *Add* stranicu, unosi u input polja podatke i klikće na dugme *Add*. Ukoliko su svi podaci ispravno uneseni, korisnik će biti prosleđen na početnu stranicu sa svim mestima, i u tabeli svih mesta bi trebalo da se nalazi novo mesto. Test je prikazan na slici 5.

```
[Test, Order(10)]
[Description("Testing if Leskovac city is successfully added.")]
public void Add_City_Successfull()
{
    _driver.Navigate().GoToUrl("https://localhost:44371/City/Add");

    _nazivElement.SendKeys("Leskovac");
    _pttElement.SendKeys("16000");
    _brojStanovnikaElement.SendKeys("64000");
    _driver.FindElement(By.Id("btn-add")).Click();

    IWebElement table = _driver.FindElement(By.Id("table-mesto"));

    Assert.AreEqual("Pregled mesta - Testiranje i kvalitet softvera",
_driver.Title);
    Assert.AreEqual("https://localhost:44371/", _driver.Url, "User should be on
Index page.");
    Assert.That(table.Text.Contains("Leskovac"));
}
```

Slika 5: Test uspešnog dodavanja mesta

Međutim, alternativni scenario je da korisnik nije uneo ispravno podatke, negativan broj stanovnika, naziv malim slovom, broj stanovnika manji ili jednak 0. Tada bi korisniku trebalo da se prikažu validacione greške. Test koji to proverava dat je na slici 6.

```
private IWebElement _errorNazivElement => _driver.FindElement(By.Id("error-naziv"));
private IWebElement _errorPttElement => _driver.FindElement(By.Id("error-ptt"));
private IWebElement _errorBrojStanovnikaElement =>
_driver.FindElement(By.Id("error-broj-stanovnika"));

[Test, Order(11)]
[Description("Testing validation errors while adding new city.")]
public void Add_City_Error()
{
    _driver.Navigate().GoToUrl("https://localhost:44371/City/Add");

    _nazivElement.SendKeys("leskovac");
    _pttElement.SendKeys("-16000");
    _brojStanovnikaElement.SendKeys("0");
    _driver.FindElement(By.Id("btn-add")).Click();

    Assert.AreEqual("Naziv mesta mora zapoceti velikim slovom!",
_errorNazivElement.Text);
    Assert.AreEqual("Postanski broj mora biti veci ili jednak 11000!",
_errorPttElement.Text);
    Assert.AreEqual("Broj stanovnika mora biti veci od 0!",
_errorBrojStanovnikaElement.Text);
    Assert.AreEqual("Dodaj novo mesto - Testiranje i kvalitet softvera",
_driver.Title);
    Assert.AreEqual("https://localhost:44371/Mesto/Add", _driver.Url, "User should
stay on Add page.");
}
```

Slika 6: Test neuspešno dodatog mesta

5. ZAKLJUČAK

Zbog sve veće kompleksnosti softvera, ručno testiranje je zamenjeno automatskim testiranjem. Automatsko testiranje je postupak testiranja softvera gde testove izvršava određeni računarski program, odnosno alat za automatizaciju. Ono čini da se softver tesira brzo, kvalitetno i uz što manje troškove. Najčešće se automatizuju testovi grafičkog korisničkog interfejsa. Ideja ovih testova je da pokrenu aplikaciju i simuliraju kretanje korisnika po njoj i provere odgovore sistema na zahteve korisnika. Danas postoji dosta alata za automatsko testiranje kao što su *Selenium, SilkTest, WinRunner*.

Selenium, kao najpopularniji besplatan alat za automatsko testiranje ima odličnu podršku za testiranje *.NET* veb aplikacija. Test skripte se mogu pisati kao test metode alata za jedinično testiranje, poput *NUnit*-a, *MSTest*-a, *XUnit*-a. Prilikom automatskog testiranja, veb aplikacija može da se otvori u pretraživaču kao što su *Chrome*, *Firefox, Internet Explorer, Opera, Edge* što pruža testeru fleksibilnost u odabiru pretraživača. *Selenium* omogućava kretanje po pretraživaču, odnsosno odlazak na željenu stranicu, vraćanje unapred i unazad, ponovno učitavanje stranice… Komponente stranice poput input polja, dugmeta, tabele, labele, se lako učitavaju pomoću metode *FindElelement(By by)*. Takođe, podržano je manipuliranje komponentama (klik, unos teksta, provera teksta...). *Selenium* alat ima i neke nedostatke: pisanje dobrih test skripti može oduzeti dosta vremena, pogotovo ukoliko neka od stranica ima mnogo komponenti i test slučajeva, nema ugrađenu mogućnost izveštavanja nakon testiranja, nema mogućnost automatizacije verifikacije slika.

LITERATURA

[1] Axelrod, A. (2018). Complete guide to test automation.

[2] Kanglin, L., Mengqi, W. (2004). Effective GUI Testing Automation: Developing an Automated GUI Testing Tool.

[3] Kaur, J. (2019, Januar 28). Articles. Posećeno Maj 27, 2021, DZone: https://dzone.com/articles/11-reasons-why-go-for-automation-testing-using-sel

[4] Myers, J., G., Sandler, C., Badgett, T. (2011). The Art of Software Testing, 3rd Edition.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

PRIMENA ZAŠTITNOG KODOVANJA I KODOVA ZA KONTROLU GREŠAKA U SISTEMU ZA VREDNOVANJE ZNANJA

AN IMPLEMENTATION OF ERROR CORRECTING CODES IN THE KNOWLEDGE EVALUATION SYSTEM

NIKOLA POPOVIĆ[1], GORAN BJELOBABA[1], HANA STEFANOVIĆ[2]

[1] Narodna banka Srbije, Beograd, {nikola.m.popovic,GoranBjelobaba}@nbs.rs
[2] Visoka škola strukovnih studija za IT, Beograd, hana.stefanovic@its.edu.rs

---

Rezime: *U radu je analizirana primena metode ciklične provere redundantnosti (CRC – Cyclic Redundancy Check), u cilju detekcije i eventualne korekcije grešaka pri prenosu podataka, kao i u cilju autentifikacije učesnika u komunikaciji u sistemu za vrednovanja znanja. Sistem za vrednovanje znanja u funkciji postizanja i praćenja kompetencija kandidata podrazumeva komunikaciju između većeg broja učesnika, za koju su potrebni i intergitet i neporecivost. U radu je izložen i simuliran jedan od načina za otkrivanje grešaka, zasnovan na uvođenju redundantnosti podataka u CrypTool softverskom alatu.*

Ključne reči: *zaštitno kodovanje, ciklična provera redindantnosti (CRC), sistem za vrednovanje znanja, CrypTool.*

Abstract: *This paper analyzes an application of the Cyclic Redundancy Check (*CRC*) method, in order to detect and correct some errors in data transmission, as well as to authenticate participants in communication in the knowledge evaluation system. The knowledge evaluation system in the function of achieving competences implies communication between a large number of participants, which requires both integrity and confidentiality. The simulation model with the Cyclic Redundancy Check, created in the CrypTool software tool, is also given.*

Keywords: *error correcting codes, Cyclic Redundancy Check (CRC), the knowledge evaluation system, CrypTool.*

1. UVOD

U sistemu za vrednovanje znanja (Popović *et al*. 2021), neophodno je primeniti zaštitno kodovanje i neka kriptografska rešenja, u cilju detekcije grešaka pri prenosu podataka (Ivaniš and Drajić 2018), kao i u cilju autentifikacije učesnika u komunikaciji.

Registrovani korisnik u sistemu za vrednovanje znanja ima mogućnost da svoje školovanje, uspeh na testovima koje je radio u akreditovanim ustanovama, istraživačkim centrima ili u okviru određenih projekata, kao i informacije o zaposlenju i objavljene naučne radove vodi kroz aplikaciju (Popović *et al*. 2021). Karton registrovanog korisnika osim imena, prezimena i GUID-a (*GUID – Globally Unique Identifier*) kao obaveznih polja, sadrži i nazive školskih i viskoškolskih ustanova koje je korisnik pohađao i postignuti uspeh, evidenciju o testovima koje je polagao u akreditovanim ustanovama, uključujući i podatak iz koje oblasti je test i sa kojim uspehom je položen, datum polaganja, evidenciju o kursevima i seminarima koje je pohađao, spisak objavljenih naučnih radova, kao i podatke o zaposlenju sa navedenim datumom zaposlenja i opisom radnog mesta, uz eventualne komentare poslodavca.

U opisanom sistemu postoje uloge: „Administrator podataka“ – koji je zadužen za ažuriranje podataka u kartonu svakog korisnika, „Nadležni organ“ – koji je ima pristup svim kartonima korisnika i ovlašćen je za generisanje ključa za pristup svakog od korisnika, „Administrator sadržaja“ – koji je zadužen za dodavanje i brisanje oblasti, podoblasti i zadataka u bazi zadataka, unos i manipulaciju podacima profesora i obrazovnih ustanova, „Profesor“ – koji je zadužen za unos novih zadataka i generisanje testova za polaganje u akreditovanim ustanovama, i „Administrator“ – koji ima mogućnost otklanjanja eventualnih problema u radu aplikacije (Popović *et al*. 2021).

U cilju zaštite ličnih podataka, privatnosti i digitalnog identiteta korisnika, u sistemu se primenjuju odgovarajuće mere zaštite u skladu sa međunarodnim standardima i domaćim zakonodavstvom, oslanjajući

se na Zakon o zaštiti podataka o ličnosti koji je usklađen sa Evropskom Opštom uredbom o zaštiti podataka o ličnosti (*GDPR – General Data Protection Regulation*), što je izloženo u Van Der Hof and Lievens (2018).

U predloženom sistemu takođe je neophodna detekcija i eventualna korekcije grešaka pri prenosu podataka, kao i autentifikacija učesnika u komunikaciji. Poruka, fajl ili drugi skup podataka smatra se autentifikovanim ako nije bilo izmena na prenosnom putu i ako se može utvrditi poreklo poruke (Lin and Castelo 2004).

Jedno od rešenja za otkrivanje grešaka u prenosu predstavlja uvođenje preopširnosti (redundantnosti) poslatih podataka, kao i primena različitih tipova zaštitnih kodova, kao što su blok kodovi i konvolucioni kodovi (Ivaniš and Drajić 2018). Prilikom primene blok kodova, na osnovu ulaznog bloka podataka dužine *k,* generiše se podatak sa preopširnošću (redundansom) ukupne dužine *n*. Svaki blok podataka dužine *k* obrađuje se nezavisno od prethodnih blokova podataka, dok kod sistematskih kodova, *k* informacionih bita ostaju nepromenjeni. Prilikom primene konvolucionih kodova (Proakis 2001) se za svaki ulazni blok podataka dužine *k* generiše izlazni podatak ukupne dužine *n*. Izlazni podatak zavisi i od *m* prethodnih *k*-torki informacionih bita (kodovi "sa memorijom"). Samim tim konvolucioni koder predstavlja konačni automat, čiji izlaz zavisi od trenutnog stanja.

U cilju detekcije greške neophodno je da zaštitni kod sadrži dovoljno informacija da se uoči da je do greške došlo, što u nekim situacijama nije dovoljno i da se greška ispravi (Björnemo 2009 and Moon 2005). Potrebno je omogućiti kontrolu greške zasnovanu na povratnoj sprezi, kao i da se u slučaju da podatak nije korektno primljen, traži ponovno slanje. Kodovi koji omogućavaju detekciju greške uglavnom spadaju u grupu blok kodova. Zaštitni kod sadrži dovoljno informacija da se određen broj grešaka ispravi, a za ispravljanje greške mogu se koristiti i blok i konvolucioni kodovi. Primena hibridne metode podrazumeva da će izvestan broj grešaka biti korigovan, dok će se u ostim slučajevima tražiti ponovno slanje.

U ovom radu predložena je upotreba *CRC* kodovanja (*CRC – Cyclic Redundancy Check*), kao i odgovarajući simulacioni model, realizovan u CrypTool (https://www.cryptool.org/en/ct2/) softverskom alatu.

2. ARHITEKTURA SISTEMA ZA VREDNOVANJE ZNANJA

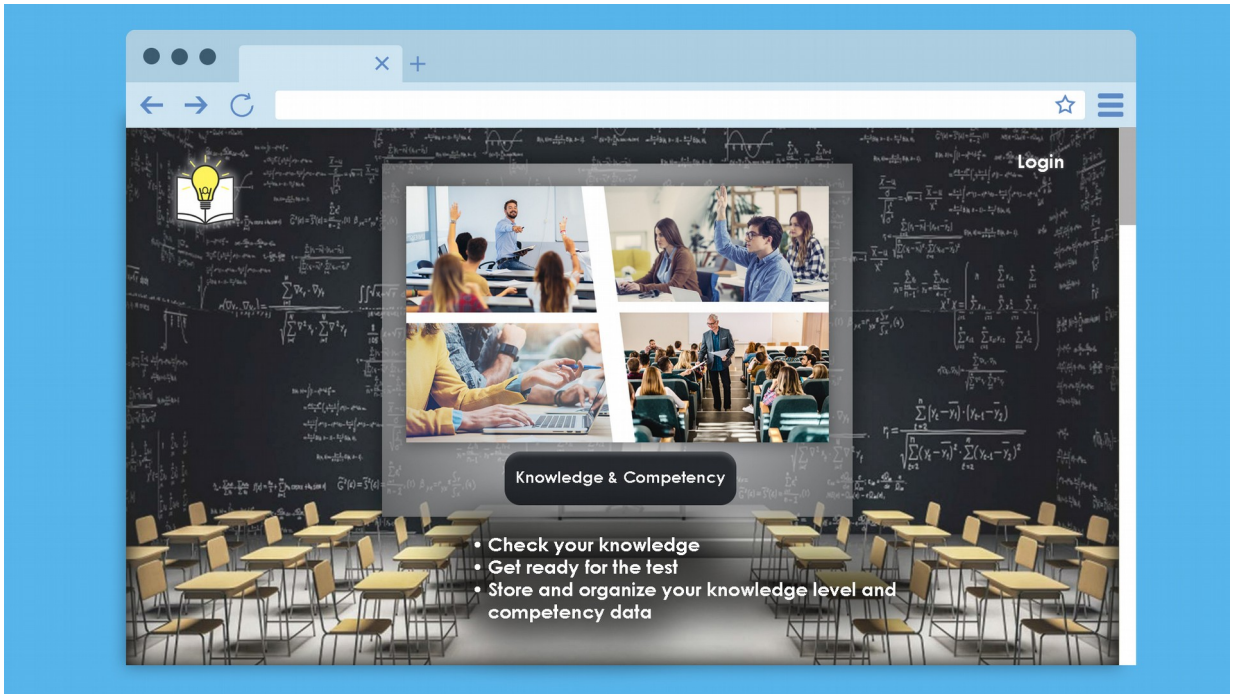
Sistem za vrednovanje znanja nudi registrovanom korisniku mogućnost da vodi kroz aplikaciju tok svog školovanja i stručnog usavršavanja, uspeh na testovima koje je radio u akreditovanim ustanovama, istraživačkim centrima ili u okviru određenih projekata, kao i informacije o zaposlenju i evidenciju o objavljenim naučnim radovima (Popović *et al*. 2021). Karton registrovanog korisnika osim imena, prezimena i GUID-a, kao obaveznih polja, sadrži i nazive školskih i viskoškolskih ustanova koje je korisnik pohađao, kao i postignuti uspeh, zatim evidenciju o testovima koje je polagao u akreditovanim ustanovama, uključujući i podatak iz koje oblasti je test i sa kojim uspehom je položen, zatim evidenciju o kursevima i seminarima koje je pohađao, spisak objavljenih naučnih radova, kao i podatke o zaposlenju sa navedenim datumom zaposlenja i opisom radnog mesta, uz eventualne komentare poslodavca.

Na Sl.1 prikazana je početna stranica aplikacije, sa mogućnostima logovanja za različite uloge: „Administrator podataka", zadužen za ažuriranje podataka u kartonu svakog korisnika, „Nadležni organ", koji ima pristup svim kartonima korisnika i ovlašćen je za generisanje ključa za pristup svakog od korisnika, „Administrator sadržaja", zadužen za dodavanje i brisanje oblasti, podoblasti i zadataka u bazi zadataka, unos i manipulaciju podacima profesora i obrazovnih ustanova, „Profesor", zadužen za unos novih zadataka i generisanje testova za polaganje u akreditovanim ustanovama, „Administrator", koji ima mogućnost otklanjanja eventualnih problema u radu aplikacije, kao i ulogu „Korisnik".

Prava registrovanih korisnika podrazumevaju da svaki „Registrovani korisnik" ima pravo da vidi svoj karton i da generiše ključ koji dozvoljava pristup njegovom kartonu, dok „Administrator podataka" ima prava ažuriranja podataka u kartonu svakog korisnika. Takođe je previđeno da „Nadležni organ" ima prava pristupa svim kartonima korisnika i može da generiše ključ za pristup za svakog korisnika. „Administrator sadržaja" ima mogućnost dodavanja, izmene i/ili brisanja oblasti i/ili podoblasti iz baze zadataka. „Profesor" ima pravo unosa novih zadataka, kao i prava generisanja testova za kandidate prema određenim zahtevima. Idejno rešenje predviđa oko 2000 zadataka po oblasti, ali ne na način da jedan „Profesor" ima svoje zadatke, nego da se testovi generišu slučajnim izborom iz te oblasti. Zadatke za jednu oblast unosi više profesora iz te oblasti, pri čemu svaki profesor koji unese zadatak treba da ima odgovarajući kredibilitet da to uradi. Naš predlog bi bio da kada se neko registruje za ulogu „Profesor" ne može da dobije aktivan nalog dok „Administrator" to ne odobri.

Početak rada na aplikaciji predstavlja detaljno obrađivanje i opisivanje zahteva pomoću Larmanove metode. Metoda je realizovana kroz sledeće faze: specifikacija korisničkih zahteva, analiza zahteva, faza projektovanja, faza implementacije i faza testiranja. Prvi tri faze opisane su i razrađene u radu Popović *et al*.

(2021), dok faza implementacije predstavlja puštanje projekta u rad, nakon čega je planirana faza testiranja da bi se izvršila verifikacija i validacija softvera u cilju poboljšanja kvaliteta aplikacije. U narednim koracima planirano je testiranje svake softverske komponente kao posebne jedinice, a nakon toga integracija svih jedinica u cilju dobijanja potpuno funkcionalnog softvera kao krajnjeg proizvoda.



Slika 1: Početna strana aplikacije za podršku rada sistema za vrednovanje znanja

3. PRIMENA ALGORITAMA ZA OTKRIVANJE GREŠAKA

Primeri jednostavnijih metoda za otkrivanje grešaka su kontrola parnosti, kao i kontrola parnosti u dve dimenzije (Ivaniš and Drajić 2018). Kontrola parnosti ili horizontalna provera redundantnosti (*LRC – Longitudinal Redundancy Checking*) podrazumeva da se uz datu n-bitnu reč dodaje se još jedan bit tako da ukupan broj binarnih jedinica u rezultujućoj reči dužine n+1 bude paran (neparan), dok kontrola parnosti u dve dimenzije predstavlja vertikalnu proveru redundantnosti (*VRC – Vertical Redundancy Checking*).

Metoda kontrole zbira bloka (*Checksum*) primenjuje algoritam u kojem se vrše sledeći koraci:

- formira se zbir svih jedinica u bloku i prenosi se zajedno sa porukom
- obično se vrši skraćivanje dobijenog zbira, npr. na dužinu od 32 bita
- primalac ponovo izračunava sumu zbira i poredi je sa primljenom vrednošću.

Neki od nedostataka ove metode su nemogućnost otkrivanja invertovanih podataka, nemogućnost otkrivanja zamene blokova bajtova, kao i nemogućnost otkrivanja dodatih i/ili uklonjenih bajtova sa svim nulama.

Metoda ciklične provere redundantnosti (*CRC – Cyclic Redundancy Checking*) koristi se za otkrivanje proširenih grešaka – burst. (Moon 2005). Ova metoda može da otkrije bilo koji neparan broj grešaka, sve 2-bitne greške, kao i proširene greške čija je dužina manja od broja redundantnih bita. Takođe, može se implementirati hardverski, a zasnovana je na aritmetici u polju celih brojeva po modulu 2, kao i deljenju polinoma, pri čemu se i ovo deljenje izvodi u aritmetici po modulu 2. Prilikom primene *CRC* metode, niz bitova se posmatra kao niz koeficijenata polinoma. Tako niz bitova: $a_n a_{n-1} \ldots a_1 a_0$ odgovara polinomu: $M(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \ldots + a_1 x + a_0$.

Prilikom vršenja postupka kodiranja, vrši se:

- izbor polinom generatora $G(x)$
- izračunava se $x^k M(x)/G(x)$ gde je k stepen polinoma $G(x)$, pri čemu se dobijeni ostatak označava sa $R(x)$
- dodavanje koeficijenata ostatka na kraj poruke i prosleđivanje primaocu.

Prilikom vršenja postupka dekodiranja, vrši se:

- deljenje primljene polinomijalne kodne reči sa $G(x)$
- ako je dobijeni ostatak deljenja jednak nuli, zaključak je da nema grešaka pri prenosu
- ako dobijeni ostatak deljenja nije jednak nuli, zaključak je da greške pri prenosu postoje.

Primena CRC kodova uključena je u niz preporuka i standarda za digitalni prenos i digitalni zapis podataka (Zhang 2011). U okviru *HDLC* (*High Level Data Link Control*) grupe komunikacionih protokola, ram koji se prenosi sadrži početni fleg od 8 bita, adresno polje od 8 bita (koje se može proširivati u inkrementima od 8 bita), kontrolno polje (koje se može proširivati u inkrementima od 8 bita), informaciono polje proizvoljne dužine, polje za rezultat provere na parnost (*frame check field*) od 16 bita, ili opciono 32 bita i završni fleg od 8 bita. Za proveru parnosti koristi se skraćeni ciklični kod čiji je generišući polinom šesnarstog stepena: $G(x) = x^{16}+x^{12}+x^5+x$. Ovaj kod se obično obeležava se *CRC-CCITT*, a pored ovog polinoma postoji i niz polinoma stepena 4, 7, 8, 12, 16, 24 i 32 (Ivaniš and Drajić 2018). S obzirom da je dužina kodne reči, odnosno rama, promenljiva, vrši se skraćivanje cikličnog koda, time što se smatra da su nedostajući biti najveće važnosti jednaki nuli, pa se oni i ne šalju, pošto ne utiču na ostatak pri deljenju, jer imaju vrednost nula. Ostatak pri deljenju na strani predaje može da se formira kako ulazni biti stižu u koder, odnosno u realnom vremenu, a da se pri tome ulazni biti odmah prosleđuju dalje na liniju. Kada se završi postupak deljenja, ostatak iz registra iščitava se u odgovarajuća polja rama. Na strani prijema, vrši se obrnut proces, takođe u realnom vremenu. Kako biti rama pristižu, u dekoderu se vrši deljenje, a na osnovu stanja registra se konstatuje da li se desila greška, dok se ulazni biti čuvaju u posebnom registru.

U slučaju konkretnog izbora polinom generatora, npr. $G(x) = x^4+x^3+1$, i pripreme za slanje ulazne poruke sadržaja npr. 11100110, potrebno je odrediti stepen polinom generatora i zapisati njegov binarni ekvivalent, pri čemu je n = st $G(x)$ = 4, dok je binarni ekvivalent određen sa: $G(x) = 1\cdot x^4+1\cdot x^3+0\cdot x^2+0\cdot x^1+1$ = 11001. Nakon toga, sprovode se sledeći koraci:

- dopisivanje n = 4 nula na ulaznu poruku: 11100110**0000**
- vršenje deljenja
- zapisivanje ostatka u formi niza dužine n = 4, odnosno: **0110**
- priprema poruke za slanje: 11100110**0110,**

kao što je prikazano na Sl.2.

```
111001100000 : 11001
11001
------------
1011100000
11001
----------
111000000
11001
---------
1010000
11001
-------
110100
11001
------
110
```

Slika 2: Postupak deljenja, zapisivanja ostatka i priprema poruke za slanje

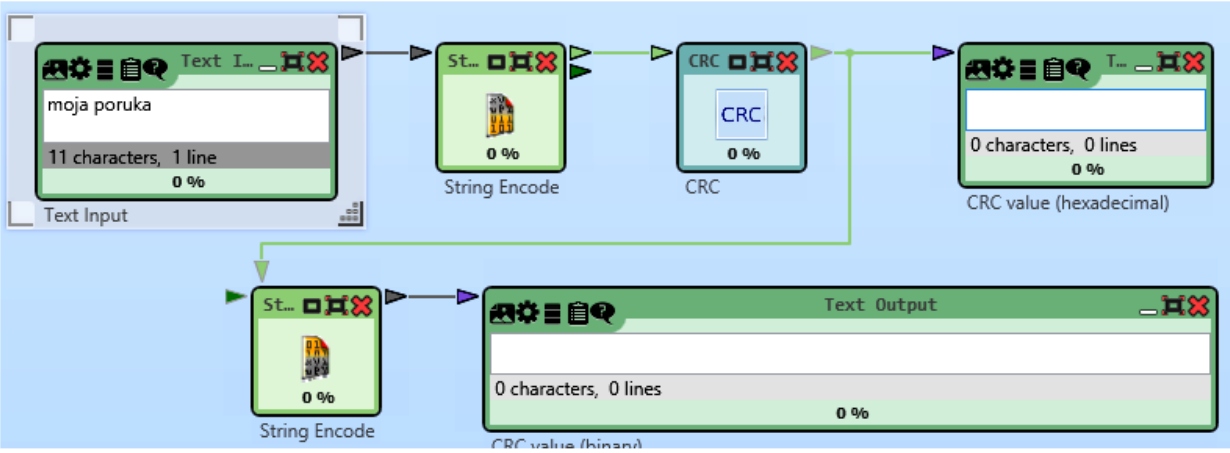
Za dati polinom generator, na ulaznu poruku dodaje se ostatak u formi niza od 4 člana, odnosno 0110, kao što je ilustovano postupkom prikazanim na Sl.1.

Izbor polinoma *CRC* je kao predmet istraživanja analiziran u Castagnoli *et al.* (1990), dok se u radu Bertsekas and Galager (1992) ističe da je uobičajena praksa da se za generišući polinom izabere proizvod jednog nesvodljivog polinoma, odnosno polinoma koji se u datom polju više ne može faktorizovati, i polinoma x+1, koji osigurava detekciju svih vektora greške sa neparnim brojem grešaka.

S obzirom da se *CRC* postupak uglavnom koristi pri prenosu fajlova kanalima u kojima se često javljaju paketske greške, pretpostavka o statističkoj nezavisnosti grešaka nije opravdana. Često se vrše modifikacije *CRC* postupka, da bi se izbegle zamene *CRC* polja nekim drugim poljima (npr. flegom). Ove modifikacije se uglavnom svode na komplementiranje nekih ili svih bita *CRC*-a (Ivaniš and Drajić 2018), ali svakako ne utiču na performanse ovog postupka.

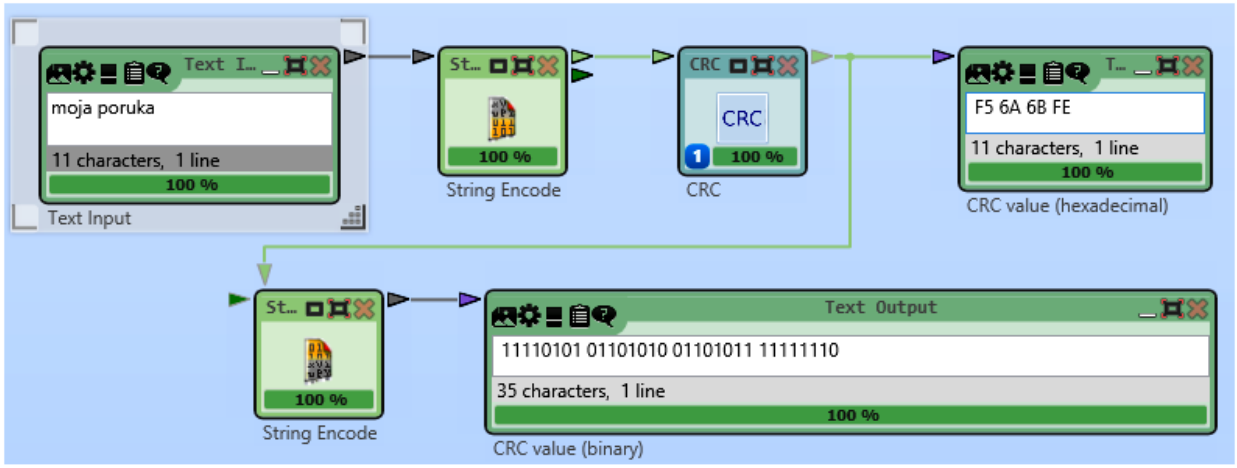
4. SIMULACIONI MODEL KOJI KORISTI METODU CIKLIČNE PROVERE REDUNDANTNOSTI

Na Sl.3. prikazan je simulacioni model u kojem se ulazna poruka koduje primenom *CRC*-32 algoritma, a sadržaj ulazne poruke ("moja poruka") prikazan je u gornjem levom prozoru. Simulacioni model kreiran je u CrypTool softverskom alatu, a koristio bi se kao mera zaštite prilikom razmene poruka između korisnika opisane aplikacije koja podržava rad sistema za vrednovanje znanja. Za ulogu „Nadležni organ" predviđen je i digitalni potpis.

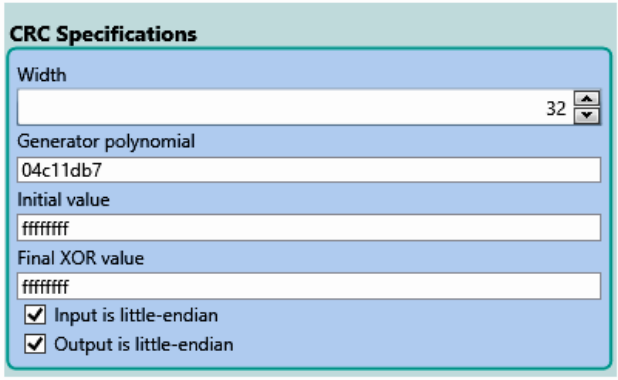


Slika 3: Kreiranje simulacionionog modela i unos ulaznih podatka

Izračunata *CRC* vrednost (u heksadecimalnom i binarnom obliku) prikazana je na Sl.4, dok su podešavanja u okviru *CRC* bloka prikazana na Sl.5.



Slika 4: Prikaz izračunate *CRC* vrednosti u heksadecimalnom i binarnom obliku



Slika 5: Prikaz podešavanja u okviru *CRC* bloka

Postoji više mogućnosti za izbor *CRC* tehnike kodovanja, kao što je prikazano na Slici 4.

S obzirom da se podatak dužine k deli polinomom dužine m+1, ostatak pri deljenju ima dužinu m, što zajedno sa informacionim bitima formira kodnu reč dužine $n = m+k$. U praksi se često korsite karakteristični polinomi dužine: 9 bita (*CRC*-8), 17 bita (*CRC*-16), 33 bita (*CRC*-32) i 65 bita (*CRC*-64). Ciklični kod se takođe može zadati i specificiranjem korena polinom generatora, a sam polinom generator određuje se tako što se za sve korene (ili skupove korena) nađu nesvodljivi polinomi čiji su to koreni.

5. ZAKLJUČAK

U cilju povećanja efikasnosti i sigurnosti komunikacije u sistemu za vrednovanje znanja, primenjeno je zaštitno kodovanje, zasnovano na metodi ciklične provere redundantnosti, a priloženi su i odgovarajući simulacioni modeli. Dalja optimizacija odnosila bi se na ispravljanje informacija za koje je detektovana greška, i to bez ponovnog slanja, s obzirom da kod sistema u realnom vremenu to često nije ni moguće.

LITERATURA

[1] Bertsekas, D. & Galager, R. (1992). Data Networks. (2nd ed.). Prentice-Hall, Inc., US.

[2] Björnemo, E. (2009). Error correcting codes in static channels. In Energy Constrained Wireless Sensor Networks, Uppsala.

[3] Castagnoli, G., Ganz J. & Graber, P. (1990). Optimum cycle redundancy-check codes with 16-bit redundancy. In IEEE Transactions on Communications, 38(1), 111-114.

[4] https://www.cryptool.org/en/ct2/

[5] Ivaniš P., & Drajić, D. (2018). Uvod u teoriju informacija i kodovanje. Akademska misao, Beograd.

[6] Lin, S., & Costello, D.J. (2004). Error Control Coding. (2nd ed.). Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Prentice Hall.

[7] Moon, T.K. (2005). Error Correction Coding Mathematical Methods and Algorithms. Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons.

[8] Popović, N., Bjelobaba, G., Stefanović, H., Savić, A, & Stefanović, N. (2021). The Knowledge Evaluation System in Function of Achieving Competences, In Book of Abstracts of E-business Technologies Conference-EBT 2021, Belgrade, Serbia, 135-136. (accepted for publication)

[9] Proakis, J.G. (2001). Digital Communications. (4th ed.). New York:McGraw-Hill.

[10] Van Der Hof, S. & Lievens, E. (2018). The Importance of Privacy by Design and Data Protection Impact Assessments in Strengthening Protection of Children's Personal Data Under the GDPR. Communications Law, 23(1).

[11] Zhang, Z. (2011). Theory and Applications of Network Error Correction Coding. In Proceedings of the IEEE, 99(3), 406-420.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

NAJBOLJE PRAKSE U PISANJU UNIT TESTOVA ZA .NET OKVIRU

UNIT TESTING BEST PRACTICES WITH .NET FRAMEWORK

NEMANJA RADULOVIĆ[1], SAŠA D. LAZAREVIĆ[1], TATJANA STOJANOVIĆ [1]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, nr20203725@student.fon.bg.ac.rs, {sasa.lazarevic, tatjana.stojanovic}@fon.bg.ac.rs

---

Rezime: *Brojne su prednosti pisanja unit testova, pomažu pri regresiji, pružaju dokumentaciju i omogućavaju dobar dizajn. Međutim, teški za čitanje i lako lomljivim testovi mogu da izazovu katastrofalne posledice u kodu. U ovom radu će biti opisane najbolje prakse u vezi dizajniranja unit testova za .Net aplikacije.*

Ključne reči: *testiranje, unit test, fake, mock, stub*

Abstract: *There are numerous benefits to writing unit tests, helping with regression, providing documentation, and enabling good design. However, difficult to read and easily breakable tests can cause a disaster in the code. This paper will describe best practices regarding designing unit tests for .Net applications.*

Keywords: *testing, unit, tests, fake, mock, stub*

1. UVOD I ANALIZA

Funkcionalni *testovi* su skupi, oni obično uključuju pokretanje aplikacije i izvođenje niza koraka koje se mora slediti kako bi se potvrdilo očekivano ponašanje. Ovi koraci možda neće biti poznati ispitivaču, što znači da će morati da se obrati nekom ko je upućen u područje koje se testira. Samo *testiranje* može trajati nekoliko sekundi za trivijalne promene ili nekoliko minuta za veće promene. Na kraju ovaj postupak se mora ponoviti za svaku promenu koja se napravi u sistemu. Sa druge strane, *unit testovi* traju u milisekundama, mogu se pokrenuti pritiskom na dugme i ne zahtevaju znanje o sistemu uopšte.

Regresijski nedostaci su nedostaci koji se uvode prilikom promene aplikacije. Uobičajeno je da testeri ne samo testiraju novu funkciju, već i funkcije koje su postojale pre toga kako bi verifikovali da prethodno primenjene funkcije još uvek funkcionišu kako se očekuje. Sa *unit testovi*ma moguće je ponoviti čitav niz testova nakon svake izrade ili čak i nakon promene reda koda. Dajući poverenje da nov kod ne narušava postojeću funkcionalnost.

Možda nije uvek očigledno šta određena metoda radi ili kako se ponaša sa ulaznim parametrima. Može se upitati: Kako se ponaša metoda ako mu se unese prazan niz ili nula? Kada imate paket dobro imenovanih jediničnih testova svaki test treba da bude u stanju da jasno objasni očekivani izlaz za dati ulaz. Pored toga, trebalo bi da može da verifikuje da li funkcioniše metoda.

Unit test potrebno je da bude brz. Nisu retki slučajevi da zreli projekti imaju hiljade testova. *Unit testovi* bi trebalo proći za vrlo kratko vreme, milisekunde. Ovi *testovi* su samostalni i mogu se izvršavati izolovano i ne zavisno od bilo kog spoljnjeg faktora kao što su sistemske datoteke ili baze podataka. Pokretanje testa trebalo bi da bude u skladu sa njegovim rezultatom, tj. uvek vraća isti rezultat ako između izvršavanja ne promeni ništa. Test bi trebalo biti u mogućnosti da automatski otkrije da li je prošao ili nije bez ljudske interakcije. Ne bi trebalo da traju nesrazmerno dugo vremena pisanje u poređenju sa kodom koji se testira. Ako je za *testiranje* koda potrebno mnogo vremena u poređenju sa pisanjem koda treba razmisliti o dizajnu koji se više može testirati.

Visok procenat pokrivenosti koda često je povezan sa viškom kvalitetom koda. Samo merenje ne može da odredi kvalitet koda. Postavljanje preambicioznog cilja procenta pokrivenosti koda može biti kontraproduktivno. Složeni projekat sa hiljadama uslovnih grana i ako ima očekivanu pokrivenost koda 95%. Ako je trenutno pokrivenost koda 90%, količina vremena koja je potrebna

da bi se uzeo u obzir svi slučajevi u preostalih 5% mogu prestavljati ogroman poduhvat, a predlog vrednosti pokrivenosti se brzo menja. Visoka pokrivenost koda nije pokazatelj kvaliteta koda. To samo predstavlja količinu koda koja je pokrivena sa *unit testovima*. (Reese n.d.) (Pine & Warren)

2. PRIMERI DOBRIH PRAKSI

U daljem radu biće predstvaljene neki primeri dobrih praksi u pisanju *unit testova*, kako bi oni bili fleksibilniji i jednostavni za razumevanje.

Na žalost termin mock se često zloupotrebljava kada se govori o testiranju. Sledeće tačke definišu najčešći tipovi lažiranja prilikom pisanja testova:

- *Fake* – je generički pojam koji se može koristiti za opisivanje *stub* ili *mock* objekata. Da li se radi o stub ili mock zavisi od konteksta u kojem se koristi. Drugim rečima *fake* može biti stub ili mock.
- *Mock* – je lažan objekat koji odlučuje da li je test prošao ili ne. *Mock* počinje kao *fake* dok se ne ustanovi suprotno.
- *Stub* – je kontrolisana zavisnost za postojeću u sistemu. Korišćenjem *stub*-a može se testirati kod bez direktnog bavljenja zavisnošću. Uobičajeno, *stub* počinje kao *fake*.

Na sledećem primeru:

```
var mockOrder = new MockOrder();
var purchase = new Purchase(mockOrder);
purchase.ValidateOrders();
Assert.True(purchase.CanBeShipped);
```

Ovo bi bio primer stub-a koji se ponaša kao mock. Samo predaja Order kao sredstvo može da pokrene kupovinu(sistem koji se testira). Naziv MockOrder je pogrešan jer Order nije lažna. Bolji pristup je sledeći:

```
var stubOrder = new FakeOrder();
var purchase = new Purchase(stubOrder);
purchase.ValidateOrders();
Assert.True(purchase.CanBeShipped);
```

Preimenovanje klase u *FakeOrder*, učinilo se da klasa bude mnogo opštija, klasa se može koristiti kao stub ili kao mock. Šta god je bolje za test slučaj. U gornjem primeru, *FakeOrder* koristi kao stub. *FakeOrder* se ne koristi u bilo kom obliku ili tokom potvrđivanja. *FakeOrder* je prenet u klasu Purchase kako bi zadovoljio konstruktor. Da bi se koristio kao mock, moglo bi se učiniti na sledeći način:

```
var mockOrder = new FakeOrder();
var purchase = new Purchase(mockOrder);
purchase.ValidateOrders();
Assert.True(mockOrder.Validated);
```

U ovom slučaju proverava se svojstvo na *Fake*-u (proverava se vrednost preko njega), tako da je *mockOrder mock*. Glavna stvar koja treba da se ima na umu u vezi stub protiv *mock* je da su *mock* nalik na stub, kako bi se nešto utvrdilo ide se preko *mock*-a, a ne preko *stub*-a.

Nazivi bi trebalo da se sastoje iz tri dela:

1. Naziv metode koja se ispituje.
2. Scenario pod kojim se testira.
3. Očekivano ponašanje prilikom poziva scenarija.

Standardi imenovanja su važni jer izričito izražavaju nameru testa. *Testovi* su više od pukog osiguranja da vaš kod funkcioniše, oni pružaju dokumentaciju. Samo uvid u testove, može se zaključiti o ponašanju koda, a da se kod ne gleda. Pored toga kada *testovi* ne prođu, može se tačno videti scenariji koji ne ispunjava očekivanja.

Loš primer:

```
[Fact]
public void Test_Single()
{
    var stringCalculator = new StringCalculator();

    var actual = stringCalculator.Add("0");

    Assert.Equal(0, actual);
```

```
}
```

Dobar primer:

```
[Fact]
public void Add_SingleNumber_ReturnsSameNumber()
{
    var stringCalculator = new StringCalculator();

    var actual = stringCalculator.Add("0");

    Assert.Equal(0, actual);
}
```

Arrange, Act, Assert je uobičajen obrazac prilikom *unit* testiranja. Kao što je navedeno nameštanje testova se sastoji iz tri glavne akcije:

1. Arrange – rasporediti objekte, kreiranjem i postavljanje vrednosti po potrebi.
2. Act – delovanje na objekat.
3. Assert – tvrdnja da je nešto onako kako se očekivalo.

Potrebno je jasno odvajiti ono što se testira od koraka nameštanja i polaganja. Manje šanse za mešanje tvrdnji sa Act kodom. Čitljivost je jedan od najvažnijih aspekata prilikom pisanja testova. Odvajanjem svake od ovih radnji u testu jasno se ističu zavisnosti potrebne za pozivanjem koda, kako se zove kod i šta pokušava da potvrdi. Iako je moguće kombinovati neke korake i smanjivati veličinu testa primarni cilj je učiniti test što čitljivijim.

Loš primer:

```
[Fact]
public void Add_EmptyString_ReturnsZero()
{
    // Arrange
    var stringCalculator = new StringCalculator();
    // Assert
    Assert.Equal(0, stringCalculator.Add(""));
}
```

Dobar primer:

```
[Fact]
public void Add_EmptyString_ReturnsZero()
{
    // Arrange
    var stringCalculator = new StringCalculator();
    // Act
    var actual = stringCalculator.Add("");
    // Assert
    Assert.Equal(0, actual);
}
```

Ulaz koji će se koristiti u *unit* testu treba da bude najjednostavniji mogući kako bi se verifikovalo ponašanje koje trenutno se testira, na taj način ispitivanja postaju otpornija na buduće promene u kodu. *Testovi* koji uključuju više informacija nego što je potrebno za polaganje testa imaju veću šansu da u njemu unese greške i mogu učiniti njegovu nameru manje jasnom. Kada se pišu *testovi*, želi se da se usredsredi na ponašanje. Postavljanjem dodatnih svojstva na modelima ili korišćenjem ne nula vrednosti kada je potrebno, samo se umanjuje ono što se pokušava da se dokaže.

Loš primer:

```
[Fact]
public void Add_SingleNumber_ReturnsSameNumber()
{
    var stringCalculator = new StringCalculator();

    var actual = stringCalculator.Add("42");

    Assert.Equal(42, actual);
}
```

Dobar primer:

```
[Fact]
public void Add_SingleNumber_ReturnsSameNumber()
{
    var stringCalculator = new StringCalculator();

    var actual = stringCalculator.Add("0");

    Assert.Equal(0, actual);
}
```

Kada se pišu *unit testovi*, treba izbegavati ručno spajanje nizova ili logičkih uslova kao što su if, while, for, switch itd. Manje su šanse da se unese greška u testove, fokus je na krajnji rezultat a ne na detalje o primeni. Kada u se u test unese logika, šansa za unošenje greške se dramatično povećava. Poslednje mesto gde se želi pronaći greška je u *testovima*. Trebalo bi se imati visok nivo poverenja da *testovi* rade, u suprotnom im se ne može verovati. *Testovi* kojima se ne veruje, ne daju nikakvu vrednost. Kada test ne uspe, potrebno je da se ima osećaj da nešto nije uredu sa kodom i da se to ne može zanemariti.

Loš primer:

```
[Fact]
public void Add_MultipleNumbers_ReturnsCorrectResults()
{
    var stringCalculator = new StringCalculator();
    var expected = 0;
    var testCases = new[]
    {
        "0,0,0",
        "0,1,2",
        "1,2,3"
    };

    foreach (var test in testCases)
    {
        Assert.Equal(expected, stringCalculator.Add(test));
        expected += 3;
    }
}
```

Dobar primer:

```
[Theory]
[InlineData("0,0,0", 0)]
[InlineData("0,1,2", 3)]
[InlineData("1,2,3", 6)]
public  void  Add_MultipleNumbers_ReturnsSumOfNumbers(string  input,
int expected)
{
    var stringCalculator = new StringCalculator();

    var actual = stringCalculator.Add(input);

    Assert.Equal(expected, actual);
}
```

Kada se pišu *testovi*, poželjno je imati samo jednu tvrdnju po testu. Uobičajeni pristupi korišćenju samo jedne tvrdnje uključuje:

- Napraviti zasebni test za svaku tvrdnju
- Koristiti parametrizovane testove

Ako jedna tvrdnja ne uspe, naredne tvrdnje neće biti ocenjivane. uvođenja višestrukih tvrdnji u test slučaj, nije zagarantovano da će se sve tvrdnje izvršiti. U većini okvira za *testiranje*, kada tvrdnja zakaže u testu, sledeći test se automatski smatra neuspešnim. Ovo može zbuniti jer će se funkcionalnost koja stvarno radi prikazati kao neuspešna.

U većini slučajeva ne bi trebalo da postoji potreba za *testiranjem* privatne metode, one su detalj u implementaciji i nikada ne postoje izolovano. U jednom trenutku metoda okrenuta javnosti koja poziva privatnu metodu kao deo njene primene, rezultat te metode je ono o čemu bi trebalo da se vodi računa.

```
public string ParseLogLine(string input)
{
    var sanitizedInput = TrimInput(input);
    return sanitizedInput;
}
private string TrimInput(string input)
{
    return input.Trim();
}
```

Prva reakcija može biti započeti pisanjem testa za TrimInput, jer se želi proveriti sigurnost metode. Međutim, potpuno je moguće da ParseLogLine manipuliše sa sanitizedInput na neočekivan način, čineći test protiv TrimInput beskorisnim. Potrebno je napisati test za metodu koja se suočava sa javnošću ParseLogLine, jer izlaz iz teme metode je bitan.

```
public void ParseLogLine_StartsAndEndsWithSpace_ReturnsTrimmedResult()
{
var parser = new Parser();

var result = parser.ParseLogLine(" a ");

Assert.Equals("a", result);
}
```

Ako se pronađe privatna metoda, potrebno je pronaći odgovarajuću javnu metodu i napisati testove u odnosnu na tu metodu. Samo zato što privatna metoda vraća očekivan rezultat, ne znači da sistem koji na kraju pozove privatnu metodu pravilno koristi rezultat. (Smith & Victor) (Adewole) (Osherove) (Jones, 2019)

3. ZAKLJUČAK

Unit testovi su osnovni alat za svakog programera, a cilj *unit testiranja* je da se izoluje svaki deo programa i pokaže da su pojedinačni delovi tačni. *Unit test* pruža pismeni ugovor koji deo koda mora da zadovolji, pored toga pruža još nekoliko prednosti. Napisani kod će postati jednostavniji i biće potrebno manje vremena za otklanjanje grešaka. Pored toga moguće promene i prepravke koda imaće ugrađenu zaštitu u obliku *unit testova* da postojeće funkcionalnosti aplikacije i dalje rade ispravno. U ovom radu su predstavljenje najbolje prakse kako bi se prednosti *unit testiranja* ostvarile i time povećale kvalitet aplikacije.

LITERATURA

[1] Adewole, A. (n.d.). C# and .NET Core Test-Driven Development: Dive into TDD to create flexible, maintainable, and production-ready .NET Core applications.

[2] Jones, M. (2019, 07 08). Unit test basics.

[3] Osherove, R. (2013, November). *The Art of Unit Testing: With Examples in C#, Second Edition.* Manning.

[4] Pine, D., & Warren, G. (n.d.). Testing in .NET.

[5] Reese, J. (n.d.). Unit testing best practices with .NET Core and .NET Standard.

[6] Smith, S., & Victor, Y. (n.d.). Unit testing C# in .NET Core using dotnet test and xUnit.

XLVIII Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23. September 2021.
MATΦ University of Belgrade Faculty of Mathematics
Mathematical Institute SANU

COMBINATORIAL OPTIMIZATION FOR SELF CONTAINED BLOCKCHAIN: AN EXAMPLE OF USEFUL SYNERGY

DUŠAN RAMLJAK[1], TATJANA DAVIDOVIĆ, DRAGAN UROŠEVIĆ, TATJANA JAKŠIĆ KRÜGER, LUKA MATIJEVIĆ, MILAN TODOROVIĆ, ĐORĐE JOVANOVIĆ[2]

[1] School of Graduate Professional Studies Penn State University Malvern, PA, 19355
dzr5484@psu.edu

[2] Mathematical Institute, Kneza Mihaila 36, Belgrade, Serbia
{tanjad,draganu,tatjana,luka,mtodorovic}@mi.sanu.ac.rs, giorgaki.jovanovic@gmail.com

Abstract: *With the increasing number of applications and systems that use Blockchain it is important to deal with its downsides. We are considering combinatorial optimization ideas to motivate and address two main issues in maintaining Blockhain. The first issue refers to economic usage of resources, and we propose a new consensus protocol exploring the Proof-of-Useful-Work concept. Deanonymization problem is considered as a second issue. It reduces to community detection in directed graphs which we propose to be consensus protocol's useful work. In order to implement the proposed ideas we provide a short targeted literature review and identify the steps that need to be performed within the implementation.*

Keywords: *Distributed databases, consensus protocols, deanonymization, metaheuristics, community detection*

1. INTRODUCTION

BlockChain (BC) is a specially designed distributed data storage structure, maintained without any third party of absolute trust by the so-called consensus protocol. The first BC implementation was related to the financial domain - performing transactions with Bitcoin cryptocurrency. Nowadays, it can be applied to different domains (digital identity, voting, notary, smart contracts, IoT, insurance, healthcare, etc.) [4, 31]. BC could be regarded as a public ledger where all data (referred to as "committed transactions") are stored in a list of blocks (Fig. 1). In literature and practice structures other than list appear, and the corresponding data storages are referred to by a common name *distributed ledger technology*, DLT [11, 26, 27]. Here, we always consider BC as a list of blocks. Access to BC is realized by exchanging messages between participants (clients, customers, entities, nodes). New data (organized in blocks) are allowed to be added by participants (the so-called miners) simultaneously. The main issues in maintaining BC are security, privacy, consistency, and reducing the consumption of electrical energy. Our goal is to contribute towards efficient resolution of some of these problems by applying combinatorial optimization methodology.

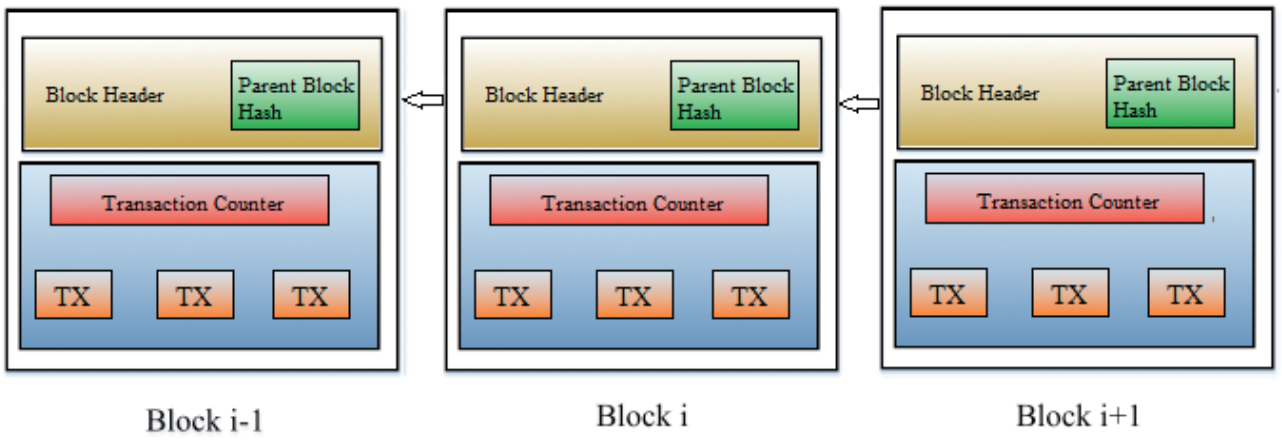


Figure 1 Structure of the BlockChain network.

We focus on the BC consensus protocols and the ledgers with the aims to reduce the power consumption and improve security of this distributed database by applying optimization techniques. Especially, the first aim is to

influence the more economic usage of resources by developing a new consensus protocol based on combinatorial optimization problems. Namely, Proof-of-Useful-Work (PoUW) [2, 7] is already established alternative to just solving the classical cryptographic puzzle (known as Proof-of-Work, PoW). It assumes dealing with some real-life optimization problems and enables miners to be doubly rewarded: for creating blocks and solving submitted problems. We intend to address a real-life optimization problem that hasn't yet been introduced in BC community as a consensus protocol. The second contribution aims to improve security in BC by examining the anonymity level of the participants, having in mind that the corresponding transactions are usually publicly available. The main tool for deanonymization is classification/clustering of transactions according to various criteria [3]. BC can be modelled by a directed graph, therefore in this work, we propose to treat deanonymization as a community detection problem. Having this optimization problem as a PoUW might lead to self contained BC, i.e., the security management in BC is at the same time useful work part of a consensus protocol.

The outline of the paper is as follows: We start with a short review of some relevant concepts of BC (consensus protocol, Proof-of-Useful-Work, deanonymization), as well as the well-known combinatorial optimization problems (clustering and community detection) in section 2. Section 3, then introduces the fundamental drivers for combining the proof of useful work with deanonymization. It then discusses the issues that need to be resolved before the successful implementation. Finally, section 4 concludes the paper.

2. BACKGROUND

2.1. Basic BC Concepts

BC should be regarded as a methodology that keeps the consistency of big data via internet. It can be seen as the chain of transactions' sets that are grouped into blocks. To ensure the consistency and security of BC, each block must contain a hash value of the previous block and must be timestamped [30]. Besides that, block consists of a list of valid transactions and various other data (such as the signature of the block's creator, threshold for the hash value of a valid block, nonce, etc.).

Consensus Protocol: In order to verify the new block to be added to the chain, some consensus protocol must be performed. The widely used consensus protocol, the so-called Proof-of-Work (PoW), requires miners to discover *nonce* value (a kind of secret key) in order to add a block into BC. Each miner tries to find a specific value for the nonce in such a way that the hash value of the whole block (nonce included) is smaller than the given threshold. It is important to note that threshold is not a constant as BC itself can change it in order to ensure that miners find a solution for the puzzle within a specified time window. The miner who finds a suitable nonce that solves the puzzle, broadcasts it to the network and other participants can easily verify if the hash value of the block in question is valid. If the block is valid, it will be appended to the chain. Once verified blocks that are included in the chain cannot be deleted or changed.

Proof-of-Useful-Work: Main drawback of classical PoW is the excessive energy consumption, however, some other issues (such as integrity, security, latency) are also identified. Among others, Proof-of-Useful-Work (PoUW) concept is applied to resolve some of these issues. It involves solving hard optimization problems, such as Travelling Salesman Problem (TSP) [16, 24] and Artificial Neural Network (ANN) training [2], as the work to be done within the PoUW consensus protocol. Two sources of reward are established for miners by PoUW: the basic one related to the insertion of new block into BC and the other one coming from the customers whose problem instances are solved within PoUW. In order to efficiently deal with the instances of selected optimization problems, metaheuristics, such as Variable Neighborhood Search (VNS) [20] and Bee Colony Optimization (BCO) [6, 12] could be used.

Deanonymization: BC offers its participants pseudoanonymity which could be done in the following manner: the transactions are made via e-wallet structure, which makes only its public key available for everyone on the internet. During the creation of e-wallet, synchronization with BC, as well as transaction signing, there should be no traces of the BC participant, and the IP address is not stored in the transaction packet [28]. Although the anonymity is a desirable feature from participants' viewpoint, it has been noticed that BC could be used as means to anonymize transactions that involve illegal activities [9, 22]. It is also known that a special class of viruses, called ransomware, can make transactions via BC. This subclass of viruses was later named crypto-ransomware [10]. The reason why this kind of transactions is hard to trace is the fact that generating new e-wallet addresses is a common occurrence.

The above mentioned issues represent weak points of the BC technology that allow malicious attacks. Therefore, motivations to deanonymize BC data include: fraud detection and law enforcement, identifying illegal and clean owners, system insights, anonymity and traceability, other socio-economical benefits of an open data model [5, 19, 23]. Deanonymization [25] is often performed by applying classification/clustering heuristics.

2.2. Selected Combinatorial Optimization Problems

Clustering is a form of unsupervised machine learning techniques, having the goal of discovering patterns in observed data. Since the consensus on what a cluster precisely is has not yet been reached, there are a certain number of clustering algorithm classes [8]. Some of them being: connectivity models, centroid models, distribution models, density models, subspace models, group models, graph-based models, signed graph models and neural models. The core issue, besides the definition of a cluster, is the choice of a number of clusters, since it heavily depends on the problem and the data. However, there are certain heuristic methods that may aid the process, such as elbow method, average silhouette method and gap statistic method [13]. There are also the algorithmic methods for determining the optimal number of clusters [17, 21].
Community detection in directed graphs helps to reveal the underlying community structure of those graphs. That is possible as real networks possess the clustering or community structure property, under which the graph topology is organized into modules commonly called communities or clusters. Nodes of the same community are highly similar while on the contrary, nodes across communities present low similarity [18]. Edge directions contain useful information that could help go beyond common clustering techniques [14]. In recent years, Nonnegative Matrix Factorization (NMF) has been effectively used to discover cluster structures due to its powerful interpretability property [15, 29]. In order to capture more accurate (positive and negative) relationships among clusters and, thereby, to derive a latent factor that is even proper for clustering and also has much more responsibility in the regularization Semi-Nonnegative Matrix Factorization could be used [1].

3. METHODOLOGY

In the text to follow we introduce the connection between combinatorial optimization and BC, and describe how the deanonymization problem could be used as useful work for PoUW consensus protocol, as illustrated in Fig. 2. We then discuss the issues involved in implementing our ideas.

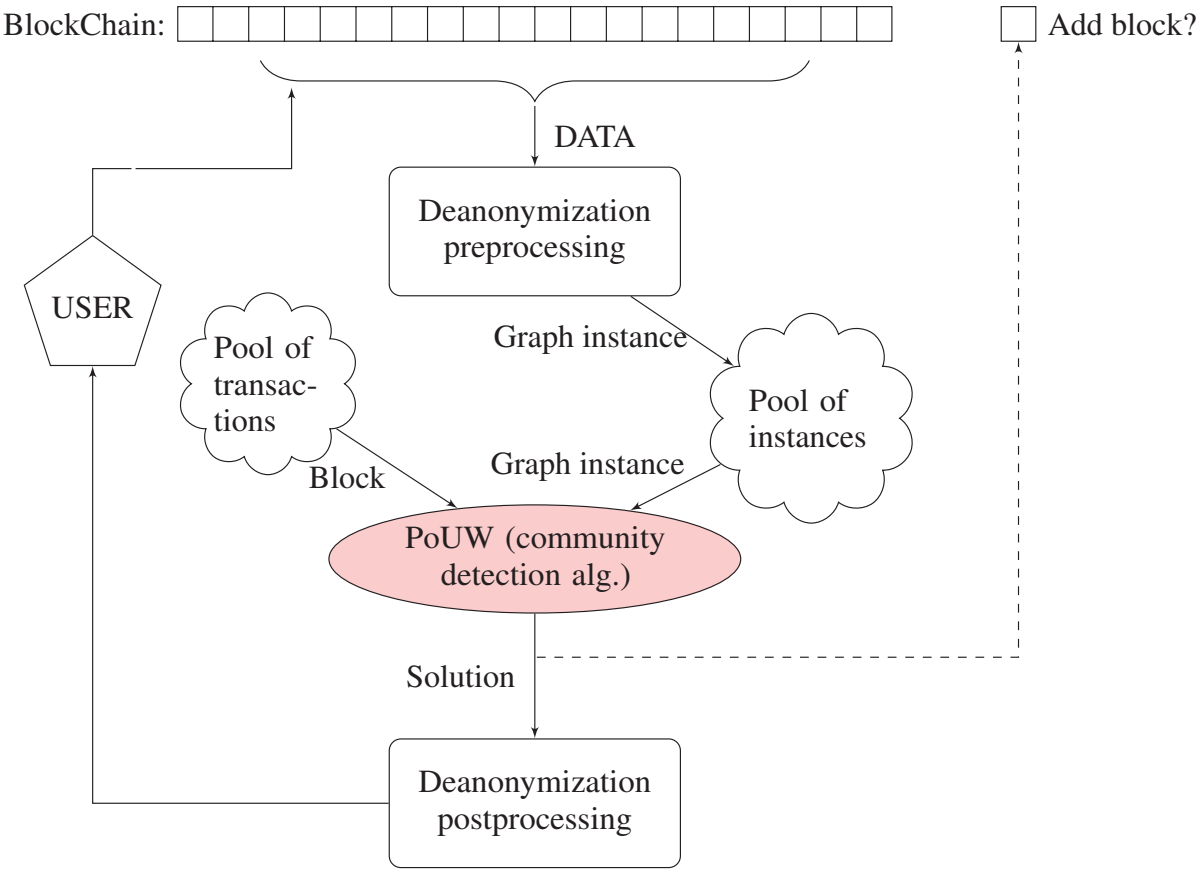


Figure 2 Self contained Blockchain.

3.1. PROPOSED CONSENSUS PROTOCOL

To insure safe, consistent, and efficient operation of BC we need to do both PoUW and deanonymization. As we already mentioned, deanonymization involves classification or clustering, which are well studied combinatorial optimization problems. We chose to treat deanonymization as the clustering problem because classification requires labeled data which we might not have.

Our idea is to consider the instances of clustering problem, generated by deanonymization process, as the useful work to be performed during the execution of PoUW. As BC data could be modelled with directed graphs (DG), our clustering problem boils down to community detection in those graphs.

More precisely, when the user needs to deanonymize the subset of BC data, deanonymization preprocessing phase creates an instance of DG and stores it in the pool of instances (see Fig. 2). PoUW selects transactions from the pool of transactions and forms a block to be added to BC. As in classical PoW, the correspondence between the composed block and an existing DG from the pool of instances needs to be established. The corresponding DG is solved by community detection algorithm as a part of PoUW. The result of PoUW now has additional benefit: besides possibility of adding a new block to BC, it provides user with a solution to the considered instance of the deanonymization community detection problem. If deanonymization is a part of the BC security management, BC becomes self contained framework.

BC may be modeled as a directed graph with vertices that contain entities, consisting of addresses, and the edges representing transactions between the entities. At the beginning of the community detection process, the preprocessing should be performed consisting of merging some vertices, grouping the addresses that are known to belong to same entities. Such a reduced graph becomes the starting point for the heuristic algorithm, which performs community detection based on the chosen similarity definition.

Before any clustering of BC data, there are several steps to be performed. Among the first ones is the selection of proper distance function or other cluster similarity measure. This problem may depend on data itself, and the solutions could be different for various data sets. In addition, to reduce the problem complexity, feature selection should be performed resulting in lowering the dimensionality of BC data to be clustered. This step is a part of data preprocessing phase.

3.2. GENERAL ISSUES

Before we can implement any PoUW type of consensus protocol these issues need to be resolved:

- Format for stating problem instances;
- Correspondence between problem instance and the composed block;
- The efficient exploration of dedicated hardware already owned by miners;
- Increasing the efficiency of the whole system by distributing the work among the available resources of each miner or among group of miners.

In most of the related papers a particular optimization problem is considered (e.g., TSP) and the clients only need to provide the input parameters (i.e., the number of cities and distances between them). However, such an approach is very limited as the number of clients requiring solutions for an instance of TSP may be negligible. On the other hand, the number of optimization problems and their variants is countless.

Once the pool of optimization problem instances is established, besides the set of transactions to compose a block, miners need to select an adequate instance of the optimization problem. The correspondence between problem instance and the composed block needs to be uniquely defined in order to mimic the connection between block, its hash value, and the hash value of the previous block. Only in a few papers this correspondence problem is mentioned, however, no adequate solution is provided.

In addition, dealing with some optimization problems may require special resources, both hardware and software. It may be easy for a miner to get the adequate software because there exists the efficient code for a lot of optimization methods. On the other hand, most of them require hardware that is not usually owned by a typical miner. The main suggestion in the literature how to avoid this problem involves hybrid approach. Namely, the miners are allowed to choose between the PoW and PoUW consensus protocols. This approach is adequate also in the case when the number of optimization problem instances is smaller then the number of blocks to be added in BC, so whenever the pool of optimization problem instances is empty, the miners can perform the classical hash-based PoW. Obviously, in order to increase their rewards, the miners are motivated to perform PoUW (i.e., to select optimization problem instances), as well as to invest in the new hardware suitable for PoUW.

The latency, one of the known PoW drawbacks may also appear in PoUW. Namely, some instances of the considered optimization problem may be very hard preventing each particular miner to solve it efficiently. A

well known solution to this issue in the optimization community is distributed computing. It is very easy to apply it in BC: several miners can join their resources and divide the required computations as well as the corresponding reward.

Moreover, it is important to define how to check the validity of the solution, where the solution will be stored and how to contribute to the BC analysis from the deanonymization standpoint.

4. CONCLUSIONS

Maintaining BlockChain (BC) is a complex and demanding task that involves, among other issues, security, privacy, consistency, and reducing the consumption of electrical energy. It is the well-known fact that BC is not immune to cyberattacks and fraud. Therefore, good security management system is of vital importance in BC. On the other hand, the maintenance of BC requires a huge amount of electrical energy.

In this paper we proposed to consider security and efficiency problems simultaneously and to combine solution approaches into a single procedure. More precisely, we considered deanonymization as the security problem and detected that it can be modeled by the community detection in directed graphs. This is a well-known optimization problem and could be addressed within the Proof-of-Useful-Work (PoUW) consensus protocol. Such a framework enables to achieve a combination of gains. Finding a high-quality solution of selected problem instance opens the possibility to add a new block to BC, while at the same time contributes to the BC security. Moreover, the consumed electrical energy is not wasted just for solving the cryptographic puzzle, rather it supports security management of BC as well. The proposed concept looks very promising, however, it requires several issues to be resolved before the actual implementation, opening fruitful research field for the future work.

Acknowledgement

This work was supported by the Science Fund of the Republic of Serbia, Grant AI4TrustBC: Advanced Artificial Intelligence Techniques for Analysis and Design of System Components Based on Trustworthy BlockChain Technology and by the Serbian Ministry of Education, Science and Technological Development, Agreement No. 451-03-9/2021-14/200029. The authors are grateful to Miloš Simić the PhD student of Univeristy of Belgrade and Nouf Albarakati from Temple University for many stimulating discussions and proofreading efforts. Special thanks to West Texas A&M University, College of Engineering for the help and support.

REFERENCES

[**1**] Abdollahi, R., Seyedi, S. A., and Noorimehr, M. R. (2020). Asymmetric semi-nonnegative matrix factorization for directed graph clustering. In *2020 10th International Conference on Computer and Knowledge Engineering (ICCKE)*, pages 323–328. IEEE.

[**2**] Baldominos, A. and Saez, Y. (2019). Coin. ai: A proof-of-useful-work scheme for blockchain-based distributed deep learning. *Entropy*, 21(8):723.

[**3**] Biryukov, A. and Tikhomirov, S. (2019). Deanonymization and linkability of cryptocurrency transactions based on network analysis. In *2019 IEEE European Symposium on Security and Privacy (EuroS&P)*, pages 172–184. IEEE.

[**4**] Casino, F., Dasaklis, T. K., and Patsakis, C. (2019). A systematic literature review of blockchain-based applications: current status, classification and open issues. *Telematics and informatics*, 36:55–81.

[**5**] Chawathe, S. S. (2019). Clustering blockchain data. In *Clustering Methods for Big Data Analytics*, pages 43–72. Springer.

[**6**] Davidović, T. and Glišović, N. and Rašković, M. (2018). Bee colony optimization for clustering incomplete data. In et al., S. B., editor, *Proceedings of the School-Seminar on Optimization Problems and their Applications (OPTA-SCL 2018)*, volume 2098, pages 94–108, Omsk, Russia. CEUR Workshop Proceedings.

[**7**] Dong, Z., Lee, Y. C., and Zomaya, A. Y. (2019). Proofware: Proof of useful work blockchain consensus protocol for decentralized applications. *arXiv preprint arXiv:1903.09276*.

[**8**] Estivill-Castro, V. (2002). Why so many clustering algorithms: a position paper. *ACM SIGKDD explorations newsletter*, 4(1):65–75.

[**9**] FBI (2012). 'bitcoin virtual currency: Unique features present distinct challenges for deterring illicit activity'. Technical report, Federal Bureau of Investigation, Report from the: Directorate of Intelligence, Cyber Intelligence Section and Criminal Intelligence Section.

[**10**] Gonzalez, D. and Hayajneh, T. (2017). Detection and prevention of crypto-ransomware. In *2017 IEEE 8th Annual Ubiquitous Computing, Electronics and Mobile Communication Conference (UEMCON)*, pages 472–478. IEEE.

[**11**] Hancock, M. and Vaizey, E. (2016). Distributed ledger technology: Beyond block chain. a report by the uk government chief scientific advisor. Technical report, Government Office for Science, London, GB.

[**12**] Jakšić Krüger, T. and Davidović, T. (2016). Analyis of the bee colony optmization method on 3-sat problem. In *Proc. 43rd Symposium on Operations Research, SYM-OP-IS 2016*, pages 297–301, Tara, Serbia.

[**13**] Kassambara, A. (2018). Determining the optimal number of clusters: 3 must know methods. https://www.datanovia.com/en/lessons/determining-the-optimal-number-of-clusters-3-must-know-methods/.

[**14**] Leicht, E. A. and Newman, M. E. (2008). Community structure in directed networks. *Physical review letters*, 100(11):118703.

[**15**] Li, T. and Ding, C.-c. (2018). Nonnegative matrix factorizations for clustering: A survey. In *Data Clustering*, pages 149–176. Chapman and Hall/CRC.

[**16**] Li, W. (2018). Adapting blockchain technology for scientific computing. *arXiv preprint arXiv:1804.08230*.

[**17**] Litvinenko, N., Mamyrbayev, O., Shayakhmetova, A., and Turdalyuly, M. (2019). Clusterization by the k-means method when k is unknown. In *ITM Web of Conferences*, volume 24, page 01013. EDP Sciences.

[**18**] Malliaros, F. D. and Vazirgiannis, M. (2013). Clustering and community detection in directed networks: A survey. *Physics reports*, 533(4):95–142.

[**19**] McGinn, D., McIlwraith, D., and Guo, Y. (2018). Towards open data blockchain analytics: a bitcoin perspective. *Royal Society open science*, 5(8):180298:1–14.

[**20**] Mladenović, N., Todosijević, R., and Urošević, D. (2014). Two level general variable neighborhood search for attractive traveling salesman problem. *Computers & operations research*, 52:341–348.

[**21**] Pelleg, D., Moore, A. W., and and others (2000). X-means: Extending k-means with efficient estimation of the number of clusters. In *Icml*, volume 1, pages 727–734.

[**22**] Raeesi, R. (2015). The silk road, bitcoins and the global prohibition regime on the international trade in illicit drugs: Can this storm be weathered? *Glendon Journal of International Studies/Revue d'études internationales de Glendon*, 8(1-2).

[**23**] Siegenthaler, J. (2020). Blockchain clustering with machine learning. Master's thesis, Center for Innovative Finance, University of Basel. adviser Prof. Dr. Fabian Schär.

[**24**] Syafruddin, W. A., Dadkhah, S., and Köppen, M. (2019). Blockchain scheme based on evolutionary proof of work. In *2019 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, pages 771–776. IEEE.

[**25**] Tikhomirov, S. (2020). *Security and Privacy of Blockchain Protocols and Applications*. PhD thesis, University of Luxembourg, Esch-sur-Alzette, Luxembourg.

[**26**] TradeIX (2018). The difference between blockchain and distributed ledger technology. URL: https://tradeix.com/distributed-ledger-technology/. Accessed Feb. 2021.

[**27**] Treiblmaier, H. and Clohessy, T. (2020). *Blockchain and Distributed Ledger Technology Use Cases*. Springer Nature, Cham.

[**28**] Turner, A. and Irwin, A. S. M. (2018). Bitcoin transactions: a digital discovery of illicit activity on the blockchain. *Journal of Financial Crime*, 25(1):109–130.

[**29**] Wang, F., Li, T., Wang, X., Zhu, S., and Ding, C. (2011). Community discovery using nonnegative matrix factorization. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 22(3):493–521.

[**30**] Zheng, Z., Xie, S., Dai, H., Chen, X., and Wang, H. (2017). An overview of blockchain technology: Architecture, consensus, and future trends. In *IEEE international congress on big data (BigData congress)*, pages 557–564. IEEE.

[**31**] Zheng, Z., Xie, S., Dai, H.-N., Chen, X., and Wang, H. (2018). Blockchain challenges and opportunities: A survey. *International Journal of Web and Grid Services*, 14(4):352–375.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

PREGLED OKVIRA ZA TESTIRANJE ANGULAR APLIKACIJA

OVERVIEW OF FRAMEWORKS FOR TESTING ANGULAR APPLICATIONS

KATARINA SIMIĆ[1], ALEKSA PAVLOVIĆ[1], TATJANA D. STOJANOVIĆ[1], SAŠA D. LAZAREVIĆ[1]

[1]Univerzitet u Beogradu - Fakultet organizacionih nauka, Beograd, {ks20203701,ap20203709}@student.fon.bg.ac.rs, {tatjana.stojanovic, sasa.lazarevic}@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Sveobuhvatno razumevanje i sagledavanje rizika savremenih softverskih implementacija omogućeno je procesima testiranja softvera. Temeljno i sveobuhvatno testiranje uključuje testiranje softverskog sistema kroz sva tri nivoa softverske arhitekture i to na nivou prezentacionog, aplikativnog i nivoa sloja podataka. Okviri predstavljaju popularnu tehniku u kreiranju korisničkog interfejsa, gde se posebno ističe Angular. Angular je razvojni okvir za kreiranje dinamičnih veb aplikacija, desktop i mobilnih aplikacija. U ovom radu opisani su okviri i tehnike za testiranje Angular veb aplikacija. Na studijskom primeru će biti prikazan postupak testiranja veb Angular aplikacije putem jediničnih i integracionih testova.*

Ključne reči: *testiranje, softver, veb aplikacije, Angular.*

Abstract: *A comprehensive understanding and understanding of the risks of modern software implementations is enabled by software testing processes. Thorough and comprehensive testing includes testing of the software system through all three levels of the software architecture, at the level of presentation, application level and data layer level. Frameworks are very popular technique in creating user interfaces today, where Angular stands out. Angular is a development framework for creating dynamic web applications, desktop and mobile applications. This paper will outline the frameworks and techniques for testing Angular web applications. The study example will show the procedure of testing the web Angular application through unit and integration tests.*

Keywords: *testing, software, web applications, Angular.*

1. UVOD

Savremeni razvoj softvera podrazumeva postajanje inženjerskog tima u okviru kojeg je neophodno da svi članovi tima poseduju osnovno znanje ideja i tehnika za testiranje softvera. Softver predstavlja srž mnogih modernih uređaja i sistema. Pored toga što mnogi faktori utiču na inženjering pouzdanog softvera, testiranje se navodi kao primarna metoda koju treba koristi za procenu softvera u razvoju (Ammann and Offutt, 2016). Tehnike testiranja softvera obuhvataju procese izvršavanja programa ili aplikacije sa namerom pronalaska kvarova i provere da li je softverski proizvod pogodan i valjan za upotrebu. Bilo kakve greške u radu aplikacije prouzrokuju da korisnici imaju manje poverenja u određeni brend. Kako bi se izbegle ovakve situacije, neophodno je sprovesti temeljno testiranje softverskog proizvoda. Prema Hutcheson-u (2003), tek kada su na teorijskom nivou istražene sve mogućnosti, treba započeti sa testiranjem u praksi.

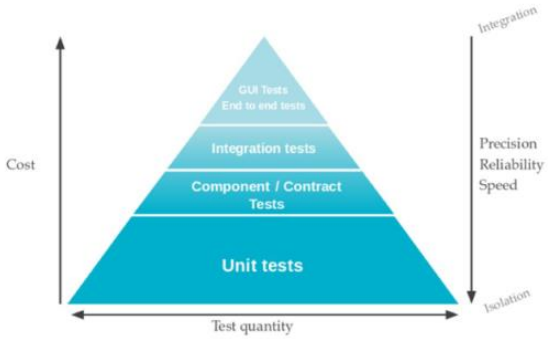
2. ANGULAR OKVIR

Angular je okvir (eng. *framework*) koji se koristi za razvoj aplikacija, pretežno njenog *front-end* dela, koji se može posmatrati kao deo koji izvršava opsluživanje krajnjeg korisnika, dok *back-end* obezbeđuje *front-end* delu neophodne podatke. Prva verzija *Angular* okvira (*AngularJS*) koju je kreirao *Google*, postala je dostupna programerima od 2010. godine (Fain and Moiseev, 2018). Od svoje druge verzije pa sve do sada, *Angular* uključuje *TypeScript* jezik, razvijen od strane *Microsoft* kompanije. Jedan od bitnih razloga za uključivanje ovog tipiziranog jezika jeste namera da se sam okvir prilagodi programerima koji su do tog trenutka imali velika iskustva u radu sa objektno - orijentisanim programskim jezicima (Fain and Moiseev, 2018). *TypeScript* nije jezik koji se može interpretirati, stoga se prevodi u *JavaScript* kôd. Osnova namena *Angular* okvira jeste razvoj jednostraničnih veb aplikacija, a moguć je razvoj i višestraničnih veb aplikacija koristeći specijalizovane *Angular* biblioteke. Osnovni gradivni elementi Angular aplikacije jesu komponente i moduli, gde se modul sastoji od jedne ili više komponenti (Fain and Moiseev, 2018). Modul predstavlja

specifikaciju dela aplikacije, a u aplikaciji mora postojati obavezno koreni modul koji sadrži korenu (eng. *root*) komponentu, dok se ostale komponente mogu ugnježdavati unutar ostalih (Fain and Moiseev, 2018). Kaluža i Vukelić (2018) u svom istaživanju opisuju *Angular* kao najpogodniji okvir kada je reč o razvoju *SPA* (eng. *Single-Page Application*) aplikacija. *Angular* je okvir koji treba izabrati onda kada je kompaniji potrebna dugoročna *LTS* (eng. *Long Term Support*) podrška i jaka sigurnosna osiguranja, a takođe i kada se traga za sveobuhvatnim rešenjem za razvoj složenih aplikacija (Satron, 2018).

3. TIPOVI TESTOVA I TEST PIRAMIDA

Martin Fowler (2012) ukazuje na piramidu testiranja kao model koji olakšava odluku o tome kako dati prednost različitim vrstama automatizovanog testiranja u aplikaciji. Na slici 1 prikazana je test piramida koja pokazuje da je poželjno imati najveći udeo jediničnih testova, odnosno testova nižeg nivoa.



Slika 1: Test piramida

Kada je reč o testiranju *Angular* aplikacija pomoću testova najnižeg nivoa, odnosno jediničnih (eng. *unit*) testova, dostupni su različiti alati poput *Jasmine, Karma, Mocha, Siesta, QUnit* i *Misc* alata (Palmer et al., 2018). Na nešto višem nivou nalaze se integracioni testovi, koji testiraju višestruke jedinice kôda, pa se za njihovu realizaciju koriste isti alati koji se koriste za pisanje jediničnih testova (Palmer et al., 2018) uz dodatak alata poput *TestBed* - a. Najviši nivo test piramide obuhvata testove od kraja do kraja (eng. *end-to-end*) koji pokrivaju čitavu aplikaciju i za čiju su realizaciju dostupni *Cypress* i *Protractor* alat koji je u osnovi baziran na *Selenium* alatu (Castro, 2019). U nastavku su tabelarno prikazani tipova testova i najčešće korišćeni alati za pisanje istih:

Tabela 1: Prikaz tipova testova i preporučenih alata za njihovu realizaciju

TIP TESTA	ALAT
Jedinični testovi	*Jasmine, Karma* i *Mocha*
Integracioni testovi	*TestBed* u kombinaciji sa *Jasmine* i *Karma*
Testovi od kraja do kraja	*Cypress* i *Protractor (Selenium based)*

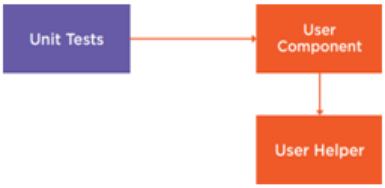
4. SPROVOĐENJE TESTIRANJA U ANGULAR OKVIRU

Angular je savremeni okvir i kao takav podržava pisanje testova i ima svoje specifičnosti. Jednom kreiran projekat uključuje sve potrebne alate za testiranje.

4.1 Jedinični (unit) testovi

U okviru *Angular* aplikacije, jedinični testovi se najčešće pišu u *Jasmine* okviru, dok su za njihovo izvršavanje u pregledaču zaduženi *Karma* i *TestRunner* alati (Haq, 2017).

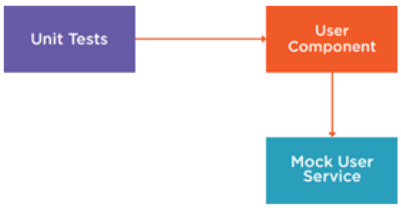
Kako je *Angular* aplikacija sačinjena od komponenti, za potrebe testiranja uzima se samo jedna jedinica kôda, na primer *User Component* sa slike 2 za koju se pišu jedinični testovi. Nekada nije baš najjasnije šta je tačno jedna jedinica koju treba testirati. Prema slici 2, *User Helper* komponenta bi se uz *User Component* mogla smatrati jednom jedinicom kôda i zajedno testirati.



Slika 2: Odnos između testa i komponente

4.2 Mock klase

Ove klase koncipirane su kao prave klase i moguće je kontrolisati njihovo ponašanje i stanje putem atributa i metoda. Na slici 3 prikazana je komponenta *User Component* koja koristi *User Helper* komponentu kroz *Dependency Injection* princip. Prilikom kreiranja jediničnih testova, testira se *User Component* komponenta, ali ne i *User Helper* komponenta. Umesto korišćenja stvarne komponente *User Component*, kreira se lažna (*mock*) komponenta.



Slika 3: Prikaz mock-ovanja servis klase

4.3 Karma i Jasmin alati

CLI (Command Line Interface) postavlja sva neophodna podešavanja za testiranje *Angular* aplikacija i koristi dva različita alata, *Karmu* i *Jasmine* (Palmer et al., 2018). *Karma* predstavlja alat za testiranje zasnovan na čvorovima i omogućava testiranje *JavaScript* kôda u više različitih pretraživača. Alat zasnovan na čvorovima je bilo koji alat koji zahteva *Nodejs* mehanizam da bi se mogao pokrenuti preko menadžera paketa (*npm*). Ovaj alat nazvan *Test Runner* zadužen je za učitavanje izvornih i test datoteka i za pokretanje veb servera i pretaživača u kome se zatim pokreću i izvršavaju testovi (Palmer et al., 2018). Drugi važan alat jeste *Jasmine* koji se veoma dobro poklapa sa *Karma* alatom i takođe je podešen za *Angular CLI*. Ovaj alat podržava koncept špijuna (eng. *spies*), što omogućava da se jedna funkcija "špijunira" i da se prati njeno ponašanje, poput toga da li je pozvana ili ne, koliko je puta pozvana i sa kojim argumentima je pozvana (Bachina, 2020).

4.4 Integracioni testovi

Kada se u jediničnim testovima komponente instanciraju kao jednostavna instanca klase, ne postoji mogućnost testirati upravljanje događajima i način na koji se DOM (eng. *Document Object Model*) elementi prikazuju. Ovde primenu nalaze integracioni testovi, koji testiraju ponašanje klase u celini kako bi se osiguralo da ona radi kohezivno sa okvirom (Haq, 2017). Ovakav test sastoji se od najmanje dve jedinice kôda i na jednostavan način se uvoze implementacije zavisnosti (eng. *dependencies*) u okviru jedinice koja se testira. Prema Haq-u (2017), integracioni testovi proveravaju da li klasa i njen šablon (eng. *template*) dobro funkcionišu. U *Angular*-u postoje plitki (eng. *shallow*) integracioni testovi koji razmatraju šablon samo komponente koja se testira i testovi duboke (eng. *deep*) integracije koji razmatraju i šablone njenih podređenih komponenti. Kada je cilj testirati komponentu zajedno sa njenim podređenim komponentama, plitki testovi gube na svom značaju i treba koristiti duboke (eng. *deep*) testove integracije (Kiran, 2018).

4.5 Testiranje od kraja do kraja

Ovaj tip testiranja predstavlja testiranje celokupne aplikacije i koristi se za simulaciju interakcije korisnika sa *Angular* aplikacijom koja se pokreće u pregledaču ili mobilnom uređaju. Ovakvi testovi pokazuju da li su svi delovi pravilno integrisani i da li ispravno rade. Alat koji je najzastupljeniji za kreiranje *end-2-end* testova jeste *Protractor*, zasnovan na *Nodejs* mehanizamu i takođe radi sa *Jasmine*, *Mocha* i *Cucucmber* alatima.*Protractor* u saradnji sa *Selenium* alatom pruža infrastrukturu za automatizovane testove. *Selenium* je okvir za automatizaciju pregledača i uključuje *Selenium Server*, *WebDriver API*-je i *WebDriver* upravljačke programe. Test koji koristi *Selenium WebDriver* uključuje tri procesa - test skriptu, server i pregledač. Test skripte šalju komande na Selenium Server, koji sa druge strane komunicira sa upravljačkim programom pregledača (Protractor - End-to-End Testing for AngularJS, n.d.). Asinhrona priroda *Angular* aplikacija otežava predviđanje vremena učitavanja elemenata stranice, zbog čega je neophodno uvesti čekanja (eng. *timeout*). Likitha Lokesh (2020) predlaže kreiranje zasebne klase koja sadrži različite metode čekanja, kako bi se one mogle pozivati u različitim klasama, a kao alternative preporučuje korišćenje *JavascriptExecutor* i *ngWebDriver* biblioteke, ali i takođe naglašava značaj poznavanja asinhrone prirode Angular aplikacija i pravilne upotrebe izabranog rešenja prilikom kreiranja okvira za testiranje koji je baziran na *Selenium* alatu.

5. SIGURNOSNI ASPEKAT TESTIRANJA ANGULAR APLIKACIJA

Termin ranjivost (eng. *vulnerabillity*) označava manu sistema koju kada otkriju, napadači mogu iskoristiti kako bi učinili sistem nedostupnim (Mukherjee et al., 2020). Jedan od velikih izazova je sprovesti sigurnosno testiranje putem različitih tehnika kako bi se na vreme identifikovale ranjivosti koje mogu postojati u sistemu. U pogledu *Angular* aplikacije, neophodno je redovno ažurirati biblioteke kako bi se otklanili sigurnosni nedostaci otkrivenim u prethodnim verzijama i izbeći *API*-je koji su u dokumentaciji označeni kao “Bezbednosni rizik”. Za neke od *OWASP* ranjivosti, *Angular* je unapred razvio rešenja, na primer *XSS*

napadi se sistemski blokiraju tako što Angular podrazumevano tretira sve vrednosti kao nepouzdane. Za dve uobičajene *HTTP* ranjivosti, krivotvorenje zahteva za više lokacija (*CSRF*) i uključivanje skripti za više lokacija (*XSSI*), *Angular* poseduje ugrađenu podršku za njihovo sprečavanje (*Angular*, n.d.). Sa druge strane, *Angular* nema ugrađene alate pomoću kojih bi se onemogućile razne funkcije kao što su dugmad i druge stavke korisničkog interfejsa, na osnovu toga ko je prijavljen i koje uloge ili dozvole ima. Aplikaciju je zbog neophodno osigurati na klijentskoj strani ali i obezbediti da *Web API* pozivima pristup imaju samo ovlašćene osobe (Sheriff, 2021).

6. STUDIJSKI PRIMER

U nastavku će biti prikazan postupak testiranja veb aplikacije zasnovane na *Angular* okviru pomoću jediničnih i integracionih testova. *Spec* kao skraćenica za specifikaciju je uobičajeni princip koji se koristi prilikom pisanja jediničnih testova, jer je ovo ekstenzija koja govori alatu za testiranje da se u ovom fajlu nalaze testovi (Palmer et al., 2018).

6.1 Jedinični testovi

Početak pisanja jedničnog testa podrazumeva opisivanje funkcije, što je karakteristika *Jasmine* alata. Testove deli *AAA* obrazac na tri dela - *act, arrange* i *assert*. *Act* postavlja ulazne vrednosti testa, *arrange* traži primarnu funkciju koja se testira, dok *assert* potvrđuje da je izlaz funkcije ono što se očekivalo (Beck, 2002). Funkcija *describe* ima dva parametra: string i funkciju povratnog poziva (*callback*), koja zapravo sadrži svu logiku testiranja i sve neophodne *mock* objekte (Palmer et al.,2018). Funkcija *beforeEach*() resetuje stanje testa i na taj način obezbeđuje da svaki test radi sa podacima i postavkama koji su konfigurisani u ovoj metodi (Palmer et al., 2018). Na ovaj način prethodni testovi ne mogu imati efekat na izvršavanje budućih testova. Sledi primer opisanih funckija, što je ujedno i neophodno podešavanje pre samog pisanja testa.

```
describe('PersonsComponent', () => {
  let component: PersonsComponent;
  let PERSONS;
  let mockPersonService;
  beforeEach(() => {
    PERSONS = [
        { id: 1, name: 'Bob', age: 24 },
                . . .
    ]
    mockPersonService = jasmine.createSpyObj(['getPersons', 'addPerson', 'deletePerson']);
    component = new PersonsComponent(mockPersonService);
  })
```

U nastavku je dat primer jediničnog testa kojim se proverava se da li *CRUD* operacija za dodavanje novog objekta u listu radi ispravno. U okviru ovog testa bilo je neophodno kreirati *mock* servis klasu, jer je ona zadužena za izvršavanje *CRUD* operacija nad objektom.

```
describe('addPerson', () => {
    it('should add person in the persons list', () => {
      //act
      mockPersonService.addPerson.and.returnValue(of(true))
      component.persons = PERSONS;
      //arrange
      component.add('Alice', 20);
      //assert
      expect(component.persons.length).toBe(4);
    })
    it('should call addPerson', () => {
      mockPersonService.addPerson.and.returnValue(of(true))
      component.persons = PERSONS;
      component.add('Alice',20);
      expect(mockPersonService.addPerson).toHaveBeenCalledWith(Object({ name: 'Alice', age: 20 }));
    })
  })
```

6.2 Integracioni testovi

Plitki testovi integracije testiraju samo jednu komponentu i nijednu njenu podređenu komponentu ili direktivu (Palmer et al., 2018). Budući da se radi o testiranju komponente plitkim testom, u okviru *describe* funkcije treba to i naznačiti. Kao što će u narednom primeru biti prikazano, analogno jediničnim testovima i u okviru ovakvih tipova testova se za inicijalna podešavanja koristi metod *beforeEach()*.

```
beforeEach(() => {
    TestBed.configureTestingModule({
      declarations: [PersonComponent],
      schemas: [NO_ERRORS_SCHEMA]
    });
    fixture = TestBed.createComponent(PersonComponent);
  });
```

TestBed omogućava testiranje i komponente i njenog šablona koji rade zajedno. *TestBed* ima nekoliko različitih metoda, od kojih se izdvaja *configureTestingModule()* koja ima jedan parametar i to objekat koji se tačno podudara sa izgledom kada se kreira modul aplikacije. Pozivanjem metode *createComponent()*, konstruiše se željena komponenta. Ova funkcija vraća *ComponentFixture*, koji je u osnovi omotač za komponentu koja se koristi u testiranju i ima više svojstva nego što ih ima sama komponenta. Kada se *fixture* promenljiva setuje, moguće je pristupiti npr. instanci komponente, metodi *onDeleteClick()* i slično. Sledi primer jednog plitkog integracionog testa.

```
 it('should render the person name in an anchor tag', () => {
    fixture.componentInstance.person = { id: 1, name: 'Bob', age: 24};
    fixture.detectChanges();
    let deA = fixture.debugElement.query(By.css('a'));
    expect(deA.nativeElement.textContent).toContain('Bob');
    expect(fixture.nativeElement.querySelector('a').textContent).toContain('Bob');
  })
```

Metoda *detectChanges()* govori komponenti da detektuje promene i ažurira sve veze koje mogu postojati na njoj. U testu je moguće uhvatiti *DOM* element i proveriti šta on sadži, što nije moguće uraditi u izolovanom testu (RayRay, 2018). Svojstvo *debugElement* ima funkciju upita, gde upit omogućava da se dobije referenca na jedan čvor. Pri radu sa više komponenti, potrebno je znati kojoj komponenti dati element pripada (RayRay, 2018), gde *debugElement* nailazi svoju primenu. Ovi testovi takođe zahtevaju *mock*-ovanje odgovarajućeg servisa. Predstavljen je primer testa kojim se testira komponenta sa svojom podređenom komponentom.

```
describe('PersonDetailComponent', () => {
  let fixture: ComponentFixture<PersonDetailComponent>;
  let mockActivatedRoute, mockPersonService, mockLocation;
  beforeEach(() => {
    mockActivatedRoute = {
      snapshot: { paramMap: { get: () => { return '3'; }}}
    }
    mockPersonService = jasmine.createSpyObj(['getPerson', 'updatePerson']);
    mockLocation = jasmine.createSpyObj(['back']);
    TestBed.configureTestingModule({
      imports: [FormsModule],
      declarations: [PersonDetailComponent],
      providers: [
        {provide: ActivatedRoute, useValue: mockActivatedRoute},
        {provide: PersonService, useValue: mockPersonService},
        {provide: Location, useValue: mockLocation},
      ]
    });
    fixture = TestBed.createComponent(PersonDetailComponent);
    mockPersonService.getPerson.and.returnValue(of({id: 1, name: 'Bob', age: 24}));
  });
  it('should render person name in a h2 tag', () => {
    fixture.detectChanges();
    expect(fixture.nativeElement.querySelector('h2').textContent).toContain('Bob');
  })})
```

7. ZAKLJUČAK

Ubrzanim unapređenjem veb tehnologija u poslednjih nekoliko godina nastaje sve više veb aplikacija za različite pametne uređaje. Rast broja internet korisnika doveo je do toga da se od jednog softverskog sistema očekuje da u svakom trenutku bude dostupan korisnicima i da na očekivani način zadovolji zahteve korisnika. U ovom radu razmatrani su okviri za testiranje veb aplikacija zasnovanih na *Angular*-u, jednom od najpopularnijih tehnologija za razvoj veb aplikacija danas. *Angular* i drugi veb okviri i biblioteke koje su danas u ekspanziji, poput *React* i *Vue* okvira, omogućavaju postojanje istog softverskog kôda što olakšava razvoj aplikacije za desktop i mobilne uređaje. Pred softverskim kompanijama je donošenje odluke koji će od popularnih okvira za razvoj veb aplikacija koristiti. Kako se razvija sve više veb aplikacija, tako testiranje ovih aplikacija postaje krucijalno. Iako je veliki izazov izabrati pravi okvir za razvoj veb aplikacije, treba imati u vidu i koliko je izabrani okvir pogodan za testiranje, koje predstavlja neizostavan proces u razvoju kvalitetnog softverskog proizvoda.

LITERATURA

[1] Angular. (n.d.). Angular. Retrieved June 30, 2021, from https://angular.io/guide/security

[2] Ammann, P., & Offutt, J. (2016). Introduction to Software Testing (2nd ed.). Cambridge University Press.

[3] Bachina, B (2020, May 30). Angular - A Comprehensive guide to unit testing with Angular an Best Practices. Medium. https://medium.com/bb-tutorials-and-thoughts/angular-a-comprehensive-guide-to-unit-testing-with-angular-and-best-practices-e1f9ef752e4e

[4] Castro, T. (2019, March 27). End to End (e2e) – Angular Testing – Protractor vs Cypress. Tech Blog. https://techblog.fexcofts.com/2018/09/24/end-to-end-e2e-angular-testing-protractor-vs-cypress/

[5] Beck, K. (2002). Test Driven Development: By Example (1st ed.). Addison-Wesley Professional. http://barbra-coco.dyndns.org/yuri/Kent_Beck_TDD.pdf

[6] Fain, Y., Moiseev, A., Angular Development with TypeScript“, 2nd Edition, Manning Publications, 2018

[7] Fowler, M. (2012). Blinki: Test Pyramid. Martinfowler.com

[8] Haq, M. Z. (2017). Angular Test Driven Development - Second Edition (2nd Revised edition). Packt Publishing.

[9] Hutcheson, M. L. (2003). Software Testing Fundamentals: Methods and Metrics (1st ed.). Wiley.

[10] Kaluža, M., & Vukelić, B. (2018). Comparison of front-end frameworks for web applicationsdevelopment. Zbornik Veleučilišta u Rijeci, 6(1), 261–282. https://doi.org/10.31784/zvr.6.1.19

[11] Kiran, R. (2018). Unit Testing Angular Components | DotNetCurry. Dotnetcurry.com. https://www.dotnetcurry.com/angularjs/1463/unit-testing-angular-components

[12] Lokesh, L. (2020, June 22). Testing Angular Applications with Selenium Java - Slalom Build. Medium. https://medium.com/slalom-build/testing-angular-applications-with-selenium-java-4bca1c6d08b5

[13] Mukherjee, S., Roy, S., & Bose, R. (Eds.). (2020). Defining an appropriate trade-off to overcome the challenges and limitations in Software Security Testing (Vol. 14, Issue 7). https://doi.org/10.37896/jxu14.7/166

[14] Palmer, J., Cohn, C., Giambalvo, M., & Nishina, C. (2018). Testing Angular Applications (1st ed.). Manning Publications.

[15] Protractor - end-to-end testing for AngularJS. (n.d.). ProtractorTest. Retrieved June 29, 2021, from https://www.protractortest.org/#/infrastructure

[16] RayRay, D. B. (2020, December 10). Introduction to Angular Testing - Level Up Coding. Medium. https://levelup.gitconnected.com/introduction-to-angular-testing-c596aff78a3a

[17] Satron, B. (2018). Choosing the Right JavaScript Framework for Your Next Web Application. https://www.telerik.com/docs/default-source/whitepapers/telerik-com/choose-the-right-javascript-framework-for-your-next-web-application_whitepaper.pdf

[18] Sheriff, P. D. (2021, April 23). Security in Angular: Part 1. CODE Magazine. https://www.codemag.com/article/1805021/Security-in-Angular-Part-1

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

PRIMENA ISO 8583 PROTOKOLA U APLIKACIJAMA ZA ELEKTRONSKO PLAĆANJE

USING ISO 8583 PROTOCOL IN ELECTRONIC PAYMENT APPLICATIONS

SRĐAN TRIPKOVIĆ[1], DEJAN SIMIĆ[1]

[1] Univerzitet u Beogradu - Fakultet organizacionih nauka, Beograd, srdan.tripkovic@gmail.com
Univerzitet u Beogradu - Fakultet organizacionih nauka, Beograd, dejan.simic@fon.bg.ac.rs

---

Rezime: *U današnje vreme elektronski sistemi plaćanja su izuzetno zastupljeni. Elektronski načini plaćanja preuzimaju, ili su u određenim sredinama već i preuzeli, primat nad tradicionalnim načinima plaćanja. Samim tim, javlja se potreba za razvojem aplikacija koje će na siguran način omogućiti da se plaćanja izvrše elektronskim putem. U ovom radu dat je prikaz razvoja aplikacije za elektronske plaćanje pri čemu je korišćen JPos frejmvork koji je zasnovan na Java programskom jeziku i ISO 8583 protokolu, kao primer najbolje prakse u ovoj oblasti.*

Ključne reči: *Elektronski sistem plaćanja, ISO 8583 protokol, JPos*

Abstract: *Nowadays, electronic payment systems are incredibly common. E-payments are taking over, or have already taken over in some environments, the primacy over the traditional ways of paying. Therefore, there is an increasing need for developing of e-payment applications which will enable secure way of paying electronically. This paper presents the development of an electronic payment application using the JPos framework based on the Java programming language and the ISO 8583 protocol, as an example of best practice in this area.*

Keywords: *Electronic payment system, ISO 8583 protocol, JPos*

1. UVOD

Elektronski sistemi plaćanja se koriste od šezdesetih godina prošlog veka i ubrzano se i dalje razvijaju. U dvadesetprvom veku elektronsko plaćanje predstavlja jedan od najčešće korišćenih načina plaćanja (Kumari, Fartheen, 2020). Elektronsko plaćanje podrazumeva sve one vrste plaćanja koje se odvijaju elektronskim putem, preko Interneta. U okviru elektronskih plaćanja mogu se uočiti dva tipa, plaćanje pomoću debitnih i kreditnih platnih kartica i plaćanje pomoću elektronskog novca (Abrazhevich, 2004). Daleko popularnije je plaćanje pomoću platnih kartica koje predstavlja svojevrstan most između plaćanja gotovinom sa jedne strane i potpuno elektronskog načina plaćanja kakav je plaćanje pomoću elektronskog novca sa druge. Pregled sistema za plaćanje preko Interneta se može naći u (Khan et al., 2017).

U Srbiji je broj korisnika usluga elektronskog plaćanja u konstantnom porastu. Na kraju 2016. godine za plaćanje preko Interneta, samo jednu od vrsta elektronskih sistema plaćanja, taj broj je iznosio 1.618.357, dok je četiri godine kasnije, u poslednjem kvartalu 2020. on bio 3.156.041, što je povećanje od 95,02%. Mobilna plaćanja beleže još veći porast. U periodu od četiri godine, od kraja 2016. do kraja 2020. broj korsinika povećan je sa 746.180 na 2.162.362 što je 189,79% više. Međutim, broj korisnika koji poseduju račun elektronskog novca u istom periodu je smanjen sa 63.289 na 46.155 ili za 27,07% manje (NBS, 2021).

2. ELEKTRONSKI SISTEMI PLAĆANJA

U elektronske sisteme plaćanja mogu se ubrojati svi oni sistemi kod kojih se plaćanja sa jednog na drugi račun odvijaju elektronskim putem bez direktnog učešća bankarskog osoblja u tom procesu umesto korišćenjem gotovine ili čekova, lično ili slanjem poštom.

Arhitektura savremenih elektronskih sistema plaćanja se u načelu sastoji od šest učesnika: banka izdavalac, banka prihvatilac transakcije, procesor transakcija, trgovac, sertifikaciono telo, odnosno kartični brend i korisnik, odnosno vlasnik kartice. Ukoliko se računi trgovca i korisnika kartice nalaze u istoj banci tada su banka prihvatilac i banka izdavalac isti entitet, što broj učesnika u procesu plaćanja smanjuje za jedan.

Elektronski platni sistemi se mogu kategorizovati na više načina. Ovde će biti date podele prema tipu informacija koje se razmenjuju i prema načinu na koji je prenos novca organizovan. Prema tipu informacija koje se razmenjuju, elektronski sistemi plaćanja mogu se podeliti na sisteme koji se zasnivaju na računu i sisteme koji se zasnivaju na tokenima. Prema načinu na koji je prenos novca organizovan uočavaju se sistemi elektronskog novca i kreditno – debitni sistemi. Ukoliko se ove dve kategorizacije uporede dolazi se do zaključka da su sistemi koji se zasnivaju na računima iz prve podele ekvivalentni kreditno – debitnim sistemima iz druge podele. Isto tako, sistemi koji se zasnivaju na tokenima mogu se poistovetiti sa sistemima elektronskog novca.

Izuzetno bitan deo svakog sistema plaćanja je bezbedost i bezbednosni zahtevi koji moraju biti ispunjeni (Simić, 2005a). Autentifikacija je, pored autorizacije, glavni proces zadužen za bezbednost kod većine kartičnih sistema i ona predstavlja proces verifikacije identiteta entiteta (Simić, 2005b). Tek kada je autentifikacija uspešno sprovedena može se pristupiti daljoj autorizaciji, odnosno dodeljivanju odgovarajućih dozvola. Danas je najzastupljenija dvofaktorska autentifikacija (2FA) i sve su popularnije biometrijske metode.

3. ISO 8583 PROTOKOL I JPOS FREJMVORK

ISO 8583 protokol ili standard je međunarodni standard za razmenu poruka nastalih prilikom finansijskih transakcija korišćenjem platnih kartica. Format poruke je takav da se svaka poruka sastoji od tri dela: indikatora tipa poruke, bit mapa i polja podataka. Indikator tipa poruke opisuje verziju protokola, klasu, funkciju i poreklo poruke. Bit mape sadrže podatke o tome u koja polja trećeg dela su upisane vrednosti. Svaka poruka ima najmanje jednu bit mapu, a najviše dva. Polja podataka su najbitnji deo poruke. Ona sadrže sve informacije koje se odnose na samu transakciju. U okviru standarda definisano je 128 polja podataka. Protokol prenosa poruka nije striktno definisan samim standardom (postoje dijalekti standarda), pa je samim tim on zavisi od konkretne implementacije (JPOS, 2021b).

JPos je frejmvork zasnovan na ISO 8583 standardu i Java programskom jeziku (JPOS, 2021). Njegova uloga je da posluži kao most između poruka nastalih po ISO 8583 standardu i pojedinačnih, specifičnih interfejsa sistema za obradu transakcija. Spektar primene je veliki, a najčešći oblici upotrebe su za implementaciju gejtveja i za svičing finansijskih poruka i transakcija.

4. RAZVOJ APLIKACIJE ZA ELEKTRONSKO PLAĆANJE

Metodologija korišćena za razvoj aplikacije za elektronsko plaćanje je Larmanova metoda, i to pojednostavljena verzija koja se koristi na Fakultetu organizacionih nauka. Ona se sastoji iz sledećih 5 faza: specifikacija zahteva, analiza, projektovanje, implementacija i testiranje (Vlajić, 2015).

S obzirom da su zahtevi koje bi aplikacija trebalo da ispuni jasno definisani na samom početku razvoja, kao i da je ispunjavanje visokog nivoa bezbednosti jedan od glavnih aspekata aplikacije, Larmanova metoda, upravo zato, pokazala se kao dobar izbor koji svojim inkrementalnim razvojem daje odgovarajuću količinu fleksibilnosti uz mogućnost kontrole nastanka propusta koji bi potencijalno ugrozili bezbednosni integritet same aplikacije. Pored toga, kao izlaz iz početne dve faze dobijaju se detaljno opisane logička struktura i ponašanje sistema, što je za aplikacije elektronskog plaćanja od ključnog značaja. Nakon izvršene faze analize, dobija se i detaljna dokumentacija kojom se olakšava korišćenje budućim korisnicima.

5. ANALIZA REŠENJA

Aplikacija prikazana u ovom radu kao primer najbolje prakse u ovoj oblasti sastoji se od dva dela od kojih jedan predstavlja serverski deo aplikacije, a drugi klijentski.

5.1. Serverski deo aplikacije

Serverski deo aplikacije napravljen je pomoću Maven-a, alata za automatizaciju izgradnje i upravljanja Java projekata koji se zasniva na POM-u. Od velike važnosti za funkcionisanje aplikacije su sledeći servisi 00_logger, 05_serversimulator, 20_mux, 30_txnmgr, 99_sysmon. Od navedenih servisa ključnu ulogu ima 05_serversimulator pa je on i prikazan na slici 1.

```
<server name="server"
 class="org.jpos.q2.iso.QServer" logger="Q2">
 <attr name="port" type="java.lang.Integer">10000</attr>
 <server-socket-factory class="org.jpos.iso.GenericSSLSocketFactory" logger="Q2" >
    <property name="keystore" value="myKeyStore.jks"/>
    <property name="clientauth" value="false"/>
    <property name="storepassword" value="j&S?t%{YD7+%EL{U"/>
    <property name="keypassword" value="rtw\q^cPkw?Y,L72"/>
 </server-socket-factory>
 <channel class="org.jpos.iso.channel.NACChannel" logger="Q2"
 packager="org.jpos.iso.packager.GenericPackager">
    <property name="packager-config" value="iso8583.xml"/>
 </channel>
 <request-listener class="org.jpos.bsh.BSHRequestListener" logger="Q2">
  <property name="source" value="cfg/serversimulator.bsh" />
 </request-listener>
</server>
```

Slika 1: Prikaz servisa 05_serversimulator

Zahtev najpre stiže do servisa 05_serversimulator. Ovaj servis dekriptuje poruku uz pomoć odgovarajućeg privatnog ključa. Nakon što je poruka dekriptovana potrebno je da se ona raspakuje odnosno isparsira. Za ovaj proces zadužena je klasa org.jpos.iso.packager.GenericPackager koja na osnovu prosleđenog iso8583.xml fajla koji koristi kao model poruku prevodi u čitljiv oblik. Kada je poruka isparsirana može se pristupiti čitanju njenog sadržaja i sastavljanju odgovarajućeg odgovora. S obzirom da se u navedenoj implementaciji ovog servisa koristi klasa org.jpos.bsh.BSHRequestListener sva logika je smeštena unutar BeanShell skripte nazvane serversimulator.bsh. Kada su odrađene sve neophodne obrade i zavedene promene unutar baze podataka sastavlja se odgovor koji se šalje nazad ka klijentskom delu ove aplikacije. Servis 00_logger ima ulogu da loguje sve promene koje se dešavaju na serverskoj strani. Multiplekser (20_mux) zadužen je za vraćanje pristiglih poruka na odgovarajuće destinacije sa kojih su i stigle. Menadžer transakcija (30_txnmgr) sadrži neka od podešavanja sistema, kao na primer maksimalan broj sesija. Servis 99_sysmon nadgleda karakteristike sistema na kom se aplikacija izvršava.

5.2. Klijentski deo aplikacije

Klijentski deo je poput serverskog razvijan uz pomoć Maven-a. Na osnovu servisa korišćenih na strani klijenta, može se primetiti da je ona zapravo poprilično slična serverskoj strani pošto koristi servise 00_logger, 20_mux i 99_sysmon sa identičnim kodom uz dodatak servisa 10_channel_jpos.

```
<channel-adaptor      name="jpos-channel"      class="org.jpos.q2.iso.ChannelAdaptor"
logger="Q2">
   <channel logger="Q2"
         class="org.jpos.iso.channel.NACChannel"
         packager="org.jpos.iso.packager.GenericPackager">
      <property name="packager-config" value="iso8583.xml"/>
      <property name="host" value="localhost"/>
      <property name="port" value="10000"/>
      <property name="socketFactory" value="org.jpos.iso.GenericSSLSocketFactory"/>
      <property name="keystore" value="myTrustStore.jts"/>
      <property name="clientauth" value="false"/>
      <property name="storepassword" value="changeit"/>
      <property name="keypassword" value="changeit"/>
   </channel>
   <in>jpos-send</in>
   <out>jpos-receive</out>
   <reconnect-delay>10000</reconnect-delay>
</channel-adaptor>
```

Slika 2: Prikaz servisa 10_channel_jpos

Pored ovih servisa, klijentski deo aplikacije sastoji se još od klase koja služi za pokretanje istih preko Q2, zatim pakovanje i slanje ISO 8583 poruka ka serveru, kao i prijem istih u vidu odgovora servera. Ova klasa nazvana je Client.java.

5.3. Komunikacija

Komunikacija između serverskog i klijentskog dela aplikacije ostvarena je preko klase org.jpos.iso.channel.NACChannel koja transport podataka vrši koristeći TCP/IP protokol. Kao „packager“ se koristi klasa „org.jpos.iso.packager.GenericPackager“, dok se konfiguracija nalazi u fajlu „iso8583.xml“.

Bezbednost podataka pri prenosu povećana je pomoću TLS protokola koji sigurnost osetljivih podataka koji se razmenjuju između servera i klijenta obezbeđuje enkripcijom podataka pomoću RSA algoritma. U konkretnom slučaju generisan je sertifikat sa algoritmom potpisa SHA256withRSA. Ovaj algoritam radi po principu javnih i privatnih ključeva. Privatni ključ čuva se na strani servera, dok se javni ključ distribuira svim kopijama klijentske aplikacije. Konkretni javni ključ je veličine 2048 bita. Za enkripciju na strani klijenta se koristi ovaj javni ključ, čijom se primenom na osetljive podatke dobija njihov kriptovan oblik koji može biti dekriptovan samo privatnim ključem na strani servera. Kako bi bilo potvrđeno poreklo poruke i klijent ima i svoj privatni ključ. Primena ovog ključa na klijentskoj strani se naziva potpisivanje i omogućava da serverska strana pri dekripciji može biti sigurna da poruka zaista i potiče sa klijentske strane i da niko nije uticao na njen sadržaj.

5.4. Baza podataka

Deo baze podataka koji koristi aplikacija se sastoji od pet tabela. Pri projektovanju baze podataka vođeno je računa da se osetljivi podaci, koliko je moguće, ne dovode direktno u vezu jedni sa drugima, tako da je tabela „klijent“ sa tabelom „tekuciracun“ povezana preko tabele „kartica“. Pored toga cvv se ne čuva u samoj bazi, već se njegovo podudaranje sa karticom proverava dinamički na nivou poslovne logike. Takođe, pokušano je eliminisanje nekih praksi koje usporavaju rad sa bazom, kao što je na primer korišćenje trigera.

5.5. Testiranje

Serverski deo aplikacije je testiran pomoću JMeter aplikacije dizajnirane za obavljanje testova opterećenja funkcionalnog ponašanja i merenje performansi i odgovarajućeg dodatka (plugin-a) jmeter-iso8583, koji pruža mogućnost rada sa ISO 8583 porukama. JMeter je aplikacija koja radi na nivou protokola. Verzija korišćena za testiranje je JMeter 5.1 na kojoj je instaliran plugin jmeter-iso8583 1.1. Sistem je testiran pod očekivanim opterećenjem, što predstavlja Load Testing. Pored toga sistem je podvrgnut i stres testu (eng. Stress Testing) kojim se on preopterećuje s ciljem da se nađe najslabija karika, odnosno tačka pucanja. Stres testovi posebno su bitan deo procesa testiranja svih finsijskih sistema koji zbog prirode posla koji obavljaju moraju biti izuzetno pouzdani. Primer rada u kome je opisano automatsko testiranje EFT switch-a je (Asaadi, 2010).

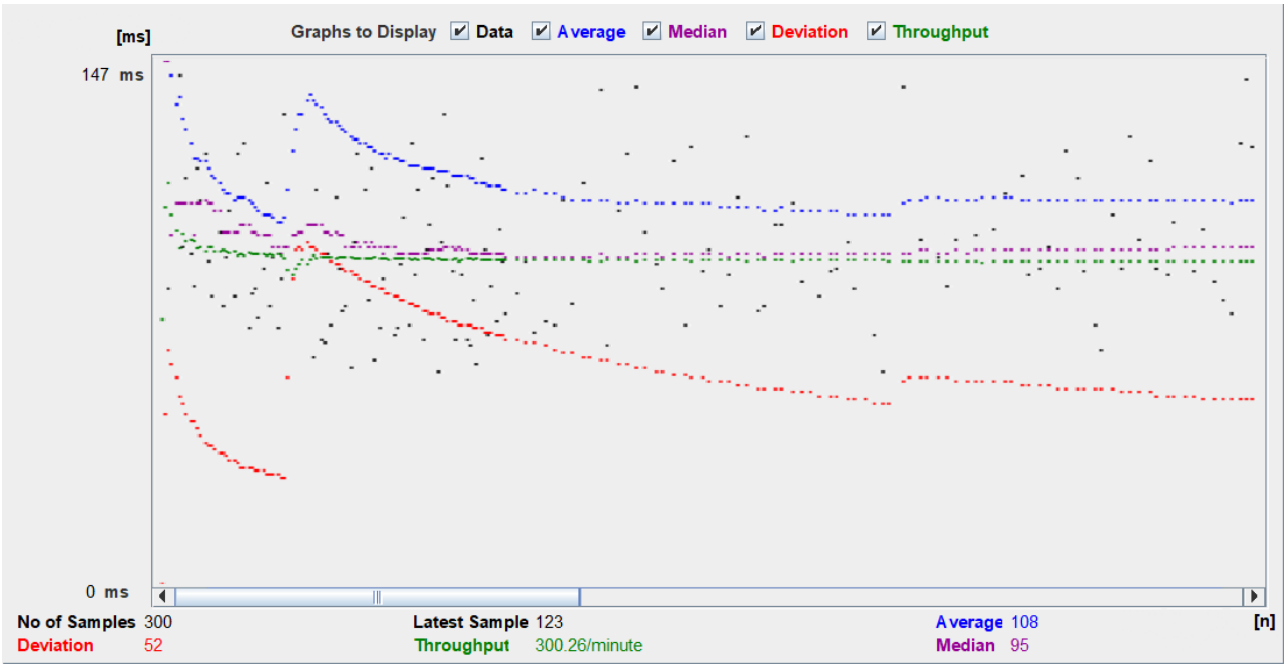
Na računaru na kom je aplikacija testirana bio je instaliran 64-bitni Windows 10 Education operativni sistem. Navedeni računar poseduje Intel i5-8250U CPU sa 4 fizička i 8 logičkih jezgara, bazna brzina procesora je 1,8 GHz dok je maksimalna 3,4 GHz. RAM memorija je bila kapaciteta 8 GB i radnog takta 2400 MHz. Hard disk koji se nalazio u računaru bio je veličine 1TB.

Load testing rađen je sa opterećenjem od 5 pristiglih poruka u sekundi u periodu od jednog minuta. Timeout poruka bio je namešten na 1000 milisekundi. Neka od ograničenja unutar poslovne logike su onemogućena (duplo plaćanje istog računa) kako bi se test mogao izvršiti automatizovanim putem. Svih 300 uzoraka uspešno je prošlo test, odnosno odgovor servera je stigao u okviru zadatog vremenskog okvira. Prosečno vreme potrebno za odgovor servera bilo je 108 ms (milisekundi) dok je maksimalno vreme iznosilo 147 ms. Rezultati testiranja pod očekivanim opterećenjem mogu se, u obliku grafika, videti na slici 4.

Testiranje klijentskog dela aplikacije je svedeno na ručno testiranje.

Field	Content
0	0800
2	4916232815240373
4	0.01
7	${__time(MMddHHmmss,)}
11	${__RandomString(6,0123456789,)}
12	102018
17	0722
41	12345678
42	EPS
60	257
61	Pero Peric
62	Patrijarha Gavrila 37

Slika 3: Primer poruke korišćene u toku testiranja



Slika 4: Grafik rezultata testiranja pri očekivanom opterećenju

U toku testiranja pri zadatom opterećenju utvrđeno je da se serverska strana aplikacije ponaša na način na koji je predviđeno. Postignuto prosečno vreme odgovora od 108 ms je daleko manje od zadatog okvira. Bez ikakvih optimizacija opterećenje sistema se dalje može povećavati skoro dva puta. Kod komercijalnih sistema sa najboljim performansama broj transakcija u sekundi se meri hiljadama. Može se zaključiti da jPOS frejmvork pruža odličnu, robusnu i skalabilnu osnovu, neophodnu za uspešan razvoj i eksploataciju aplikacija za elektronsko plaćanje.

6. ZAKLJUČAK

Aplikacija prikazana u ovom radu predstavlja pojednostavljenu verziju sistema koji se nalaze u komercijalnoj upotrebi, i kao takva zadovoljava deo bezbednosnih zahteva koji se primenjuju u produkcionom okruženju. Pored TLS-a, koji je već implementiran, može se implementirati i proces tokenizacije kako bi se poverljivi podaci dodatno zaštitili. U produkcionim okruženjima u kojima se koriste kartični podaci obavezna je primena PCI DSS i PA-DSS standarda (Simić, 2009). Pored toga, preporučuje se i enkripcija osetljivih podataka unutar baze. Ovu enkripciju moguće je izvršiti, na primer, AES algoritmom koji bi se primenio na nivou kolone. Međutim, treba napomenuti da bi ovakva enkripcija negativno uticala na performanse sistema, pre svega kod batch obrada podataka.

Na osnovu svega prethodno navedenog, kao i imajući u vidu porast globalne tendencije elektronskog plaćanja, izvodi se logičan zaključak da će trend elektronskog plaćanja, verovatno u ne tako dalekoj budućnosti, u potpunosti zameniti tradicionalne načine plaćanja. Ovaj proces znatno je ubrzan dešavanjima iz prethodne, 2020. godine, kada je ceo svet bio primoran da koristi usluge elektronskog plaćanja usled životnih uslova u doba pandemije virusa COVID-19. U prilog tome svedoči podatak da je u 2019. godini u

Švedskoj udeo elektronskog plaćanja u odnosu na ukupan broj izvršenih transakcija iznosio čak 87,2% (Statista, 2020). Savremeni stil života iziskuje potrebe za kreiranjem bržih i efikasnijih procesa koji se obavljaju svakodnevno. Prilagođavanje savremenim tendencijama koje donose dalje umrežavanje sistema za elektronsko plaćanje na globalnom nivou i poseban fokus na mobilna plaćanja postalo je neminovnost čoveka modernog doba koji želi da plaćanje proizvoda i usluga izvrši brzo, sigurno i sa minimalnim troškovima po transakciji.

LITERATURA

[1] Abrazhevich, D. (2004). *Electronic payment systems: a user-centered perspective and interaction design*. Technische Universiteit Eindhoven.

[2] Asaadi, H. R., Khosravi, R., Mousavi, M. R., & Noroozi, N. (2010). *Towards model-based testing of electronic funds transfer systems*. (Computer science reports; Vol. 1004). Technische Universiteit Eindhoven, https://pure.tue.nl/ws/files/3122614/676683.pdf

[3] Burhan Ul Islam Khan et al. (2017) *A Compendious Study of Online Payment Systems: Past Developments, Present Impact, and Future Considerations*, International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 8, No. 5, https://thesai.org/Downloads/Volume8No5/Paper_32-A_Compendious_Study_of_Online_Payment_Systems.pdf

[4] JPOS. (2021a). http://jpos.org/

[5] JPOS. (2021b). jPOS Programmer's Guide, http://jpos.org/doc/proguide-draft.pdf

[6] Kumari, S., Farheen, S. *Blockchain based Data Security for Financial Transaction System*. (2020) 4th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS), IEEE, **DOI:** 10.1109/ICICCS48265.2020.9121108

[7] NBS. (2021). *Подаци у вези са пружањем платних услуга и издавањем електронског новца*. http://nbs.rs/export/sites/NBS_site/documents/platni-sistem/statistika/el_novac/broj_korisnika.xlsx

[8] Simić, D. (2005a). *Reducing fraud in electronic payment systems*, Proceedings of the 7th Balkan Conference on Operational "Research" BACOR 5, Constanta, Romania, https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.532.3816&rep=rep1&type=pdf

[9] Simić, D. (2005b). *Electronic payment systems and security*, InfoM – časopis za informacione tehnologije i multimedijalne sisteme 2005, (15-16), str. 27-31

[10] Simić, D. (2009). *Proces primene PCI standarda*, InfoM – časopis za informacione tehnologije i multimedijalne sisteme 2009 (31)

[11] Statista. (2020). *Share of cash in total payment transactions in Sweden from 2000 to 2019*. https://www.statista.com/statistics/1095529/cash-use-in-sweden/

[12] Vlajić, S. (2015). *Пројектовање софтвера - скрипта*. Универзитет у Београду, Факултет организационих наука.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

MODEL INTERAKCIJE ČOVEKA I RAČUNARA KAO OSNOVA ZA UMANJENJE NEGATIVNIH EFEKATA APLIKACIJA SA VIRTUELNOM REALNOŠĆU

MODEL OF HUMAN/COMPUTER INTERACTION AS A BASIS FOR REDUCING THE NEGATIVE EFFECTS OF VIRTUAL REALITY APPLICATIONS

PREDRAG VELIČKOVIĆ[1], MILOŠ MILOVANOVIĆ[1]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, velickovic.predrag@gmail.com

Rezime: *Tehnologija sistema virtuelne realnosti beleži ubrzani razvoj i sve veće interesovanje poslednje decenije, ali ujedno su uočeni negativni simptomi i efekti koji se javljaju kod korisnika pri interakciji sa virtuelnim okruženjem koji izazivaju sve veću zabrinutost. Ranija istraživanja virtuelnih okruženja imala su fokus na razvoju i primeni same tehnologije, a tek poslednjih godina se akcenat stavlja na probleme pri korišćenju koji uključuju i ljudski faktor. Umanjenje problema sajber bolesti može doprineti lakšem i bezbednijem korišćenju virtuelnih aplikacija od strane korisnika, što doprinosi unapređenju tehnologije virtuelne realnosti, kao i oblasti interakcije čoveka i računara. Primarni cilj istraživanja je kreiranje modela interakcije čoveka i računara kao osnove za umanjenje negativnih efekata aplikacija sa virtuelnom realnošću na psihofizičke karakteristike korisnika radi poboljšanja korisničkog iskustva. Prethodna istraživanja su dala uvid da rad u virtuelnom okruženju ima potencijalne koristi, a ovim istraživanjem je ukazano na postojanje problema, ali su ponuđena i potencijalna rešenja za adaptaciju sistema virtuelne realnosti.*

Ključne reči: *Informacione tehnologije, virtuelna realnost, interakcija čoveka i računara.*

Abstract: *The technology of the virtual reality system has been recording rapid development and growing interest in the last decade, but at the same time negative symptoms and effects have been observed in users when interacting with the virtual environment, which are causing increasing concern. Earlier research on virtual environments has focused on the development and application of the technology itself, and only in recent years has emphasis been placed on usage problems involving the human factor. Reducing the problem of cyber disease can contribute to easier and safer use of virtual applications by users, which contributes to the improvement of virtual reality technology, as well as the area of human-computer interaction. The primary goal of the research is to create a model of human-computer interaction as a basis for reducing the negative effects of virtual reality applications on the psychophysical characteristics of users in order to improve the user experience. Previous research has provided insight that working in a virtual environment has potential benefits, and this research has indicated the existence of problems, but also offered potential solutions for adapting virtual reality systems.*

Keywords: *Information technology, virtual reality, human-computer interaction.*

1. UVOD

Tehnologija sistema vitruelne realnosti se ubrzano razvija, ali taj razvoj mogu da uspore negativni simpotomi i efekti koji se javljaju kod korisnika pri interakciji sa virtuelnim okruženjem (Veličković, Krsmanović Veličković & Milovanović, 2019). Pregled relevantne literature pokazuje da je problem koji nastaje prilikom korišćenja sistema virtuelne realnosti prisutan i da nije rešen. Postoji dovoljno izvora literature koji ukazuju na ozbiljnost problema i benefite koje bi donelo njegovo rešavanje ili umanjenje. Način navigacije i količina animacija i pokretnih elemenata značajno utiču na upotrebu vurtuelnog sistema (Veličković & Milovanović, 2021). Aldaba sa saradnicima (2017) ukazuje da način kretanja kroz virtuelno okruženje utiče na nivo bolesti simulatora koji se javlja kod korisnika. Tiro (2018) je u svom master radu zaključio da viši nivo detalja uzrokuje jače neslaganje čovekovog senzornog sistema i samim tim izaziva viši stepen sajber bolesti. Dejvic, Nesbit & Nalivaiko (2014) su ujedno u svom radu dokazali da viši nivo grafičkog realizma i pružanje većeg nivoa optičkog toka izaziva više problema vezanih sa problemom sajber bolesti.

Mera prostorne brzine je značajan prediktor sajber bolesti i može biti pogodna kvantifikaciona jedinica za kretanje vizuelne scene u virtuelnom okruženju (So, Ho & Lo, 2001). Nivo detalja, elementi i konfiguracija okruženja, kao i veća brzina kretanja ovih elemenata ukazuju da viši nivoi vizuelnog toka mogu biti odgovorni za povećanje mučnine (Davis, Nesbitt, Nalivaiko, 2015). Kretanje scene u virtuelnom okruženju može prouzrokovati značajno povećanje sajber bolesti i njegovo prisustvo može značajno ubrzati porast ocene mučnine tokom trajanja izloženosti. To sugeriše da ako se kretanje scene u virtuelnom okruženju može meriti i kvantifikovati, to može postati korisna prediktivna promenljiva u proceni nivoa sajber bolesti povezane sa određenom virtuelnom simulacijom (Lo & So, 2001).

Istraživanje potencijala minimiziranja sajber bolesti mapiranjem nivoa kontrole korisnika direktno na ona kretanja neophodna za izvršenje datog zadatka sugeriše da količina korisničke kontrole koja se pruža korisnicima virtuelnih okruženja ima značajan uticaj na nivo sajber bolesti (Stanney & Hash, 1998). Odgovori bilansa vekcije predviđaju sajber bolest u virtualnom okruženju. Otkriveno je da pomeranje kao odgovor na stimulacije vekcije ima najjaču prediktivnu moć za sajber bolest među svim sakupljenim merama. Ovaj rezultat predstavlja mogućnost korišćenja odgovora na vekciju kao jednostavan alat za predviđanje individualne osetljivosti na sajber bolest uz istovremeno izbegavanje mučnina (Weech, Parokaran Varghese & Barnett-Cowan, 2018).

2. MODEL INTERAKCIJE ČOVEKA I RAČUNARA U VIRTUELNIM APLIKACIJAMA

Kreiranje modela zahteva detaljnu i sveobuhvatnu analizu odnosa čoveka i računara u uzajamnoj interakciji. Dobar način je oslanjanje na postojeće priznate modele interakcije i njihovo proširenje i prilagođavanje novim potrebama. Neophodno je analizirati uticaj koji virtuelna realnost ima na korisnika, kao i njene specifičnosti. Virtuelna realnost je specifična i veoma kompleksna po pitanju interakcije iz razloga što je to tehnologija koja pruža punu uronjenost, pa samim tim ima mogućnost slanja i primanja veoma kompleksnih signala. Ta specifičnost virtuelnu realnost čini jednom od najkompleksnijih tehnologija po pitanju interakcije čoveka sa računarom. Kao referentni model odlučeno je da se koristi jedan od sveobuhvatnijih modela interakcije čoveka i računara koji je predložen u disertaciji Željka Obrenovića (Obrenović & Starčević, 2004).

Model interakcije čoveka i računara se deli u pakete i organizovan je u više nivoa (slika: Struktura objedinjenog modela komunikacije između čoveka i računara). Celine iz oblasti interakcije su opisane određenim paketom. Njihova uloga u sveobuhvatnom procesu interakcije čoveka i računara je logički grupisana po nivoima u skladu sa ljihovim ulogama. Organizacija je napravljena tako da paketi koriste koncepte sa istog ili nižeg nivoa, a kao uzor je korišćen koji se koristi u OMG (OMG - Object Management Architecture) arhitekturi, kao što je CWM (eng. Common Warehouse Metamodel), zaključuje Object Management Group (n.d.).

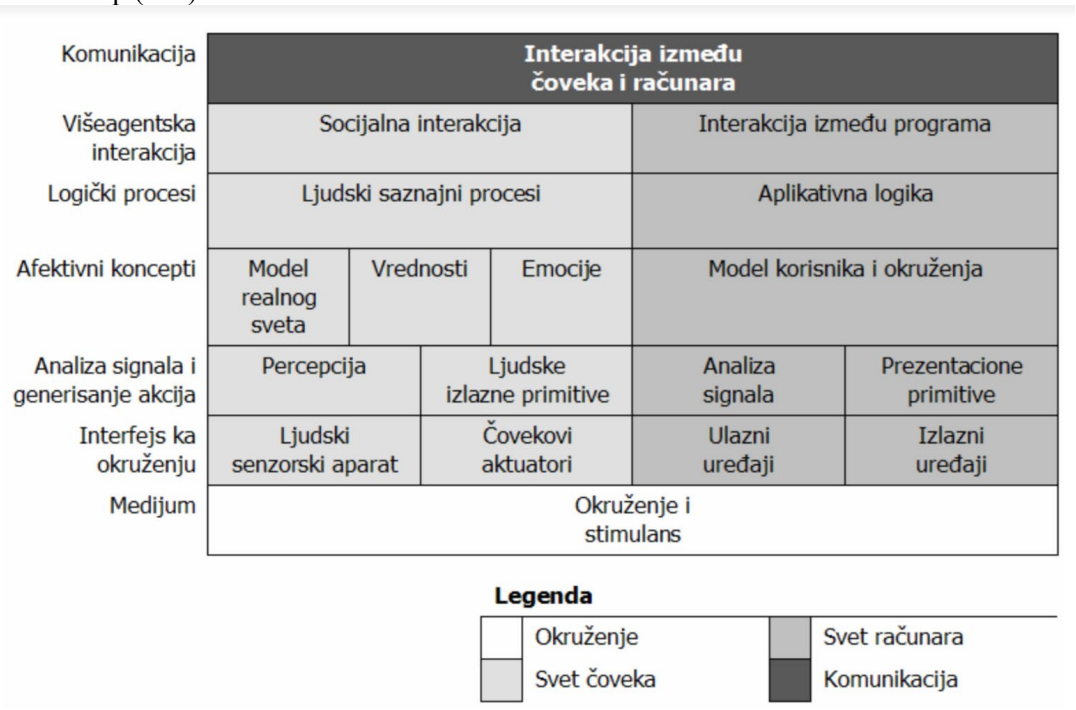


Tabela 1: Struktura objedinjenog modela komunikacije između čoveka i računara (Obrenović & Starčević, 2004)

Predloženi nivoi u našem modelu su (Obrenović & Starčević, 2004):

- nivo okruženja i stimulansa, označava osnovne uslove interakcije i fizička ograničenja;
- nivo interfejsa ka realnom svetu, definiše ulaze i izlaze interfejsa čoveka i računara ka realnom svetu;
- nivo analize singnala i generisanja akcija, predstavlja obradu signala od strane interfejsa kroz složene procese;
- nivo logičkih procesa, označava aplikativnu logiku računara i ljudske mentalne procese;
- nivo višeagentske interakcije, opisuje način interakcije većeg broja ljudi ili programa;
- nivo komunikacije između čoveka i računara, je nivo koji koristi sve elemente iz nižih nivoa, a iz tog razloga se nalazi na najvišem nivou modela. Predstavlja komunilaciju čoveka i računara kroz različite mehanizme.

Kako bi se rad sa ovim konceptima olakšao, dodatno su podeljeni u četiri grupe:

- okruženje - predstavlja lokacije, koncepte medija i prostore za interakciju,
- čovek - opisuje osećanja, percepciju i anatomiju čoveka,
- računar - predstalja ulazne i izlazne uređaje,
- komunikacija između čoveka i računara, opis konteksta interakcije i opis načina interakcije.

Kako bi se opisali elementi modela, mogu se podeliti u više naslednih klasa. Osnovni koncept klase elementa modela sadrži četiri podklase:

- element modelovanja okruženja,
- element modelovanja čoveka,
- element modelovanja računara,
- element modelovanja interakcije između čoveka i računara.

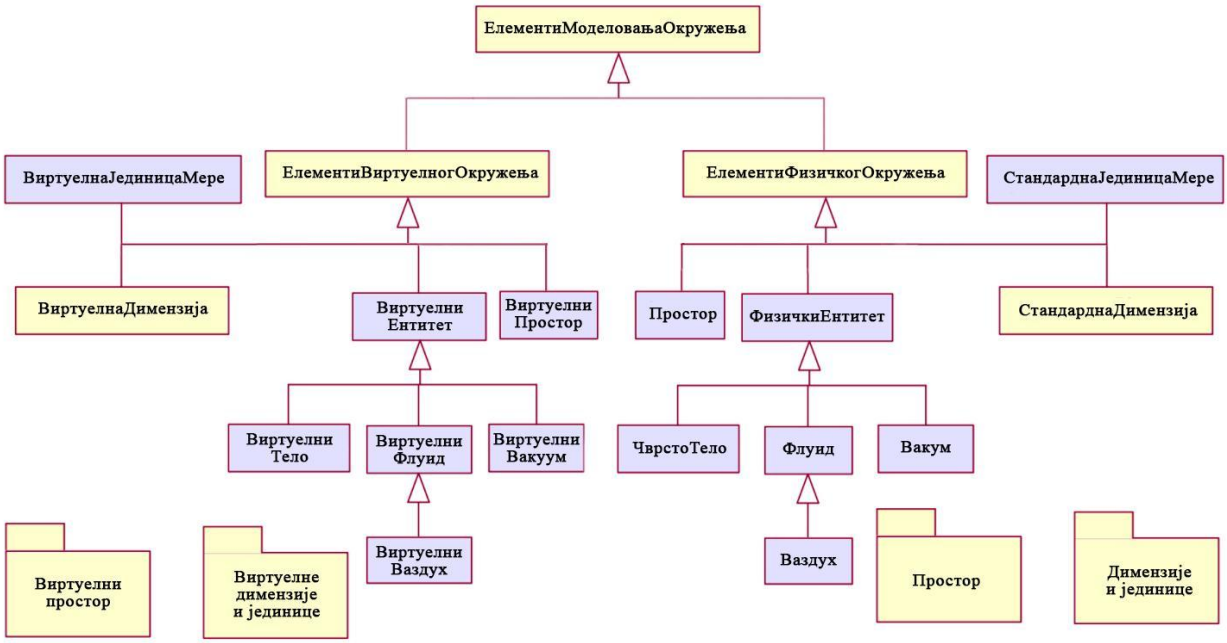
Svaka druga klasa modela nasleđuje neku od ove četiri klase.

2.1. Osnovni koncepti okruženja

Kao referencu predloženog modela interakcije korišćen je opšti i sveobuhvatni model predložen u disertaciji Željka Obrenovića (Obrenović & Starčević, 2004), koji je specijalizovan, proširen i prilagođen potrebama interakcije čoveka i računara u virtuelnim okruženjima. Referentni model je obuhvatao primitive vezane samo za interkciju u realnom okruženju, pa je bilo potrebno proširiti ga primitivama vezanim za virtuelno okruženje.

Osnovni koncept okruženja u okviru svog paketa ima dva osnovna elementa koji se potom dele na po četiri podelementa:

- elementi virtuelnog okruženja:
  - virtuelni prostor, gde je definisana veličina virtuelnog prostora, povezanost sa virtuelnim entitetima i tranformacije koje objekti u prostoru mogu imati;
  - virtuelni entitet, gde je definisano virtuelno telo, virtuelni fluid i virtuelni vakuum;
  - virtuelne dimenzije, definicija standardnih virtuelnih dimenzija, površina, dužina, vreme, masa, zapremina;
  - virtuelne jedinice mere, opis jedinica mera za standardne virtuelne dimenzije.
- elementi fizičkog okruženja:
  - fizički prostor, gde je definisana veličina samog prostora, povezanost sa fizičkim entitetima i tranformacije koje objekti u prostoru mogu imati;
  - fizički entitet, gde je definisano fizičko telo, fluid i vakuum;
  - standardne dimenzije, definicija standardnih fizičkih dimenzija, površina, dužina, vreme, masa, zapremina;
  - standardne jedinice mere, opis jedinica mera za standardne fizičke dimenzije.



Grafikon 1: Proširеni model okruženja sa virtuelnim okruženjem

2.2. Okruženje za interakciju

U ovom okruženju se fizički prostor definiše kao mesto u kojem se odvija fizička intarakcija čoveka sa računarom. Za detaljniji opis fizičkog okruženja imamo fizičke uslove, lokaciju, oblik i vrstu. Kada je u pitanju fizički prostor identifikovano je više mogućih okruženja za interakciju:

- soba, označava statičan izolovani prostor ograničenih dimenzija;
- vozilo, predstavlja pokretan izolovani prostor ograničenih dimenzija;
- javni prostor, je mesto bez ograničenja dimenzija u kome se nalaze drugi ljudi;
- otvoreni prostor, opisuje prostor bez ograničenja dimenzija u kome se ne nalaze drugi ljudi.

Fizički prostor za interakciju sadrži više uslova identifikovanih kroz tri osnovne grupe (Uslovi fizičkog okruženja):

- svetlosne karakteristike fizičkog okruženja - označava nivo vidljivosti i osvetljenja u fizičkom prostoru;
- zvučne karakteristike fizičkog okruženja - predstavlja parametre vezane za zvuk u fizičkom okruženju, nivo buke i karakteristike objekata u prostoru;
- stanje vazduha - definiše vlažnost, pritisak i temperaturu vazduha fizičkog okruženja. Ova karakteristika je bitna zbog uticaja na korisnika.

Model virtuelnog okruženja predstavlja proširenje referentnog modela interakcije čoveka i računara. Uvedeni su novi koncepti virtuelnog okruženja koji imaju uticaja na korisnike virtuelnog sistema. Na taj način je moguće utvrditi i definisati razlike koje postoje između fizičkog i virtuelnog okruženja koje mogu da dovedu do senzornih neslaganja i pojave sajber bolesti. U ovom okruženju se virtuelni prostor definiše kao mesto u kome se odvija interakcija čoveka sa računarom i predstavlja simulirani prostor u koji je korisnik do određene mere uronjen. Za detaljniji opis virtuelnog okruženja imamo virtuelne uslove, lokaciju, oblik i vrstu.

Kada je u pitanju virtuelni prostor, tu se identifikuje više primera specijalizacije okruženja za interakciju:

- virtuelna soba, označava statičan izolovani virtuelni prostor ograničenih dimenzija;
- virtuelno vozilo, predstavlja pokretan izolovani virtuelni prostor ograničenih dimenzija;
- virtuelni otvoreni prostor, opisuje virtuelni prostor bez ograničenja dimenzija u kome se ne nalaze drugi virtuelni entiteti.

Virtuelni prostor za interakciju sadrži više uslova, i mogu se identifikovati dve osnovne grupe (Uslovi virtuelnog okruženja):

- svetlosne karakteristike virtuelnog okruženja, označavaju nivo vidljivosti i osvetljenja u virtuelnom prostoru, što direktno utiče na svetlosne karakteristike koje uzrokuju promene u okruženju koje se vezuju za broj entiteta i količinu animacije, ali i linearno i rotaciono kretanje samog korisnika u toku navigacije kroz virtuelno okruženje;

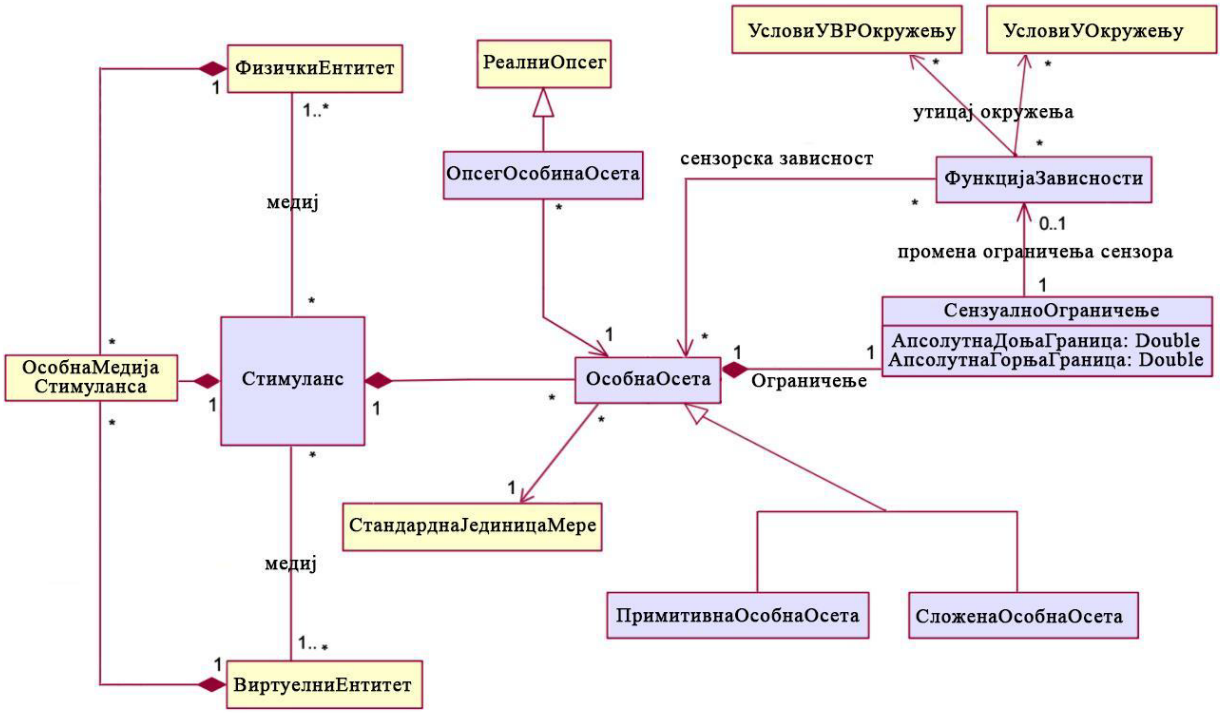
- звучне карактеристике virtuelnog okruženja, predstavljaju parametre vezane za zvuk u virtuelnom okruženju, nivo buke i karakteristike objekata u prostoru.

2.3. Stimulans i fizički medij

Za razliku od referentnog modela, koji uzima u obzir fizički entitet i uslove u fizičkom okruženju, predloženi model je proširen uslovima u virtuelnom okruženju i stanju virtuelnih entiteta. Uslovi u fizičkom i virtuelnom okruženju su na istom nivou iz razloga što se oseta percipira kroz ista čula i isti skup stimulansa. Ujedno se fizički i virtuelni entitet nalaze na istom nivou iz pomenutih razloga. Navedeni uslovi i entiteti stvaraju složenu osetu kod korisnika, različiti uticaji i stimulansi pružaju oprečne informacije ljudskom čulnom sistemu, pa ta razlika dovodi do pojave problema pri korišćenju sistema. Složena oseta koja nastaje korišćenjem virtuelnog sistema nastaje kao spoj različitih oseta koje dolaze iz dva pomenuta okruženja, pa samim tim nastaje konflikt ljudskog senzornog sistema.

Interakcija čoveka i računara predstavlja razmenu signala koje korisnik može da generiše ili oseti, pa se identifikuju stimulansi koji ih opisuju, a organizuju se u pet paketa:

- zajednički koncept stimulansa, predstavlja generičke stimulanse i njihova svojstva;
- vizuelni stimulans, opisuje svetlosne i vizuelne stimulanse;
- zvučni stimulans, definiše čujne stimulanse putem vibracija;
- mehanički stimulans, predstavlja prenos podataka preko mehaničkih komponenti;
- mirisni stimulans, označava prenos podataka koristeći mirisna svojstva gasova.



Grafikon 2: Stimulans

3. DISKUSIJA

Istražili smo deo problema kroz analizu određenih faktora virtuelnih okruženja, koji nastaje kod korišćenja aplikacija virtuelne realnosti, a odnosi se na interakciju čoveka i računara i dali predlog modela koji može da umanji njihov uticaj. Predstavili smo model interakcije čoveka i računara u virtuelnoj realnosti. U modelu su definisani faktori uticaja i optimizacijom njihovih vrednosti je moguće prilagoditi virtuelno okruženje korisniku. Cilj ovog modela je da umanji pojavu sajber bolesti adaptacijom faktora i njihovog uticaja pri interakciji sa virtruelnim okruženjima. Umanjenje problema sajber bolesti može doprineti lakšem i bezbednijem korišćenju virtuelnih aplikacija od strane korisnika, što doprinosi unapređenju same tehnologije virtuelne realnosti, kao i same oblasti interakcije čoveka i računara. Aplikacije virtuelne realnosti imaju različiti individualni uticaj, pa je iz tog razloga značajno definisanje modela kako bi se prilagođavanjem virtuelnog okruženja korisniku umanjila eventualna pojava negativnih simptoma. Optimizacijom načina

navigacije korisnika i broja pokretnih elemenata i njihove brzine kretanja u okruženju je moguće prilagoditi virtuelno okruženje korisniku radi umanjenja negatvinih efekata.

Definisani model izrađen je u skladu sa postojećim modelima interakcije čoveka i računara. Definisanju modela je prethodila detaljna i opsežna analiza literature, pa je ujedno i u skladu sa trenutnim relevantnim istraživanjima vezanim za probleme sajber bolesti. U modelu su identifikovani ključni faktori koji mogu uticati na pojavu sajber bolesti.

5. ZAKLJUČAK

Na kraju treba istaći da sva istraživanja virtuelne realnosti treba da teže nalaženju rešenje za unapređenju života na našoj planeti. Napredna tehnologija i njihovo korišćenje u korist progresa u društvu je danas neophodno. Utvrđeni problemi virtuelnog sistema, značaj i poremećaj funkcionisanja korisnika pri interakciji iziskuju opsežna istraživanja i primenu rezultata koja se moraju usmeriti ka zaštiti svesti i emocija korisnika kako novi instrumenti u virtuelnom prostoru ne bi služili za proizvodnju bolesti, već za zdrav, moralan i produktivan život ljudi.

LITERATURA

[1] Aldaba, C. N., White, P. J., Byagowi, A., Moussavi, Z. (2017). *Virtual reality body motion induced navigational controllers and their effects on simulator sickness and pathfinding.* 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Jeju, Korea (South). Str. 4175-4178. Preuzeto sa: https://ieeexplore.ieee.org/document/8037776

[2] Davis, S., Nesbitt, K., Nalivaiko, E. (2014). *A Systematic Review of Cybersickness.* IE2014: Proceedings of the Conference on Interactive Entertainment. Str. 1-9. Preuzeto sa: https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2677780

[3] Davis, S., Nesbitt, K., Nalivaiko, E. (2015). *Comparing the onset of cybersickness using the Oculus Rift and two virtual roller coasters*. Proceedings of the 11th Australasian Conference on Interactive Entertainment, Sydney, Australia. Preuzeto sa: https://crpit.scem.westernsydney.edu.au/confpapers/CRPITV167Davis.pdf

[4] Lo, W. T., So, R. H. Y. (2001). Cybersickness in the presence of scene rotational movements along different axes. *Appl Ergon 32*(1). Str. 1-14. Preuzeto sa: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11209825

[5] Object Management Group (n.d.). *Common Warehouse Metamodel*. Preuzeto 12.03.2021. sa: https://www.omg.org/spec/CWM/About-CWM/

[6] Obrenović, Z., Starčević, D. (2004). Modeling multimodal Human-Computer interaction. *IEEE Computer, 37*(9). Str. 62-69. Preuzeto sa: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1333009/authors#authors

[7] So, R. H. Y., Ho, A., Lo, W. T. (2001). A Metric to Quantify Virtual Scene Movement for the Study of Cybersickness: Definition, Implementation, and Verification. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments 10*(2). Str. 193–215. Preuzeto sa: https://www.mitpressjournals.org/doi/abs/10.1162/105474601750216803

[8] Stanney, K.M., Hash, P. (1998). Locus of User-Initiated Control in Virtual Environments: Influences on Cybersickness. *Presence, vol. 7*, no. 5. Str. 447-459. Preuzeto sa: https://ieeexplore.ieee.org/document/6788087

[9] Tiiro, A. (2018). *Effect of Visual Realism on Cybersickness in Virtual Reality*. Master rad. University of Oulu, Faculty of Information Technology and Electrical Engineering. Preuzeto sa: http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201802091218.pdf

[10] Veličković, P., Krsmanović Veličković, S., Milovanović, M. (2019). Teorije nastanka problema pri korišćenju sistema virtuelne realnosti. *Info M, No. 70*. Preuzeto sa: https://147.91.134.42/index.php/infom/article/view/2387

[11] Veličković, P., Milovanović, M. (2021). Improvement of the Interaction Model Aimed to Reduce the Negative Effects of Cybersickness in VR Rehab Applications. *Sensors 21*(2). Str. 321. Preuzeto sa: https://www.mdpi.com/1424-8220/21/2/321

[12] Weech, S., Parokaran Varghese, J., Barnett-Cowan, M. (2018). Estimating the sensorimotor components of cybersickness. *J Neurophysiol 120*. Str. 2201–2217. Preuzeto sa: https://journals.physiology.org/doi/pdf/10.1152/jn.00477.2018

Istraživanje i razvoj

Research and Development

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

PROMENE U POSLOVNOM MODELU I NAČINU ZADOVOLJENJA NOVIH POTREBA KUPACA UZROKOVANE NOVOM DIGITALNOM EROM

CHANGES IN THE BUSINESS MODEL AND THE WAY OF MEETING THE NEW NEEDS OF CUSTOMERS CAUSED BY THE NEW DIGITAL ERA

TEODORA IVANOVIĆ[1]

[1] Ekonomski fakultet, Subotica, ivanovicteodora@gmail.com

Rezime: *Razvojem digitalnih tehnologija stvorile su se nove mogućnosti za poboljšanje poslovanja kao i za unapređenje konkurentnosti na dinamičnom tržištu. Kompanije su prepoznale njihove koristi kao mogućnost potencijalnog razvoja internih procesa (dodavanje novih vrednosti proizvodima i uslugama) ali isto tako i eksternih u vidu šireg obima kupaca, dobavljača, partnera što dalje može da utiče na promene u čitavoj industriji (Ivančić et al., 2019). Korišćenjem digitalnih tehnologija menja se način proizvodnje robe, pružanja usluga, funkcionisanja procesa, komunikacije sa kupcima ili čak celokupan poslovni model. Promene koje se dešavaju uzrokovane su novom digitalnom erom koja se zove „Četvrta industrijska revolucija" (Wiesböck & Hess, 2020).Cilj ovog rada jeste da se odgovori na istraživačka pitanje koje sve promene u poslovnom modelu nastaju kao posledica primene digitalnih tehnologija u poslovanju, kao i kako primena digitalnih tehnologija utiče na način zadovoljenja novih potreba kupaca?U radu je izvršen sistematski pregled literature kako bi se dobili relevantni odgovori na prethodno postavljena istraživačka pitanja. Na kraju analize literature identifikovano je 16 relevantnih radova, na osnovu kojih su autori pokušali da odgovore na pitanja. Ovaj rad treba da doprinese proširenju znanja o digitalnim tehnologijama i promenama do kojih one dovode u kompanijama, u samom poslovnom modelu. Kao rezultat treba da se stvori jasnija slika kakve sve promene nastaju u poslovanju i načinu zadovoljenja novih potreba kupaca kao posledica nove digitalne ere.*

Ključne reči: *digitalna transformacija, poslovni model, digitalna era*

Abstract: *The development of digital technologies has created new opportunities to improve business as well as to improve competitiveness in a dynamic market. Companies have recognized their benefits as an opportunity to potentially develop internal processes (adding new values to products and services) but also external ones in the form of a wider range of customers, suppliers, partners which can further influence changes in the entire industry (Ivančić et al., 2019). The use of digital technologies changes the way goods are produced, services are provided, processes function, communication with customers or even the entire business model. The changes that are taking place are caused by a new digital era called the "Fourth Industrial Revolution" (Wiesböck & Hess, 2020).The aim of this paper is to answer the research question which changes in the business model occur as a result of the application of digital technologies in business, as well as how the application of digital technologies affects the way to meet new customer needs?The paper performs a systematic review of the literature in order to obtain relevant answers to previously posed research questions. At the end of the literature analysis, 16 relevant papers were identified, on the basis of which the authors tried to answer the questions. This paper should contribute to the expansion of knowledge about digital technologies and the changes they bring to companies, in the business model itself. As a result, a clearer picture should be created of all the changes that occur in business and the way of meeting new customer needs as a result of the new digital era.*

Keywords: *digital transformation, business model, digital era*

1. UVOD

Period od kada kompanije žele da implementiraju digitalnu tehnologiju u poslovanju do momenta kada se to zaista desi se zove digitalna transformacija, ona sa sobom vuče određene organizacione promene koju su uzrokovane digitalnim tehnologijama (Fichman et al. 2014; Legner et al. 2017; Wiesböck 2018). Digitalna transformacija podrazumeva korišćenje novih digitalnih tehnologija kao što su Big data, veštačka inteligencija, Cloud, Blockchain, IoT i mnoge druge nove digitalne tehnologije, koje omogućuju

kompanijama da se fokusiraju na kupce i njihova iskustva kroz nov poslovni model (Warner & Wäger, 2019). Faktori koji omogućuju uspešnu realizaciju digitalne transformacije u kompanijama su promene u organizacionoj strukturi, digitalnoj platformi, načinu poslovanja i kulturi poslovanja (Wiesböck & Hess, 2020). Inovacije koje nastaju kao posledica su digitalizacija proizvoda što rezultira dodavanje novih softverskih komponenti na uređaje, čime se dramatično menja njihovo korišćenje, dizajn i proizvodnja (Warner & Wäger, 2019). Razvoj digitalnih tehnologija je uticao na stvaranje novih vrednosti čime se proširuje uticaj na tržište i na taj način se menja i korisničko iskustvo (Li, 2020). Digitalne tehnologije su ključni pokretač u četvrtoj industrijskoj revoluciji i promene do kojih dovode mogu biti različite. Neke od njih su promene u poslovnom modelu i zahtevima kupaca, čime se ovaj rad bavi.

Poslovni model predstavlja strategiju upravljanja aktivnostima kompanije kao i način vršenja komunikacije sa dobavljačima, partnerima i kupcima (Müller et al., 2018). Do promena u poslovnom modelu je došlo tako što su se promenili procesi u skladu sa kombinacijom razvoja digitalnih tehnologija i promena u tražnji kupaca i proizvodnih mogućnosti što utiče na menjanje plana poslovanja (Wiesböck & Hess, 2020). Koji poslovni model je potrebno primeniti zavisi od više faktora. Veoma je bitno da kompanije koje žele da izvrše digitalnu transformaciju znaju koje sve promene nastaju u poslovnom modelu kao i koji su rezultati upotrebe i korišćenja digitalnih tehnologija. Na osnovu takvih informacija one bi mogle da odrede šta žele u svom poslovanju da promene. U skladu sa prethodno iskazanim problemima prvo istraživačko pitanje glasi:

IP1: Koje promene u poslovnom modelu nastaju kao posledica primene digitalnih tehnologija u poslovanju?

Drugo istraživačko pitanje koje se postavlja u ovom radu glasi:

IP2: Kako primena digitalne tehnologije utiče na način zadovoljenja novih potreba kupaca?

Na osnovu postavljenih istraživačkih pitanja i odgovora koji su obrazloženi u radu, cilj jeste da se prikažu vladajući stavovi o predloženoj temi kako bi naučna zajednica bila upoznata sa trenutnom situacijom u ovoj oblasti i takođe da na osnovu ovog rada kompanije mogu da imaju bolji uvid u promene koje se mogu desiti primenom digitalnih tehnologija u poslovanju i da na taj način budu svesne pripremnih radnji koje su potrebne za menjanje i uvođenje digitalne tehnologije.

2. METODOLOGIJA

U radu je primenjena metodologija sistematskog pregleda literature koja je u skladu sa preporukama iz rada „Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain“ autora (Brereton et al., 2007). Protokol sistematskog pregleda literature uključuje sledeće navedene korake:

1. Definisanje istraživanja

Istraživačka pitanja koja su razmatrana u ovom radu su:
IP1: Koje promene u poslovnom modelu nastaju kao posledica primene digitalnih tehnologija u poslovanju?
IP2: Kako primena digitalne tehnologije utiče na način zadovoljenja novih potreba kupaca?

2. Pronalaženje relevantnog istraživanja

Procese pretrage relevantne literature na ovu temu je vođen preko elektronske biblioteke Google Scholar i Kobson. Radovi su prvo odabrani po ključnim rečima, zatim po naslovu, apstraktu i na kraju zaključku. Pretraga radova izvršena je prema ključnim rečima na engleskom jeziku, zbog malog broja dostupnih radova za ovu temu na srpskom jeziku.

3. Definisanje kriterijuma za uključivanje i isključivanje radova

Radovi uključeni u istraživanje objavljeni su u periodu od 2010-2020. godine. Pored vremenskog perioda, kriterijumi koje su radovi morali da zadovolje su to da su objavljeni u naučnom časopisu ili zborniku konferencije. U prvoj fazi je pronađeno 847 radova, u sledećem koraku odabrano je 208 radova koji se smatraju relevantnim za temu istraživanja na osnovu naslova. Sledeći kriterijum se odnosio na izbor radova na osnovu apstrakta i odabrana su 35 naučna rada. Prema standardu apstrakt koji je predložen u radu

"Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain" autora (Brereton et al., 2007) i koji se odnosi na informatičku tehnologiju nije dovoljno da se naučni radovi radovi izaberu samo po čitanju apstrakta nego je potrebno pročitati i zaključak. Nakon prethodne faze, čitanja zaključka, odabrano je 16 relevantnih radova.

4. Kvalitativna evaluacija

Sistematski pregled literature kvalitativno se procenjuje korišćenjem kriterijuma razvijenih na York University, Center for Reviews and Disseminatiion (CDR) Database of Abstracts of Reviews of Effects (DARA) koji se bazira na četiri kriterijuma koje radovi u istraživanju moraju da ispune.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Postoji više pokretača digitalne transformacije, kao što su promene u tehnologiji, pojave novog poslovnog modela, promene očekivanja kupaca, itd. (Valdez-de-Leon, 2016). Digitalna transformacija preispituje stare procese i transformiše ih u nove, promene do kojih dolazi mogu biti različite (Schallmo et al., 2017). Digitalne tehnologije imaju velik uticaj na promene u poslovanju, zato kompanije moraju da se prilagode novom okruženju i da stave kupca u fokus, jer poslovne modele u budućnosti će odrediti krajnji kupac (Schallmo et al., 2017). U ovom delu rada navodimo koji sve autori pominju promene koje nastaju u poslovnom modelu kao posledica korišćenja digitalnih tehnologija u poslovanju. Poslovni model objašnjava na koji način kompanija pruža vrednosti kupcima i partnerima, na koji način kompanija zarađuje kao i kako kompanije uspevaju da se razlikuju od svojih konkurenata i da postižu konkurentsku prednost (Schallmo et al., 2017).

Promene koje nastaju u poslovnom modelu kao posledica digitalne transformacije autor (Schallmo et al., 2017) navodi: digitalno prikupljanje, obrada i analiza podataka kako bi se brže i bolje donele i predviđale buduće odluke. Zatim automatizacija tradicionalnih procesa, što znači da se od klasične tehnologije prelazi na veštačku inteligenciju koja smanjuje greške i povećava brzinu izvršenja radnji. Poslednju promenu koju autor (Schallmo et al., 2017) navodi jeste umrežavanje čitavog poslovanja, gde se uz pomoć mobilnih tehnologija ceo lanac dodatne vrednosti povezuje i na taj način sinhronizuje, rezultat ovakvih promena jeste smanjenje vremena proizvodnje i čitavog ciklusa proizvodnje (Schallmo et al., 2017).

Autor (Baber et al., 2019) ističe da se digitalna transformacija sprovodi kroz implementaciju digitalnih tehnologija čime se utiče na iskustva potrošača, operativne procese i poslovni model. Kupci pod uticajem digitalne ere traže nove digitalne inovacije koje su u skladu sa novim potrebama na tržištu (Baber et al., 2019). Promene koje nastaju u poslovnom modelu pod uticajem korišćenja digitalnih tehnologija su sledeće: menjanje procesa nabavke, proizvodnje, prodaje; automatizacija proizvodnog procesa, proširenje proizvodnog asortimana, integrisanje svih učenika, kupaca i dobavljača pomoću digitalnih tehnologija (Baber et al., 2019). Autor navodi da u poslovnom modelu nastaju promene između dobavljača, kupaca, menadžmenta, marketinga, isporuke i prodaje što utiče na samo iskustvo kupca na osnovu kog on menja svoje potrebe (Baber et al., 2019). Promene koje nastaju kao posledica menjanja poslovnog modela su: proširenje tržišta, fokus na kupce i pružanje dodatne vrednosti, proširenje već postojećeg modela tako da tržište postane globalo (Baber et al., 2019).

Autori (Verhoef & Bijmolt, 2019) ističu da do digitalne transformacije poslovnog modela dolazi usled povećanja konkurencije, promene u ponašanjima kupaca i razvoju digitalnih tehnologija. Kompanije koje implementiraju digitalne tehnologije u svoje poslovanje, menjaju svoj način stvaranja vrednosti za kupce čime se utiče na drugačiji pristup tržištu (Verhoef & Bijmolt, 2019). Autori ističu da u poslovnim modelima može doći do sledećih promena: načinu zadovoljenja potreba kupaca, prodaji proizvoda i usluga, načinu kupovine od strane kupaca, komunikaciji između kupaca i kompanije kao i svih učenika u procesu, načinu plaćanja, promene asortimana proizvoda (sužavanje ili proširenje asortimana), marketinga i poslovne strategije (Verhoef & Bijmolt, 2019). Kao rezultat digitalne transformacije kompanije se suočavaju sa velikom konkurencijom i stvaranjem monopolističkog tržišta. Promene u zahtevima kupaca utiču na kompanije da često menjaju svoje asortimane (Verhoef & Bijmolt, 2019).

Autor (Stjepić et al., 2020) u svom radu ističe da je digitalna transformacija koncept koji uključuje digitalne, organizacione i strateške promene. Promene koje se moraju desiti kao posledica digitalne transformacije u poslovnom modelu su sledeće: nov način stvaranja vrednosti, strukturne promene, automatizacija uz pomoć digitalnih tehnologija, menjanje finansijskih modela (Stjepić et al., 2020). Više nije neophodno da se stvori inovativni poslovni model da bi se desila digitalna transformacija, sada je moguće izmeniti postojeći model uz pomoć digitalnih tehnologija i stvoriti nov način poslovanja (Stjepić et al., 2020). On ističe nekoliko komponenti koje se menjaju u poslovnom modelu u toku digitalne transformacije:

kupac, ekosistem i poslovne operacije, na osnovu čega se poslovni model digitalizuje i unapređuje (Stjepić et al., 2020).

Promene u poslovnom modelu kao rezultat donose redizajn poslovne strategije i strategije upravljanja (Li, 2020). Novi poslovni modeli treba da stvore novu vrednost za proizvod i uslugu ili da kreiraju novi način proizvodnje i isporuke. Digitalne tehnologije su ključni pokretač inovacije u poslovnom modelu čime utiču na transakcije, organizacione modele, procese itd. Autor (Li, 2020) navodi da promene u poslovnom modelu mogu biti: automatizacija, proširenje i transformacija. Pod automatizacijom se podrazumeva da proizvod ili usluga kompanije ostaje isti samo se automatizacija primenjuje u nekim segmentima proizvodnje. Proširenje poslovnog modela znači da dolazi do stvaranja novih proizvoda uz pomoć digitalnih tehnologija ali glavni proizvod se i dalje pravi isto. Transformacija je slučaj kada se digitalna tehnologija koristi za stvaranje novog proizvoda koji će da zameni originalni. Većina kompanija ili proširi ili automatizuje poslovni model ali retko ko transformiše (Li, 2020). Autor (Li, 2020) ističe da postoje tri načina promene poslovnog modela kao posledica primene digitalnih tehnologija: prvi jeste potpuno novi proizvod, nova ideja, drugi jeste preuzimanje modela iz jedne industrije i primena u drugoj industriji i treći model je prilagođavanje trenutnog poslovnog modela novim izazovima i otklanjanje barijera za prelazak na dalji razvoj i napredak poslovanja (Li, 2020).

Promene koje se dešavaju digitalnom transformacijom obuhvataju menjanje sledećih elemenata: poslovna strategija, promena zahteva kupaca, organizaciona struktura, poslovna kultura i inovacione promene u proizvodnji (Ivančić et al., 2019). Poslovna strategija mora da se prilagođava inovacija i promenama na tržištu ukoliko kompanija želi da opstane. Kako bi digitalna transformacija mogla uspešno da se realizuje svi učesnici moraju da se obučavaju za nove digitalne tehnologije čime se utiče na menjanje poslovne kulture kompanije (Ivančić et al., 2019). Obzirom da su zahtevi kupaca drugačiji i da se menja pristup prema kupcima kompanije su prinuđene da organizacionu strukturu prilagode novim uslovima tržišta (Ivančić et al., 2019).

Tabela broj 1: Uporedni prikaz vladajućih stavova na prvo istraživačko pitanje

Autori	Promene	Rezultati
(Schallmo et al., 2017)	• Digitalno prikupljanje, obrada i analiza podataka • Automatizacija tradicionalnih procesa • Povezivanje svih učenika u poslovanje uz pomoć novih digitalnih tehnologija (mobilne platforme)	• Konkurentsku prednost • Brže i bolje donošenje i predviđanje budućih odluka • Manji procenat greške • Veća brzina izvršavanja posla • Povezivanje celokupnog lanca dodatne vrednosti • Smanjeno vreme proizvodnje i čitavog ciklusa
(Baber et al., 2019)	• Promena u procesu nabavke, proizvodnje, prodaje • Automatizacija proizvodnog procesa • Proširenje proizvodnog asortimana • Integrisanje svih učenika, kupaca i dobavljača pomoću digitalnih tehnologija • Dodavanej nove vrednosti proizvodu ili uslugama	• Proširenje tržišta • Fokus na kupce i njihove zahteve • Proširenje proizvodnog plasmana • Bolja komunikacija učesnika u proizvodnom procesu • Agilnost kompanije • Novi i brži kanali komunikacije i obrade podataka
(Verhoef & Bijmolt, 2019)	• Promene u zahtevima kupaca • Promena načina prodaje • Promena načina kupovine • Međusobna komunikacija između kupaca i kompanije kao i svih učenika u procesu, zahvaljujući novim tehnologijama • Nov način plaćanja • Promene asortimana proizvoda (sužavanje ili proširenje asortimana) • Drugačija marketing strategija • Drugačija poslovna strategija	• Globalizacija tržišta • Veći stepen prodaje • Inovativna i veća vrednost za kupce • Agilniji pristup tržištu • Online naplata • Menjanje usmerenja kompanije

(Stjepić et al., 2020)	• Digitalne, organizacione i strateške promene • Promene u načinu stvaranja vrednosti za kupca (dodavanje digitalnih vrednosti proizvodu) • Promena organizacione strukture • Automatizacija uz pomoć digitalnih tehnologija • Menjanje finansijskih modela • Povezivanje kupca i kompanije	• Unapređenje poslovnog modela kroz strateške promene • Fokus na kupcu • Stvaranje vrednosti koje su inovativne i za kojima postoji potreba na tržištu
(Li, 2020)	• Inovacija proizvoda i usluga (automatizacija, proširenje i transformacija) • Promena u načinu proizvodnje i isporuke • Menjanje poslovniih procesa u skladu sa digitalnim inovacijama	• Redizajn poslovnog modela čime se utiče na poslovnu strategiju i način upravljanja • Brže prilagođavanje promenama i novim izazovima • Oklanjanje barijera za dalji napredak i razvoj
(Ivančić et al., 2019)	• Menjanje poslovne strategije • Menjanje zahteva kupaca • Promena poslovne kulture • Organizacione promene • Implementacija digitalnih tehnologija u proizvode i usluge	• Prilagođavanje novim inovacijama • Obučeni kadrovi za rad na novim digitalnim uređajima • Promenjena poslovna kultura u skladu sa inovacijama • Organizaciona stuktura je prilagođena tržištu

Tokom 1990-e i 2000-e godine kupovine su se uglavnom obavljale u radnjama (fizičkim objektima) gde bi se plaćalo gotovinom. Velika promena je nastala nakon tog vremenskog perioda kada je krenuo razvoj digitalnih tehnologija i pametnih uređaja i kao rezultat došlo je do drastičnih promena u načinu na koji kupci komuniciraju sa preduzećima kao i očekivanjima kupaca u vremenu odaziva i dostupnosti na društvenim mrežama i na internetu (Schallmo et al., 2017). Može se primetiti da je digitalni pristup kupcima, preko interneta, omogućio direktan pristup kompanijama što kao rezultat izazvalo potpuno drugačiji nivo usluga nego što je pre u tradicionalnoj prodaji postojalo. Kupci traže proizvode ili usluge na internetu i žele kupovinu da obavljaju online koja ima osobine brze i povoljne kupovine. Smatra se da je nabavka preko interneta mnogo praktičnija nego tradicionalna (Bouwman et al., 2019).

Autor (Li, 2020) navodi da kupci imaju velika očekivanja obzirom da su podaci o proizvodima široko dostupni i njihova znanja o novim tehnologijama su velika što utiče na sve veću potražnju za personalizovanim proizvodima i uslugama, dok je posledica plaćanje različitih cena u zavisnosti od nivoa ekskluzivnosti. Autor (Baber et al., 2019) ističe da promene koje takođe nastaju, zbog promena zahteva kupca, su u vezi isporuke vrednosti, kupci žele da proizvod ili usluga budu odmah dostupni. Kao rezultat ovih promena kompanije moraju da se fokusiraju da isporuka bude brza, jeftina i da konstantno postoji razvoj novog proizvoda (Baber et al., 2019). Postoji dosta primera liderskih kompanija koje su već postojećim uslugama i robi promenili poslovni model i napravili ogromnu promenu. To je slučaj sa platformama koje imaju za cilj da kupcima isporuče veću vrednost uz niži nivo troškova bez većih tehnoloških promena stvarnog proizvoda. Uber je kompanija koja je promenila tržište pružajući pogodnosti kupcima pomoću aplikacije po nižoj ceni (Baber et al., 2019). Jasno je da digitalni razvoj ima dubok uticaj na kupce i njihove zahteve.

Autor (Baber et al., 2019) u svom radu navodi da korišćenjem digitalnih tehnologijama se pored isporuke promenila i nabavka, kupci kako bi saznali nešto više o proizvodu pre kupovine pretražuju komentare drugih ljudi o tom proizvodu. Statistika pokazuje da čak 57% kupovine se završi pri prvom kontaktiranju prodajnog centra, objašnjenje je da se kupci mnogo raspitaju o proizvodu pre nego što odluče da ga kupe i kada to odluče tačno znaju šta žele (Ruggieri et al., 2018).

Digitalna transformacija dovodi do promene karakteristika postojećih proizvoda ili usluga i na taj način menja upotrebu na koju su postojeći kupci navikli, ovakvim pristupom se stvaraju nove potrebe kod kupaca. Autor (Ruggieri et al., 2018) navodi u svom radu da postoje platforme koje imaju mogućnost analiziranja velike količine podataka i razmene istih, čime omogućuju brzu pretragu rešenja koje zadovoljavaju nove potrebe kupaca. Platforme se mogu efikasno koristi tako što se stvaraju vrednosti putem društvenih mreža. Kupci pristupaju platformi i sami stvaraju dodatnu vrednost za svakog drugog kupca na platformi i dolazi do mrežnog efekta (Ruggieri et al., 2018).

5. ZAKLJUČAK

Razvoj savremenih digitalnih tehnologija utiče na poslovanje kompanija koje su prinuđene da traže inovativna rešenja kako bi opstala na tržištu. Kao što se u radu navodi najveća promena koja je prisutna kao

posledica primene digitalnih tehnologija je stavljanje fokusa na nove potrebe i zahteve kupaca. Odgovor na prvo istraživačko pitanje prikazuje da su svi navedeni autori prepoznali da fokus u novom digitalnom poslovnom modelu mora da bude usmeren na potrebe krajnjih kupaca. Kupci u današnje vreme žele da proizvodi i usluge budu što kvalitetniji, inovativniji, povoljniji i da isporuka bude brza. Želje i potrebe kupaca se menjaju velikom brzinom i zato se u ovom radu akcenat stavlja na agilnost kompanije i postavljanje poslovnog modela tako da bude fleksibilan na promene u svakom trenutku. Autori su istakli da su promene u zahtevima kupaca glavnom povezane sa načinom na koji se obavlja nabavka, prodaja i plaćanje proizvoda i usluga. Velika informisanost kupaca je ključna u današnjem vremenu, što povećava značaj analiziranja podataka i korisničkog iskustva kako bi se spoznale njihove potrebe.

Na osnovu ovog rada se može zaključiti da u današnje vreme gde se oseti važnost svakog sekunda bitno je da se iskoriste svi podaci koji nastanu u poslovanju, kako bi se ispunila očekivanja kupaca. Omogućavanje krajnjim kupcima da sami istraže podatke, u bilo koje vreme, na način koji oni žele i da sami pronađu odgovor je cilj koji se ostvaruje novim poslovnim modelom koji je nastao primenom digitalnih tehnologija u poslovanju. Novi način poslovanja pruža više mogućnosti kompanijama da iskoriste sve prednosti koje im se pružaju na tržištu uz pomoć savremenih alata i tehnologija. Obukom krajnjih korisnika i upotrebom modernih alata se mogu mnogo bolje iskoristiti resursi kako finansijski tako i vremenski i time uticati na veću efikasnost i produktivnost čitavog poslovanja, a samim tim i zadovoljenja potreba krajnjih kupaca.

LITERATURA

[1] Baber, W. W., Ojala, A., & Martinez, R. (2019). Effectuation logic in digital business model transformation: Insights from Japanese high-tech innovators. *Journal of Small Business and Enterprise Development*, *26*(6–7), 811–830. https://doi.org/10.1108/JSBED-04-2019-0139

[2] Berman, S. J. (2012). Digital transformation: Opportunities to create new business models. *Strategy and Leadership*, *40*(2), 16–24. https://doi.org/10.1108/10878571211209314

[3] Bouwman, H., Nikou, S., & de Reuver, M. (2019). Digitalization, business models, and SMEs: How do business model innovation practices improve performance of digitalizing SMEs? *Telecommunications Policy*, *43*(9), 101828. https://doi.org/10.1016/j.telpol.2019.101828

[4] Brereton, P., Kitchenham, B. A., Budgen, D., Turner, M., & Khalil, M. (2007). Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. *Journal of Systems and Software*, *80*(4), 571–583. https://doi.org/10.1016/j.jss.2006.07.009

[5] Fichman, R. G., Dos Santos, B. L., & Zheng, Z. (2014). Digital innova-tion as a fundamental and powerful concept in the information sys- tems curriculum. MIS Quarterly, 38(2), 329–343.

[6] Ivančić, L., Vukšić, V., & Spremić, M. (2019). Mastering the Digital Transformation Process: Business Practices and Lessons Learned. *Technology Innovation Management Review*, *9*(2), 36–50. https://doi.org/10.22215/timreview/1217

[7] Li, F. (2020). The digital transformation of business models in the creative industries: A holistic framework and emerging trends. *Technovation*, *92–93*(January), 1–10. https://doi.org/10.1016/j.technovation.2017.12.004

[8] Müller, J. M., Buliga, O., & Voigt, K. I. (2018). Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, *132*(January), 2–17. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.12.019

[9] Ruggieri, R., Savastano, M., Scalingi, A., Bala, D., & D'Ascenzo, F. (2018). The impact of Digital Platforms on Business Models: An empirical investigation on innovative start-ups. *Management and Marketing*, *13*(4), 1210–1225. https://doi.org/10.2478/mmcks-2018-0032

[10] Schallmo, D., Williams, C. A., & Boardman, L. (2017). Digital transformation of business models-best practice, enablers, and roadmap. *International Journal of Innovation Management*, *21*(8), 1–17. https://doi.org/10.1142/S136391961740014X

[11] Stjepić, A.-M., Ivančić, L., & Vugec, D. S. (2020). Mastering digital transformation through business process management: Investigating alignments, goals, orchestration, and roles. In *Journal of Entrepreneurship, Management and Innovation* (Vol. 16, Issue 1). https://doi.org/10.7341/20201612

[12] Valdez-de-Leon, O. (2016). A digital maturity model for telecommunications service providers. Technology Innovation Management Review, 6(8), 19- 32. http://doi.org/10.22215/timreview/1008

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

MERE POLITIKE ISTRAŽIVANJA I INOVACIJA EVROPSKE UNIJE TOKOM COVID-19 PANDEMIJE

MEASURES OF THE EU RESEARCH AND INNOVATION POLICY DURING THE COVID-19 PANDEMIC

DIJANA ŠTRBAC[1], LAZAR ŽIVKOVIĆ[2], ĐURO KUTLAČA[3]

[1] Univerzitet u Beogradu, Institut „Mihajlo Pupin“, Beograd, dijana.strbac@pupin.rs
[2] Univerzitet u Beogradu, Institut „Mihajlo Pupin“, Beograd, lazar.zivkovic@pupin.rs
[3] Univerzitet u Beogradu, Institut „Mihajlo Pupin“, Beograd, djuro.kutlaca@pupin.rs

Rezime: *Politike u domenu nauke, tehnologije i inovacija ne samo da obezbeđuju dugoročni društveno-ekonomski razvoj, već imaju i sposobnost da u relativno kratkom roku pruže efikasan odgovor na izazove koje nameću globalne krize. U radu su predstavljene odlike istraživanja i inovacija za vreme kriza, kao i njihove implikacije za vođenje politika u toj oblasti. Cilj istraživanja je da ukaže na mere koje je Evropska unija donela u okviru svoje politike istraživanja i inovacija u toku 2020. godine kao odgovor na Covid-19 pandemiju. Opšti zaključak rada je da je pandemija značajno uticala na pravce delovanja EU politike istraživanja i inovacija u pogledu alokacije finansijskih sredstava, istraživačkih tema i kolaborativnih mreža.*

Ključne reči: *Nauka, tehnologija i inovacije (NTI), NTI politika, Evropska unija, Covid-19.*

Abstract: *Policies in the field of science, technology and innovation not only ensure long-term socio-economic development, but also have the ability to provide, in a relatively short period of time, an effective response to the challenges posed by global crises. The paper presents features of research and innovation during crises, as well as their implications for policy-making in this area. The aim of the research is to point out the measures that the European Union adopted within its research and innovation policy during 2020 in response to the Covid-19 pandemic. The general conclusion of the paper is that the pandemic significantly affected the directions of EU research and innovation policy in terms of allocation of financial resources, research topics and collaboration networks.*

Keywords: *Science, technology and innovation (STI), STI policy, European Union, Covid-19.*

1. UVOD

Glavne odrednice privrednog rasta i razvoja u savremenim uslovima vezane su za tehnološki progres koji nastaje kao rezultat naučno-istraživačkih i inovacionih aktivnosti. Međutim, uticaj koji nauka, tehnologija i inovacije imaju na društvo u velikoj meri zavisi od relevantnih državnih politika u ovoj oblasti. Uspešno usmeravanje naučno-istraživačkih i inovacionih aktivnosti ka rešavanju konkretnih društveno-ekonomskih izazova omogućava proširivanje i diversifikaciju proizvodnje, a otuda i održivi razvoj.

Ukoliko se politika nauke, tehnologije i inovacija (NTI) shvati kao set državnih intervencija u ovoj oblasti postaje jasno da su ove aktivnosti u prošlosti imale veliki uticaj na kvalitet života, a ponekad su čak i menjale tok svetske istorije. Naučna politika se bavi promocijom naučno-istraživačkog rada i otuda alokacijom resursa na različite oblasti nauke. S druge strane, tehnološka politika je fokusirana na razvoj i upotrebu specifičnih tehnologija koje imaju strateški značaj za određenu državu. Inovaciona politika obuhvata naučnu i tehnološku politiku pošto uključuje intervencije u celokupnom inovacionom procesu – počev od naučnih istraživanja, preko primene na konkretne tehnologije, uvođenja na tržište i široke primene. Osim toga, inovaciona politika se bavi i unapređenjem institucionalnog okvira neophodnog za uspešno inoviranje (Chaminade & Lundvall, 2019).

Okviri istraživačke i inovacione politike na globalnom nivou menjali su se u skladu sa istorijskim kontekstom. Prva faza razvoja inovacione politike započeta je nakon Drugog svetskog rata kad se država angažovala u institucionalnoj podršci nauci i inovacijama koja bi doprinela ubrzanom privrednom oporavku. Drugi okvir inovacione politike zabeležen je 1980-ih godina koje karakteriše globalizacija i razvoj nacionalnih inovacionih sistema zasnovanih na izgradnji veza između elemenata sistema i podrški preduzetništvu. Treća faza razvoja uključuje neophodnost povezivanja NTI politike sa aktuelnim društvenim

i ekološkim izazovima kao što su ciljevi održivog razvoja, kao i neophodnost ka transformativnim promenama (Schot & Steinmueller, 2018).

Naučno-istraživačke i inovacione politike ne samo da obezbeđuju društveno-ekonomski razvoj, već predstavljaju efikasan način za ublažavanje brojnih kriza koje mogu nastati na nacionalnom, regionalnom ili globalnom nivou. Evropska unija kao jedinstvena nadnacionalna zajednica ima zajedničku politiku istraživanja i inovacija čije su pravne osnove postavljene u Ugovoru o funkcionisanju EU. Osnovni cilj je da istraživači i znanje kroz Evropski istraživački prostor (*European Research Area*) obezbede rast konkurentnosti privrede i industrije.

Osnovni predmet istraživanja ovog rada su mere istraživačke i inovacione politike EU preduzete kao odgovor na krizu izazvanu širenjem novog korona virusa 2020. godine. U drugom poglavlju su date opšte odlike NTI za vreme globalnih kriza, dok su u trećem poglavlju analizirane mere politike istraživanja i inovacija Evropske unije donete u cilju borbe protiv pandemije i njenih posledica. Poslednje poglavlje sumira najvažnije rezultate istraživanja.

2. ISTRAŽIVANJA I INOVACIJE ZA VREME KRIZE I IMPLIKACIJE NA NTI POLITIKU

Naučno-tehnološka i inovaciona politika se označava kao glavni instrument za ostvarivanje ubrzanog društveno-ekonomskog razvoja. U uslovima krize ova politika dobija i dodatne uloge. Ona postaje glavni način za rešavanje krize, odnosno ublažavanje njenih efekata ili eliminisanje uzroka. Ovo se naročito odnosi na zdravstvene krize kao što je to primarno Covid-19 pandemija.

Globalne krize stvaraju pritisak na istraživačke i inovacione sisteme, ali istovremeno otvaraju i nove mogućnosti. Karakteristike i opseg globalne krize uzrokovane širenjem novog korona virusa jasno ukazuju da su ulaganja u nauku, tehnologiju i inovacije jedini način za izlazak iz krize, pre svega kroz razvoj vakcina i drugih medicinskih sredstava sa sprečavanje širenja zaraze. Osim toga, politika nauke, tehnologije i inovacija je važna za društveno-ekonomski oporavak nakon krize. S druge strane, Covid-19 kriza ima uticaj na NTI politike pre svega usled ekonomskih efekata krize koji se ogledaju u fiskalnoj konsolidaciji, smanjenju javnih budžeta za istraživanje i razvoj, kao i smanjenju ulaganja privatnog sektora u istraživanje i inovacije.

Investiranje u istraživanje i inovacije može se posmatrati kao aktivnost od strateške važnosti u procesu upravljanja krizama. Naime, NTI politika za vreme krize treba da podrži istraživačke i inovacione aktivnosti, ali i da ublaži efekte same krize na ovu oblast (Slika 1).



Slika 1: Uloga nauke, tehnologije i inovacija u vreme krize
(Izvor: prilagođeno na osnovu OECD, 2021)

Vremenski pritisak koji je pandemija nametnula u smislu zahteva za što bržim rešenjima, uticala je na jačanje međunarodnih kolaborativnih mreža među istraživačima, porast javno-privatnih partnerstava i porast saradnje u okviru međunarodnih organizacija i programa.

Osnovne odlike istraživanja i inovacija u kriznim vremenima su: veliki društveni značaj i neophodnost brzog delovanja pre nego što nastanu još veći gubici. U takvim uslovima je isplativije prekomerno ulaganje u istraživanje u razvoj od smanjenja investicija (Gross & Sampat, 2021). Međutim, postavlja se pitanje koliko će biti uskraćene brojne naučne oblasti koje nisu direktno vezane sa rešavanje krize i smanjivanje njenih negativnih efekata. Na primer, za vreme Covid-19 krize primetan je ogroman rast naučno-istraživačkih poduhvata koji su direktno vezani za aktuelnu pandemiju. Pojedini autori ukazuju da u postojećoj

„kovidizaciji“ istraživanja leže brojni rizici koji proizilaze iz napuštanja postojećih istraživačkih tema, pritiska ka brzim rezultatima i zanemarivanja drugih važnih naučnih oblasti (Pai, 2020).

Karakteristike istraživanja i razvoja u kriznim vremenima impliciraju određene preporuke za naučno-tehnološku politiku u redovnim uslovima: 1) neophodnost ulaganja u osnovna istraživanja i dodatne naučno-tehnološke kapacitete (ljudski resursi, oprema, razvoj institucija) u brojnim oblastima; 2) kreiranje instrumenata finansiranja istraživanja i razvoja (IR) i IR institucija koje u kriznim vremenima mogu preuzeti vodeću ulogu; 3) krize mogu imati i efekat na inovacije koje će nastati nakon završetka krize usled velikih ulaganja u određenim oblastima (Gross & Sampat, 2021).

Organizacija za ekonomsku saradnju i razvoj (OECD) je ukazala na ključne oblasti koje naučno-istraživačka politika treba unaprediti kako bi u većoj meri doprinela upravljanju globalnim krizama. Pre svega, neophodno je unaprediti nacionalne mehanizame za protok informacija od naučnog sektora do donosilaca odluka. Istraživački sektor može obezbediti relevantne podatke o trenutnom stanju i verovatnom toku krize, ali i savete o efikasnosti različitih mera. Pored nacionalnog konteksta, potrebna je i međunarodna saradnja, kroz učešće u radu međunarodnih organizacija i istraživačkih mreža. Razvoj poverenja i razumevanja između različitih aktera trebalo bi da budu ostvareni kroz transparentnost podataka i donetih mera na domaćem i međunarodnom planu. Naučno-istraživačka politika takođe treba da se bavi i izgradnjom spremnosti za krize kroz učenje iz prethodnih iskustava, scenario analizu i praktične vežbe. Na kraju, javlja se neophodnost jasnog i pravovremenog informisanja javnosti o naučnim saznanjima, donetim odlukama i toku krize (OECD, 2018).

Karakter krize određuje i njene implikacije na politiku nauke, tehnologije i inovacija. Naime, nije svaki sektor podjednako pogođen krizom i to je element koji se uzima u obzir prilikom kreiranja konkretnih mera. U zavisnosti od uzroka nastanka i toka krize, menjaju se i mere NTI politike. Krize prete da unište inovacione i druge ekosisteme u društvu tako da je NTI politka uglavnom fokusirana na kreiranje održivosti i otpornosti sistema. Osim toga, krize se mogu shvatiti i kao situacije u kojima je potrebno resetovanje naučno-tehnoloških sistema u smislu neophodnosti stvaranja novih prioriteta NTI politike koji će omogućiti brži društveno-ekonomski oporavak.

3. ODGOVOR POLITIKE ISTRAŽIVANJA I INOVACIJA EVROPSKE UNIJE NA COVID-19 PANDEMIJU

Cilj Evropske unije u domenu istraživanja i inovacija je jačanje naučno-tehnološke osnove preko stvaranja Evropskog istraživačkog prostora u kom istraživači, znanje i tehnologije slobodno cirkulišu. Evropska unija i države članice moraju koordinirati svoje aktivnosti istraživanja i tehnološkog razvoja kako bi se obezbedila konzistentnost nacionalnih politika i politika EU. Aktivnosti EU u domenu politike istraživanja i tehnološkog razvoja uključuju: 1) sprovođenje programa istraživanja i razvoja promovisanjem saradnje između preduzeća, istraživačkih centara i univerziteta; 2) unapređenje naučno-istraživačke saradnje sa trećim državama i međunarodnim organizacijama; 3) promocija rezultata aktivnosti istraživanja i tehnološkog razvoja; 4) podsticanje mobilnosti i obuka istraživača u EU. Glavni instrument politike istraživanja i tehnološkog razvoja u EU su višegodišnji okvirni programi kojima su definisani strateški ciljevi u ovoj oblasti i finansijska sredstva za njihovu realizaciju (European Union, 2012).

Politika istraživanja i inovacija imala je ključnu ulogu u kreiranju mera za borbu protiv pandemije i društveno-ekonomskih posledica koje je ona izazvala. Na samom početku pandemije, Konferencija Ujedinjenih nacija o trgovini i razvoju (*UN Conference on Trade and Development, UNCTAD*) upozorila je na važnost ulaganja u nauku, tehnologiju i inovacije u uslovima globalne krize. Pri tome, ovo se posebno odnosi na zemlje u razvoju koje nemaju dovoljno izgrađene nacionalne inovacione sisteme (UNCTAD, 2020). Evropska unija je imala sličan pristup pošto su uložena finansijska sredstva i brojni drugi resursi kako bi se sprečilo širenje virusa, ojačali zdravstveni i istraživački kapaciteti i smanjili negativni efekti krize.

Zahvaljujući visokom stepenu razvoja inovacionog ekosistema Evropske unije, donosioci odluka su se oslanjali na brojne stručne savetodavne strukture kao što su Evropski centar za prevenciju i kontrolu bolesti, Evropska agencija za lekove, Grupa glavnih naučnih savetnika Evropske komisije, Objedinjeni istraživački centar. U aprilu 2020. godine, kao rezultat dijaloga između Evropske komisije i ministara odgovornih za istraživanja i inovacije iz zemalja članica kreiran je prvi zajednički akcioni plan „Evropski istraživački prostor protiv korona virusa“ *(ERAvsCorona action plan*). U ovom akcionom planu definisano je deset prioritetnih kratkoročnih aktivnosti kao odgovor na pandemiju: 1) koordinacija finansiranja istraživanja i inovacija u borbi protiv korona virusa; 2) proširenje i podrška kliničkim ispitivanjima širom EU za lečenje pacijenata inficiranih korona virusom; 3) novo finansiranje inovativnih i brzih zdravstvenih pristupa u cilju obezbeđenja većeg nivoa pripremljenosti zdravstvenih sistema; 4) povećanje podrške inovativnim kompanijama; 5) otvaranje mogućnosti za druge izvore finansiranja koji mogu doprineti istraživačkim i

inovacionim aktivnostima u vezi sa korona virusom; 6) uspostavljanje platforme za informisanje o finansiranju istraživanja i inovacija u vezi sa korona virusom; 7) formiranje radne grupe za korona virus koju će činiti visoki predstavnici; 8) pristup istraživačkoj infrastrukturi; 9) platforma za razmenu istraživačkih podataka; 10) hakaton za mobilizaciju evropskih inovatora i civilnog društva (European Union, 2020).

Mere koje je Evropska unija donela u cilju borbe sa pandemijom izazvanom novim korona virusom mogu se svrstati u nekoliko grupa:

- direktna podrška novim istraživanjima i inovacijama;
- unapređenje okvira za istraživanje i inovacije;
- pretvaranje istraživačkih rezultata u politiku javnog zdravlja;
- analiza društvenih i ekonomskih posledica;
- komunikacija i informisanje (OECD, 2020).

3.1. Direktna podrška novim istraživanjima i inovacijama

Od trenutka kad je Svetska zdravstvena organizacija proglasila Covid-19 vanrednom situacijom za javno zdravlje od međunarodne važnosti, Evropska unija je podržala istraživanja i inovacije kroz brojne aktivnosti direktne podrške. Evropska komisija je izdvojila oko milijardu evra iz okvirnog programa za istraživanje i inovacije Horizont 2020 u cilju borbe sa pandemijom. Od ovog iznosa oko 602,3 miliona evra namenjeno je istraživačkim i inovacionim projektima iz sledećih oblasti: razvoj dijagnostičkih tretmana i vakcina, epidemiologija, spremnost i odgovor na epidemije, društveno-ekonomske posledice, mentalno zdravlje, digitalne tehnologije, istraživačka infrastruktura i baze podataka. U okviru inicijative „InnovFin – EU finansiranje za inovatore“ koja je kreirana od strane Evropske investicione banke i Evropske komisije kroz program Horizont 2020, opredeljeno je oko 400 miliona evra. Pri tome, 178,5 miliona evra alocirano je za razvoj vakcina, lekova, medicinske i dijagnostičke opreme (European Commission, 2021).

U Tabeli 1 predstavljene su vrste i broj projekata vezanih za Covid-19 koji su u toku 2020. godine finansirani od strane okvirnog programa Horizont 2020. Veliki broj projekata i partnerskih organizacija stvorio je značajne mreže saradnje na evropskom i svetskom nivou.

Tabela 1: Projekti iz programa Horizont 2020 vezani za Covid-19

Tematska oblast	Broj projekata	Finansijska kontribucija EU (u milionima evra)
Kliničko upravljanje i lečenje	45	118,9
Razvoj vakcina	4	108,2
Spremnost i upravljanje krizama	27	88,3
Otpornost zdravstvenog sistema	28	53,4
Dijagnostika	25	36,3
Osnovna istraživanja, uključujući biologiju virusa SARS-Cov-2	24	38,2
Mere javnog zdravlja	11	12,3

Izvor: European Commission, 2021.

3.2. Unapređenje okvira za istraživanje i inovacije

U cilju poboljšanja naučno-istraživačkog ambijenta, Evropska unija je donela mere iz oblasti istraživačke infrastukture, otvorene nauke, razmene podataka, istraživačke etike i podsticanja izvrsnosti u nauci.

Kako bi se omogućio brži dolazak do naučnih rezultata u okviru programa Horizont 2020 kreirani su grantovi za pristup istraživačkoj infrastrukturi. Evropska komisija takođe insistira da svi Horizont 2020 projekti koji se bave pandemijom omoguće otvoren pristup svim podacima i publikacijama. U aprilu 2020. godine kreirana je evropska Covid-19 istraživačka platforma[1] koja je obezbedila brže deljenje, analizu i obradu naučnih podataka. U maju 2020. godine lansirana je i korona platforma Evropskog istraživačkog prostora[2] koja pruža informacije o dostupnim mogućnostima za finansiranje istraživanja i inovacija vezanih za korona virus. Važna je i platforma koja sadrži rezultate programa Horizont 2020 sa posebnim osvrtom na

[1] www.covid19dataportal.org
[2] www.ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/covid-19

rezultate vezane za Covid-19[3], jer omogućava stejkholderima da stupe u kontakt sa istraživačima koji su proizveli konkretne autpute.

Evropska komisija je otvorenu nauku prepoznala kao jedan od osnovnih okvirnih uslova u unapređenju istraživanja vezanih za novi korona virus i zbog toga je u julu 2020. godine donela Manifest o EU Covid-19 istraživanjima koji je zasnovan na sledećim principima:

- obezbeđivanje javne dostupnosti istraživačkih rezultata bez odlaganja na online platformama ili kroz podatke o patentima;
- otvoren pristup naučnim radovima i istraživačkim podacima;
- dodela besplatnih neekskluzivnih licenci za prava intelektualne svojine (koja proizilaze iz istraživanja finansiranog od strane EU) na određeno vreme u zamenu za obavezu korisnika licence da brzo distribuira proizvode i usluge vezane za Covid-19 (European Commission, 2020).

Evropska komisija je u periodu od 24-26. aprila 2020. godine organizovala virtuelno takmičenje, pan-EU hakaton koji je imao za cilj da poveže civilno društvo, inovatore i investitore iz Evrope radi razvoja inovativnih ideja koje bi rešile izazove nastale usled pandemije. Na događaj se prijavilo preko 2.000 inovativnih ideja iz oblasti zdravlja, poslovanja, rada i obrazovanja na daljinu, socijalne i političke kohezije, digitalnih finasija. Ukupno 117 projekata je odabrano za finansiranje. Nastavak hakatona je bio „*matchaton*" koji je omogućio umrežavanje sa krajnjim korisnicima i potencijalnim investitorima.

U cilju označavanja odličnih predloga projekata koji su dostavljeni na pozive vezane za pandemiju, a nisu dobili finansiranje zbog budžetskih ograničenja poziva, uveden je i poseban Covid-19 pečat izvrsnosti (*Covid-19 Seal of Excellence*). Svrha ovog pečata je da se uspešni predlozi preporuče za alternativne izvore finansiranja.

3.3. Pretvaranje istraživačkih rezultata u politiku javnog zdravlja

Stvaranje efikasnog partnerstva između istraživača i donosioca odluka od ključne je važnosti za pravilan i pravovremeni odgovor na izazove koje nameće Covid-19 pandemija. Ovo se posebno odnosi na donošenje odluka u oblasti javnog zdravlja koje u najvećoj meri mogu doprineti očuvanju života i zdravlja ljudi. Upravo zbog toga je Evropska komisija ugovorom obavezala istraživače na projektima vezanim za Covid-19 da daju relevantne preporuke donosiocima odluka i da obezbede otvoren pristup rezultatima svog istraživanja.

3.4. Analiza društvenih i ekonomskih posledica

Iako je Covid-19 pandemija prvenstveno zdravstvena kriza, izazvala je mnoštvo društvenih i ekonomskih promena. Istraživačka i inovaciona politika Evropske unije bavi se i ovim aspektima pandemije kako kroz direktnu podršku relevantnim istraživanjima, tako i kroz rad brojnih stručnih tela, a pre svega Ekspertske grupe Evropske komisije zadužene za analizu socijalnih i ekonomskih posledica krize.

Istraživanje i inovacije predstavljaju ne samo ključni instrument za borbu protiv pandemije, već i način da se ubrza oporavak nakon krize. Otuda, važan deo Plana oporavka EU biće upravo istraživanja i inovacije koje će biti obuhvaćeni kroz novi okvirni program *Horizon Europe*.

3.5. Komunikacija i informisanje

Poseban akcenat Evropske unije i njenih institucija je na jasnom informisanju javnosti o svim važnim aspektima krize. Ova komunikacija se dešava preko zvaničnog sajta Evropske komisije i povezanih organizacija, posebno kreiranih platformi, medija, biltena i drugih publikacija.

Aktuelna kriza se često označava i kao „infodemija" usled porasta brojnih dezinformacija koje negativno utiču na zdravlje i ponašanje ljudi. Otuda, Evropska komisija i druge EU agencije sprovode i aktivnosti vezane za sprečavanje širenja lažnih vesti i omogućavanje informisanja građana putem proverenih izvora.

Osim navedenih grupa mera politike istraživanja i inovacija, Evropska unija je preduzela niz aktivnosti izgradnje kolaborativnih mreža sa partnerima iz inostranstva. Na taj način, uključene su brojne međunarodne organizacije što je sve doprinelo globalizaciji naučno-istraživačkih aktivnosti.

4. ZAKLJUČAK

Javne politike u oblasti nauke, tehnologije i inovacija nastaju kao rezultat razumevanja prošlih i sadašnjih kretanja u ovoj oblasti sa ciljem da se deluje na trenutne izazove i buduće potencijale. Covid-19 pandemija, proglašena 2020. godine, izazvala je velike potrese u gotovo svim aspektima života i rada ljudi. Oblast

[3] www.ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/horizon-results-platform

istraživanja i inovacija nije izuzetak tako da su se desile promene ne samo u pravcima delovanja, već i u politikama koje se primenjuju u ovoj oblasti. Postalo je jasno da su nauka i inovacije jedina izlazna strategija iz krize što je izazvalo nezapamćenu mobilizaciju naučne zajednice.

Evropska unija je u okviru svoje politike istraživanja i inovacija preduzela niz mera kako bi se dao sveobuhvatan odgovor na brojne aspekte krize izazvane pandemijom. Izdvojeno je oko milijardu evra iz programa Horizont 2020 za projekte iz oblasti jačanja zdravstvenog sistema, dijagnostike i upravljanja krizama. Osim toga, angažovani su i brojni drugi resursi u cilju unapređenja okvira za istraživanje i inovacije, komunikacije naučnih rezultata, davanje preporuka kreatorima javnih politika i analize društveno-ekonomskih posledica. Iskustvo u sprovođenju politike istraživanja i inovacija Evropske unije ukazalo je na značaj brze alokacije finansijskih sredstava, razvoj novih vidova međunarodne saradnje, otvorene nauke, korišćenja digitalnih tehnologija, jačanja otpornosti i održivosti sistema.

ZAHVALNOST

Istraživanje opisano u ovom radu finansirano je od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

[1] Chaminade, C. & Lundvall, B. A. (2019). Science, Technology, and Innovation Policy: Old Patterns and New Challenges. In Oxford Research Encyclopaedia of Business and Management Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190224851.013.179

[2] Gross, D. P. & Sampat B. N. (2021). The Economics of Crisis Innovation Policy: A Historical Perspective. Working Paper, NBER Working Paper Series.

[3] European Commission (2020). Manifesto for EU Covid-19 research. Retreived from: https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/0dce5fc4-fc85-11ea-b44f-01aa75ed71a1/

[4] European Commission (2021). EU research and innovation in action against the coronavirus: funding, results and impact. Retreived from: https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/research_and_innovation/research_by_area/documents/ec_rtd_eu-research-innovation-against-covid.pdf

[5] European Union (2012). Consolidated version of the Treaty on the Functioning of the European Union, Official Journal of the European Union C 326/47.

[6] European Union (2020). First "ERAvsCORONA" Action Plan: short-term coordinated Research & Innovation actions. Retreived from: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/covid-firsteravscorona_actions.pdf

[7] OECD (2018). Scientific Advice During Crises: Facilitating Transnational Co-operation and Exchange of Information, OECD Publishing, Paris. https://dx.doi.org/10.1787/9789264304413-en.

[8] OECD (2020). OECD Survey on the science and innovation policy responses to coronavirus (Covid-19). Retreived from: https://stip.oecd.org/Covid.html

[9] OECD (2021). OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2021: Times of Crisis and Opportunity, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/75f79015-en.

[10] Pai, M. (2020). Covidization of research: what are the risks?. Nat Med 26, 1159. https://doi.org/10.1038/s41591-020-1015-0

[11] Schot, J. & Steinmueller, W. E. (2018). Three frames for innovation policy: R&D, systems of innovation and transformative change. Research Policy 47, pp. 1554–1567.

[12] UNCTAD (2020). The need to protect science, technology and innovation funding during and after the Covid-19 crisis. Policy Brief No. 80, May 2020.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

POVEZANOST INVESTICIJA U ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ I REZULTATA ISTRAŽIVAČKORAZVOJNOG PROCESA U REPUBLICI SRBIJI – ANALIZA VREMENSKIH SERIJA

RELATIONSHIP BETWEEN R&D INVESTMENT AND R&D OUTPUT IN THE REPUBLIC OF SERBIA – TIME SERIES ANALYSIS

NIKOLA VASILIĆ[1], ĐURO KUTLAČA[2]

[1] Univerzitet u Beogradu, Institut Mihajlo Pupin, Beograd, nikola.vasilic@pupin.rs
[2] Univerzitet u Beogradu, Institut Mihajlo Pupin, Beograd, djuro.kutlaca@pupin.rs

Rezime: *Glavni cilj istraživanja odnosi se na ispitivanje uticaja investicija u istraživanje i razvoj na rezultate istraživačkorazvojnog procesa u Republici Srbiji u periodu 1982-2019. godine. Analiza je sprovedena primenom vektorskog autoregresionog metoda, funkcije impulsnog odziva i raščlanjivanja varijanse. Rezultati istraživanja ukazuju da istraživači imaju nešto izraženiji uticaj na broj patenata i naučnih publikacija u poređenju sa izdacima za istraživanje i razvoj, iako je u oba slučaja taj uticaj beznačajan.*

Ključne reči: *Izdaci za istraživanje i razvoj, Istraživači, Patenti, Naučne publikacije, Investicije u istraživanje i razvoj, Rezultati istraživanja i razvoja.*

Abstract: *The aim of the research is to analyze relationship between R&D investment and R&D output in the Republic of Serbia. The empirical research is performed using vector autoregression method, impulse response function and variance decomposition analysis. The research results indicate that researchers have a somewhat more pronounced impact on the number of patents and scientific publications compared to R&D expenditures, although in both cases this impact is not significant.*

Keywords: *R&D expenditures, Researchers, Patents, Scientific publications, R&D investment, R&D output.*

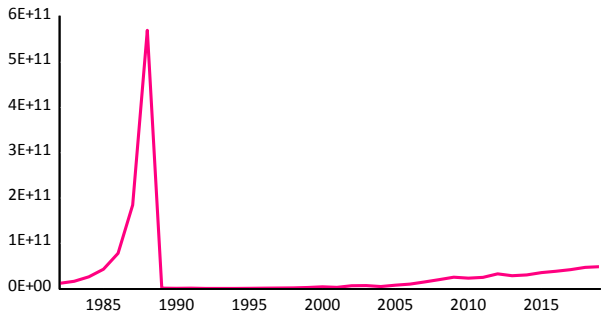
1. UVOD

Endogeni modeli ekonomskog rasta naglašavaju ulogu tehnoloških inovacija kao primarnog faktora ekonomskog rasta. Kako je ostvarivanje visokih stopa ekonomskog rasta jedan od prioriteta ekonomske politike, to su tehnološke inovacije i načini njihovog podsticanja okupirali pažnju akademske zajednice i nosilaca ekonomske politike. Tehnološke inovacije se definišu kao skup aktivnosti usmerenih na koncipiranje, stvaranje i uvođenje novog ili značajno modifikovanje postojećeg proizvoda, usluge ili procesa. Tehnološke inovacije su u najvećoj meri determinisane istraživanjem i razvojem, odnosno aktivnostima usmerenim na stvaranje novog znanja ili pronalaženje novih načina primene postojećeg znanja (Souitaris, 1999). Na inovacije se može gledati sa dva različita aspekta: inovacioni inputi, odnosno investicije u istraživačkorazvojne aktivnosti, i inovacioni autputi, odnosno rezultat istraživačkorazvojnog procesa. Investicije u istraživanje i razvoj odražavaju napore zemlje da pospeši naučnotehnološki razvoj putem povećanja izdataka za istraživanje i razvoj i/ili povećanjem broja stručnjaka različitih profila koji će biti angažovani na poslovima istraživanja i razvoja. Logična pretpostavka, koja je istovremeno i empirijski potvrđena, je da investicije u istraživačkorazvojni proces, kao i rezultati ovog procesa utiču indirektno na ekonomski rast. Efikasne investicije u istraživanje i razvoj će se pozitivno odraziti na rezultate istraživačkorazvojnog procesa. Efektivna i efikasna upotreba rezultata istraživačkorazvojnog procesa, kao što su patenti i naučne publikacije, stimuliše tehnološke inovacije, odnosno stvara mogućnost za razvoj novih proizvoda i metoda odvijanja poslovnih procesa, što će dalje doprineti ostvarivanju visokih stopa rasta (Zhan et al., 2017). Uzimajući u obzir značaj inovacija za ekonomski rast i činjenicu da su inovacioni inputi i autputi i njihova adekvatna iskorišćenost važan preduslov tehnoloških inovacija, predmet interesovanja u ovom radu je upravo veza između investicija u istraživanje i razvoj i rezultata istraživačkorazvojnog procesa, odnosno inovacionih inputa i autputa.

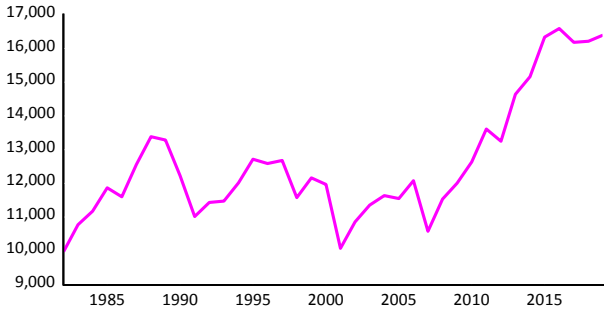
Praksa pokazuje da zemlje u razvoju znatno manje investiraju u istraživanje i razvoj u poređenju sa razvijenim zemljama, što može biti i razlog njihovog usporenijeg rasta. Jedan od glavnih razloga je taj što se zemlje u razvoju u stvaranju sopstvenih proizvoda pretežno oslanjaju na tehnološka dostignuća razvijenih zemalja (Dahlman et al., 1987). Ovakva praksa je karakteristična i za Srbiju, posebno kada je reč o izdacima

za istraživanje i razvoj (IiR). Izdaci za IiR u Srbiji su na relativno niskom nivou i nalaze se ispod proseka EU. Od 2007. godine beleži se rastući trend izdataka za IiR. Broj istraživača karakterišu izražene fluktuacije u periodu od 1982 do 2007. godine (Slika 2). U tom periodu, 2001. godine zabeležen je i najniži broj istraživača kada je bio angažovan 10 071 istraživač. Period 2008-2019. karakteriše rastući trend broja istraživača sa neznatnim smanjenjem 2012. i 2017. godine. Tokom posmatranog perioda 1982-2019. godine prisutan je opadajući trend broja patentnih prijava (Slika 3). Maksimalan broj patentnih prijava ostvaren je 1989. godine i iznosio je 783, dok je najmanji broj od 105 patentnih prijava zabeležen 1999. godine. Što se tiče naučnih publikacija, u periodu 1982-1997. godine prisutan je pozitivan trend, da bi od 1998. do 2003. godine trend postao negativan. Od 2007-2019. publikacije ponovo beleže rastući trend sa neznatnim padom 2013. i 2017. godine.

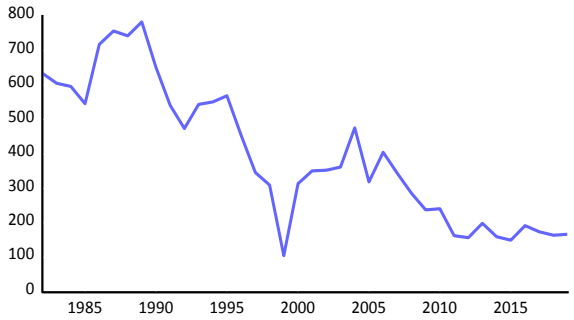
Slika 1: Izdaci za IiR (u rsd)



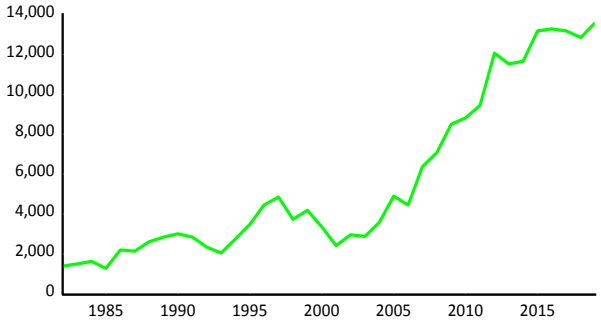
Slika 2: Istraživači



Slika 3: Patenti



Slika 4: Publikacije



2. METODOLOGIJA

Cilj istraživanja jeste analiza uticaja investicija u istraživanja i razvoja na rezultate istraživačkorazvojnog procesa u Republici Srbiji. Kao indikatori investicija u istraživanje i razvoj koristiće se izdaci za istraživanje i razvoj (IiR) i broj istraživača, dok će se kao indikatori rezultata istraživanja i razvoja koristiti broj prijavljenih patenata i broj naučnih publikacija. Podaci su prikupljeni iz statističkih biltena pod nazivom Naučnoistraživačke i razvojne organizacije izrađenog od strane Republičkog zavoda za statistiku Srbije. Svi podaci su logaritmovani. Istraživanje pokriva vremenski period od 1982-2019. godine.

Empirijska analiza sprovedena je primenom vektorskog autoregresionog (VAR) metoda. Opšti VAR model se može iskazati putem sledeće jednačine:

$$y_t = \alpha_1 y_{t-1} + \cdots + \alpha_p y_{t-p} + \beta_1 x_t + \cdots + \beta_r x_{t-r} + \varepsilon_t \quad (1)$$

gde je: y_t – endogeni vektor (kolone × reda) 3 × 1; x_t – egzogeni vektor (kolone × reda) D × 1; $\alpha_1, \ldots \alpha_p$ i $\beta_1, \ldots \beta_r$ – matrice koeficijenata reda 3 × 3, odnosno reda 3 × D, respektivno, koje treba evaluirati; p – otimalan nivo kašnjenja endogene varijable; r – optimalan nivo kašnjenja egzogene varijable; ε – vektor greške (kolone × reda) 3 × 1.

VAR metod ima određene nedostatke. Preveliki broj varijabli otežava shvatanje i tumačenje modela. Varijable sa određenim vremenskim kašnjenjem mogu imati koeficijente, čiji se predznak menja sa promenom dužine vremenskog kašnjenja, što može otežati utvrđivanje tipa efekta koji će promena predznaka koeficijenta

određene varijable imati na buduće vrednosti ostalih promenljivih u sistemu. Da bi se ublažile ove slabosti, uz VAR metod primenjuju se funkcija impulsnog odziva i raščlanjivanje varijanse.

Funkcijom impulsnog odziva utvrđuje se tip reakcije endogene varijable na šok u egzogenoj varijabli, odnosno dugoročna dinamička veza između indikatora rezultata procesa istraživanja i razvoja i investicija u istraživanje i razvoj. Raščlanjivanjem varijanse ostvaruje se uvid u procentualno izražen doprinos svih varijabli u sistemu na fluktuiranje endogene varijable tokom vremena.

3. REZULTATI

Prošireni Dickey-Fuller-ov (ADF) test je korišćen da bi se proverilo da li je neka od serija integrisana na nivou I(2). Rezultati ADF testa pokazuju da je u slučaju svih vremenskih serija odbačena nulta hipoteza o prisustvu jediničnog korena na nivou prve diference (Tabela 1), odnosno niti jedna serija nije integrisana na nivou I(2).

Tabela 1: Test jediničnog korena

Varijabla	Vremensko kašnjenje	ADF t statistika	Red integrisanosti
LnPatenti	1	-1,075702	I(1)
ΔLnPatenti	0	-8,248713	
LnPublikacije	4	-0,068672	I(1)
ΔLnPublikacije	3	-4,000645	
LnIiR	9	-2,181117	I(1)
ΔLnIiR	6	-7,782359	
LnIstraživači	0	-1,207056	I(1)
ΔLnIstraživači	0	-6,328984	
Nivo značajnosti	*Kritične vrednosti*		
1%	-3,626784		
5%	-2,945842		
10%	-2,611531		

Na osnovu Akaikeovog informacionog kriterijuma, optimalna dužina vremenskog kašnjenja za model u kom je LnPatenti zavisna varijabla i model sa LnPublikacije kao zavisnom varijablom iznosi 1 godinu. Međutim, pri vremenskom kašnjenju od 1 godine u oba modela prisutan je problem heteroskedastičnosti, što može uzrokovati pristrasnost u oceni parametara modela. Iz tog razloga, izabrana je prva naredna dužina vremenskog kašnjenja, pri kojoj su u VAR modelu reziduali homoskedastični. Shodno tome, koncipirani su VAR (3) model sa LnPatenti i VAR (2) model sa LnPublikacije kao zavisnim varijablama.

Tabela 2: Izbor optimalnog vremenskog kašnjenja – AIC metod

Vremensko kašnjenje	LnPatenti	Heteroskedastičnost reziduala	Vremensko kašnjenje	LnPublikacije	Heteroskedastičnost reziduala
0	4,399669	-	0	4,156706	-
1	1,449723*	53,1995(0.032)	1	0,226018*	58,2839(0.011)
2	1,681052	92,69673(0.051)	2	0,593547	86,51246(0.117)
3	1,861274	111,0449(0.401)	3	0,792622	-
4	1,927182	-	4	0,48113	-

Napomena: * označava optimalno vremensko kašnjenje utvrđeno pomoću AIC. () – nivo značajnosti.
- vremensko kašnjenje uključeno u VAR model.

Prema rezultatima procene koeficijenata u Tabeli 3 i na osnovu polazne jednačine (1), mogu se napisati sledeće regresione jednačine:

$$\Delta LnPatenti = 6{,}018 + 0{,}6 \times \Delta LnPatenti(-1) + 0{,}241 \times \Delta LnPatenti(-2) + 0{,}003 \times \Delta LnPatenti(-3) + 0{,}003 \times \Delta LnIiR(-1) - 0{,}002 \times \Delta LnIiR(-2) + 0{,}01 \times \Delta LnIiR(-3) + 0{,}802 \times \Delta LnIstraživači(-1) - 1{,}326 \times \Delta LnIstraživači(-2) - 0{,}049 \times \Delta LnIstraživači(-3) \quad (2)$$

$$\Delta LnPublikacije = 1{,}238 + 0{,}822 \times \Delta LnPublikacije(-1) + 0{,}150 \times \Delta LnPublikacije(-2) + 0{,}01 \times \Delta LnIiR(-1) - 0{,}0001 \times \Delta LnIiR(-2) + 0{,}472 \times \Delta LnIstraživači(-1) - 0{,}596 \times \Delta LnIstraživači(-2) \quad (3)$$

Oba modela su stabilna (Slika 3 - DODATAK) i objašnjavaju značajan procenat varijanse endogenih varijabli (Tabela 3).

Tabela 3: Rezultati procene kratkoročnih parametara

Varijable	VAR (3) - ΔLnPatenti	VAR (2) - ΔLnPublikacije
ΔLnPatenti(-1)	0,600394 (0,20477) [2,93203]	- - -
ΔLnPatenti(-2)	0,240460 (0,22678) [1,06034]	- - -
ΔLnPatenti(-3)	0,003261 (0,21074) [0,01547]	- - -
ΔLnPublikacije(-1)	- - -	0,822274 (0,18663) [4,40599]
ΔLnPublikacije(-2)	- - -	0,149516 (0,18633) [0,80241]
ΔLnIiR(-1)	0,002674 (0,04741) [0,05641]	0,010921 (0,02794) [0,39087]
ΔLnIiR(-2)	-0,001707 (0,05994) [-0,02847]	-0,000481 (0,02817) [-0,01707]
ΔLnIiR(-3)	0,009642 (0,04789) [0,20132]	- - -
ΔLnIstraživači(-1)	0,801700 (1,03282) [0,77622]	0,471761 (0,59078) [0,79854]
ΔLnIstraživači(-2)	-1,325744 (1,26941) [-1,04437]	-0,596433 (0,57966) [-1,02894]
ΔLnIstraživači(-3)	-0,049375 (0,98724) [-0,05001]	- - -
Konstanta	6,018222 (6,50766) [0,92479]	1,238076 (3,55662) [0,34810]
R^2	0,75	0,93
Korigovan R^2	0,66	0,92

Napomena: ( ) – standardna greška. [ ] – t statistika.

Slika 5 prikazuje reakciju endogene varijabe na Holeski šok u egzogenoj varijabli u visini od 1 standardne devijacije. Na horizontalnoj osi je predstavljeno 30 perioda (godina) nakon inicijalnog šoka u egzogenoj varijabli, dok vertikalna osa predstavlja reakciju endogene varijable zajedno sa 95% intervalima poverenja.

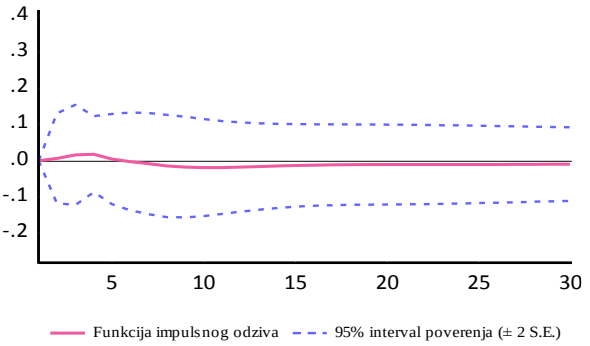
U prvoj godini reakcija LnPatenti na šok u LnIiR jednaka je 0, posle čega se postepeno povećava, da bi nakon 4. godine počela da opada i postaje negativna počev od 6. godine i smanjuje se sve do 11. godine. (Slika 5a). Nakon 11. godine reakcije je i dalje negativna, ali se postepeno povećava sve do kraja posmatranog perioda. Reakcija LnPatenti na šok u LnIstraživači je jednak 0 u prvoj godini i raste na maksimalnih 0,045 već u 2. godini (Slika 5b). Međutim, od 3. godine reakcija postaje negativna i postepeno se smanjuje sve do 9. godine. Od 10. godine reakcija je i dalje negativna, ali se permanentno povećava. U oba slučaja uticaj LnIiR i LnIstraživači je bio izuzetno nizak i statistički beznačajan tokom čitavog perioda.

Kada je reč o reakciji LnPublikacije na šok u LnIiR, u prvoj godini jednaka je 0, ali već u 2. godini reakcija naglo raste na 0,017 (Slika 5c). Rast traje sve do 5. godine kada reakcija dostiže maksimalnu vrednost 0,038, nakon čega dolazi do smanjenja koje se nastavlja sve do kraja posmatranog perioda. Reakcija LnPublikacije na LnIstraživači se kreće od 0 u 1. godini do 0,028 u 2. godini, nakon čega počinje da opada, da bi od 5. godine

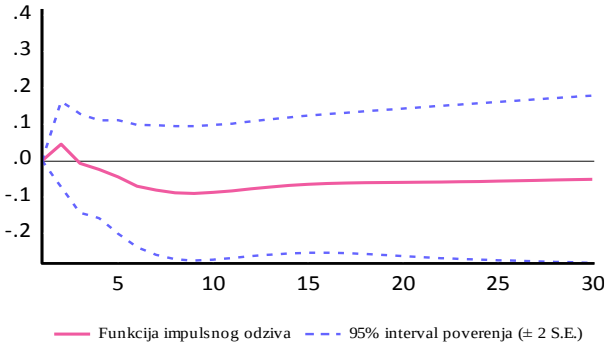
reakcija dobila negativan predznak i smanjuje se sve do 13. godine (Slika 5d). Od 14. godine reakcija i dalje ima negativan predznak, ali se postepeno povećava do kraja posmatranog perioda.

Slika 5: Reakcija endogene varijable na 1 S.D. Holeski šok u egzogenoj varijabli

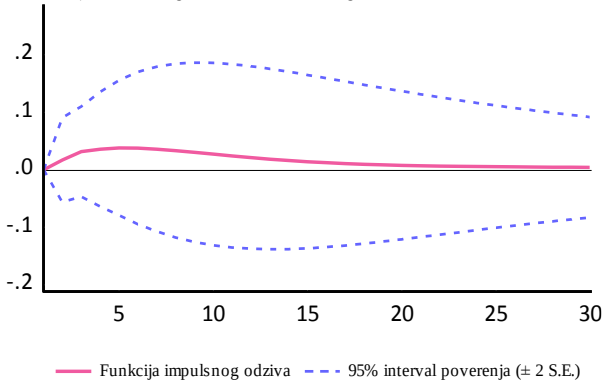
a) Reakcija LnPatenti na šok u LnIiR



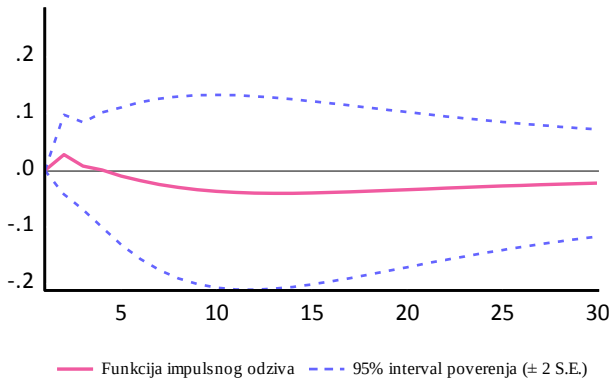
b) Reakcija LnPatenti na šok u LnIstraživači



c) Reakcija LnPublikacije na šok u LnIiR



d) Reakcija LnPublikacije na šok u LnIstraživači



Fluktuacije broja patenata su pretežno objašnjenje njihovim sopstvenim uticajem i uticajem istraživača, dok je uticaj izdataka za IiR zanemarljiv (Slika 6a). U inicijalnom periodu 100% varijanse patenata objašnjeno je inovacijama u patentima. Nakon toga, stopa objašnjene varijanse patenata sopstvenim inovacijama opada, ali zadržava veoma visok udeo sve do 30. perioda od 79,81%. Udeo istraživača u varijansi patenata iznosi 0 u 1. godini i raste tokom čitavom perioda, tako da u 30 godini dostiže 19,41%. Sa druge strane, izdaci za istraživanje i razvoj u svakoj godini tokom čitavog perioda objašnjavaju ispod 1% varijanse patenata.

Šokovi sopstvene veličine najviše objašnjavaju fluktuacije LnPublikacije, od 100% u prvoj godini do 92,05% u 30. godini (Slika 6b). Stopa objašnjene varijanse publikacija inovacijama u izdacima za istraživanje i razvoj se postepeno povećava sve do 10. godine kada i dostiže maksimum od 3,34%. Nakon 10. godine, udeo izdataka za istraživanje i razvoj u varijansi patenata postepeno opada i dostiže 2,43% u 30. godini. Inovacije u LnIstraživači u 2. godini objašnjavaju 1,14% varijanse LnPublikacije, nakon čega procenat objašnjene varijanse opada sve do 6. godine na 0,67%. Od 6. godine pa sve do kraja perioda, stopa objašnjene varijanse publikacija raste i dolazi do maksimalne vrednosti od 5,52%.

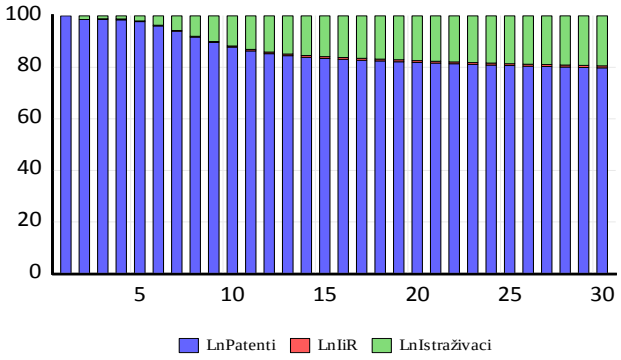
4. ZAKLJUČAK

Sprovedeno istraživanje imalo je za cilj da preispita postojanje veze između investicija u istraživanje i razvoj i rezultata istraživanja i razvoja u Republici Srbiji. U tu svrhu primenjene su različite metode za analizu vremenskih serija: VAR metod, funkcija impulsnog odziva i raščlanjivanje varijanse. U posmatranom vremenskom periodu izdaci za istraživanje i razvoj i istraživači negativno utiču na broj prijavljenih patenata, s tim što je uticaj istraživača izraženiji. Izdaci za istraživanje i razvoj imaju pozitivan, ali prilično slab uticaj na broj publikacija. S druge strane, uticaj istraživača je nešto izraženiji, ali je sa negativnim predznakom u najvećem delu posmatranog vremenskog perioda, što implicira da sa porastom broja angažovanih istraživača dolazi do pada broja naučnih publikacija. Investicije u istraživanje i razvoj ne determinišu u značajnoj meri

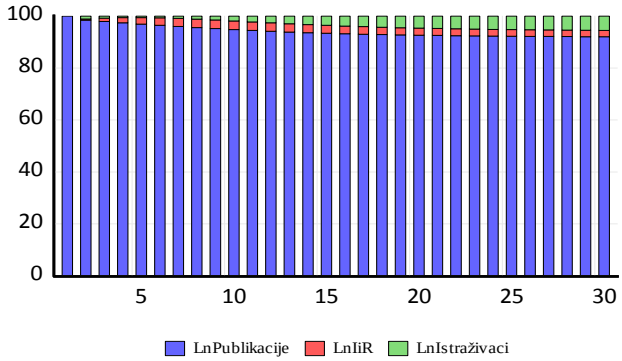
rezultate istraživačkorazvojnog procesa, što je donekle i očekivano uzimajući u obzir prilično oštre kriterijume izbora u naučnoistraživačka zvanja u Republici Srbiji.

Slika 6: Raščlanjivanje varijanse pomoću Cholesky-ove faktorizacije

a) Raščlanjivanje varijanse varijable LnPatenti



b) Raščlanjivanje varijanse varijable LnPublikacije



Analiza veze između investicija u istraživanje i razvoj i rezultata istraživanja i razvoja je od velike važnosti za kreiranje efektivne inovacione politike. Kreatori inovacione politike u Republici Srbiji poseban fokus bi trebalo da stave na podizanje efikasnosti investicija u istraživanje i razvoj, posebno u delu koji se odnosi na izdatke za istraživanje i razvoj. Od velike koristi je i povezivanje aktera inovacionog procesa, čime bi se olakšalo sticanje i razmena znanja i resursa. Ovakav vid saradnje se može podstaći većim brojem projekata koji bi promovisali i finansijski podržali bližu saradnju različitih aktera u procesu istraživanja i razvoja, što bi unapredilo rezultate ovog procesa.

ZAHVALNOST

Istraživanje opisano u ovom radu finansirano je od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

[1] Dahlman, C.J., Ross-Larson, B.,& Westphal, L.E. (1987). Managing technological development: lessons from the newly industrializing countries. *World Development*, 15, 759-775.

[2] OECD (2015). Frascati manual - guidelines for collecting and reporting data on research and experimental development.

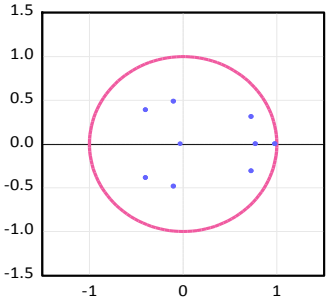
[3] Souitaris, V. (1999). Research on the determinants of technological innovation: A contingency approach. *International Journal of Innovation Management*, 3, 287-305.

[4] Zhang, C., & Wang, X. (2019). The influence of ICT-driven innovation: a comparative study on national innovation efficiency between developed and emerging countries, Behaviour & Information Technology

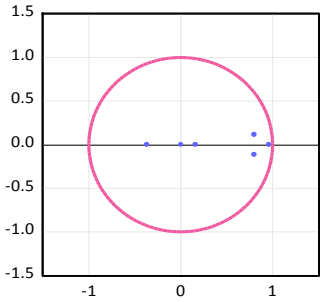
DODATAK

Slika 7: Inverzni koreni karakteristične jednačine

a) VAR (3)



b) VAR (2)



XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

MODEL OTVORENIH INOVACIJA U KOMPANIJAMA U REPUBLICI SRBIJI

OPEN INNOVATION MODEL IN SERBIAN COMPANIES

LAZAR ŽIVKOVIĆ[1], DIJANA ŠTRBAC[2], ĐURO KUTLAČA[3]

[1] Univerzitet u Beogradu, Institut „Mihajlo Pupin“, Beograd, lazar.zivkovic@pupin.rs
[2] Univerzitet u Beogradu, Institut „Mihajlo Pupin“, Beograd, dijana.strbac@pupin.rs
[3] Univerzitet u Beogradu, Institut „Mihajlo Pupin“, Beograd, djuro.kutlaca@pupin.rs

---

Rezime: *Cilj ovog rada je da ukaže na trenutnu spremnost poslovnog sektora u Srbiji da posluje u skladu sa glavnim principima Modela otvorenih inovacija. U radu je prikazan teorijski okvir Modela otvorenih inovacija i predstavljeno trenutno stanje i relativna pozicija Srbije u odnosu na članice EU u pogledu zastupljenosti prakse upotrebe Modela otvorenih inovacija. Istraživanje je pokazalo da Model otvorenih inovacija nije preovlađujući poslovni model u poslovnom sektoru Srbije. Sa druge strane, osim u nekoliko država, kod većine EU članica ovaj poslovni model takođe nije u velikoj meri prisutan.*

Ključne reči: *Model otvorenih inovacija, Poslovni sektor, Srbija.*

Abstract: *The aim of this paper is to indicate the current willingness of the business sector in Serbia to operate in accordance with the main principles of the Open Innovation Model (OIM). The paper presents theoretical framework of the OIM and shows the current situation and the relative position of Serbia in relation to the EU member states regarding the prevalence of the practice of using the OIM. This research showed that the OIM is not the predominant business model in the Serbian business sector. On the other hand, except in a few countries, this business model is also largely absent in most EU member states.*

Keywords: *Open Innovation Model, Business sector, Serbia.*

1. INTRODUCTION

The linear model of innovation was one of the first theoretical frameworks developed in order to understand science and technology and their connection with the economy. According to this model, the process of creating innovation begins with the basic research, followed by applied research and development, and ends with production and diffusion (Godin, 2006). However, the linear model of innovation has suffered an enormous number of criticisms to the extent that it is difficult to read research work in the field of science, research and innovation that does not state that the linear model of innovation is a "wrong" model. The most common criticisms of linear models are going into two directions: limited application in different industries and the lack of feedback at different stages of the innovation process.

The first concrete alternative to linear models of innovation is the chain model of innovation presented by Klein and Rosenberg (1986). The chain model of innovation emphasized the importance of accumulated knowledge and cooperation in the process of creating new knowledge.

The dynamic development of science and technology emphasised in the last three decades, the widespread use of ICT, pronounced importance of labour mobility as well as changes in habits, needs and desires of consumers influenced the emergence of a modern business model based on openness and cooperation. The new, so-called Open Innovation Model involves a process of intensive exchange of ideas, knowledge, resources and technology between companies.

Recent studies conducted in Serbia have shown a very low level of innovation activities within SME sector (Prljić et al. 2016) and lack of patenting culture (Kutlača et al. 2020). Serbian companies are mainly focused on purchasing already developed machinery and they pay very little attention on technology transfer processes. The share of turnover from sales of unchanged or marginally modified products is dominant (Štrbac & Kutlača, 2018).

This paper provides the current state of the business sector in Serbia with regards to operate in accordance with the main principles of the OIM. The paper is organized in the following way. First, we present the theoretical aspects of OIM. Then, we present the research design and the main results. We conclude with the key characteristics of OIM in Serbian business sector with implications for the future research.

2. THE CONCEPT OF OPEN INNOVATION

The OIM was originally introduced in 2003 by British researcher Chesbrough (2003). In the years following the introduction of this model, it was cited and adapted by a large number of researchers, but also applied by a large number of companies. The open innovation paradigm is the antithesis of traditional models of vertical integration (closed innovation models) according to which internal innovation activities lead to innovations of products and services placed on the market. The concept of open innovation is a response to a modern approach to business that is based on intensive cooperation and engagement of a wider number of stakeholders in the process of developing innovation.

This model implies that the innovation capabilities of organizations are not limited within the boundaries of the organization, but imply active cooperation with suppliers, customers, business partners, third parties and the general community as a whole. The role of universities is becoming increasingly important, as public policies increasingly adapt to this concept (Chesbrough, 2012).

The new way of doing business emphasises cooperation through the establishment of various forms of strategic partnerships and other forms of business cooperation. Networking becomes an important factor for enterprise development in most high-tech industries (Enkel et al., 2009). A key feature of the OIM is the company's openness to the external environment. According to this model, in order to introduce innovations, firms should use both internal and external ideas for innovation as well as internal and external ways of launching innovations into the market.

Important factors for the successful functioning of the OIM according to Chesbrough (2003) are:

- Employee mobility.
- Existence of internal R&D.
- Protection of intellectual property.

Employee mobility is an important prerequisite for a successful concept of open innovation due to the fact that employees have the opportunity to present their own ideas outside the work environment as well as for the company to be open to new people. In order for the transfer of technology and knowledge to function efficiently, it is necessary to have internal Research and Development (R&D). The protection of intellectual property is the third important factor, especially in the case of the need to attract significant capital investments.

3. RESEARCH METHODOLOGY

In this article, we shed some light on the business model of enterprises from Serbia by looking at the level of cooperation and openness to other business entities in conducting R&D and innovation activities. For this purpose, we use the data available from the Community Innovation Survey (CIS) conducted in 2018 by the Statistical Office of the Republic of Serbia. For international comparison, Eurostat data were used.

In order to examine the current state of business sector in Serbia regarding their ability to operate in accordance with the main principles of the OIM, we analysed the following indicators:

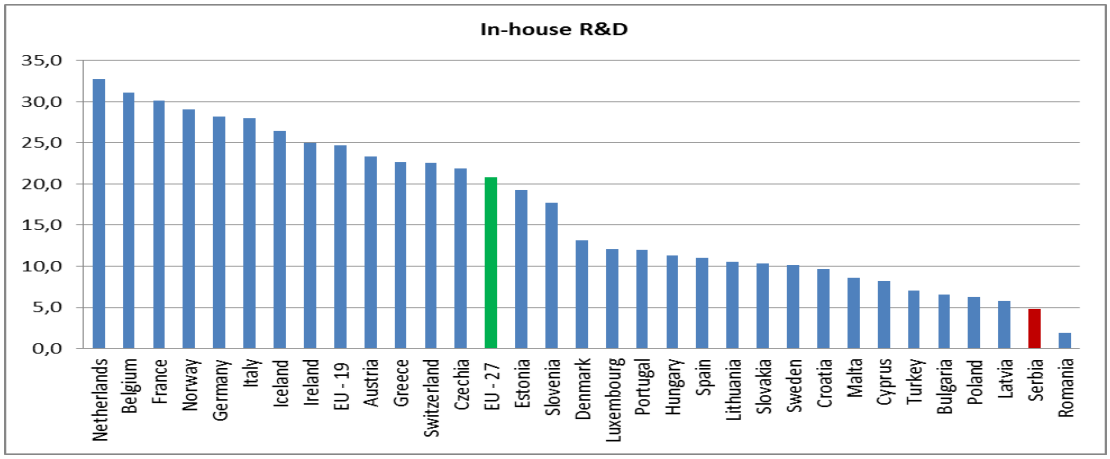
- R&D in-house activities
- R&D contracted out activities
- Cooperation on R&D activities
- Cooperation on innovation activities
- Sold IP rights
- Licenced-out IP rights
- Purchased or Licenced-in IP rights

Although it does not represent a complete list of possible indicators for the evaluation of the OIM, we believe that the analysis of these indicators provides valuable insights into the current state of the business sector in Serbia. It shows the level of exchanges of information with actors outside of the boundaries of an organization, aimed at integrating their resources and knowledge into the organization's own innovative process.

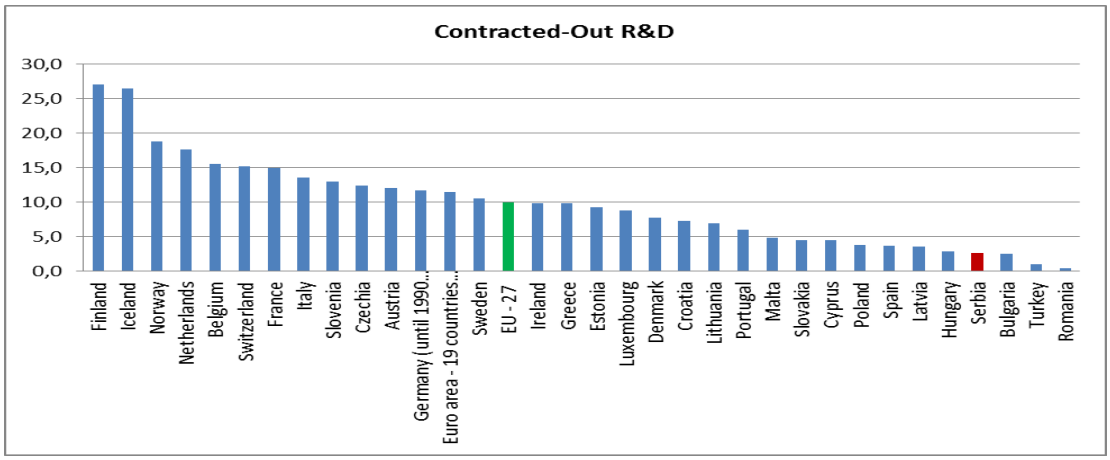
4. RESEARCH RESULTS AND DISCUSSION

The total share of innovative companies in Serbia is 50.2%. According to this indicator, Serbia is close to the EU27 average (50.3%). An important factor, when it comes to innovation, is the size of the enterprise. Large enterprises are more innovative than small and medium enterprises. The total share of large enterprises that are innovative is 69.1%, while 61.8% of medium-sized enterprises and only 47.6% of small enterprises are innovative. Manufacturing sectors are more innovative (56.6%) than services (47.9%).

When it comes to R&D activities, an extremely low share of enterprises from Serbia is investing in R&D. Only 4.8% of enterprises had in-house R&D activities, while 2.7% of enterprises contracted-out R&D to other enterprises or to public or private research organizations in the period 2016-2018. As regards this indicator, Serbia lags behind most EU countries (Graphs 1 and 2).

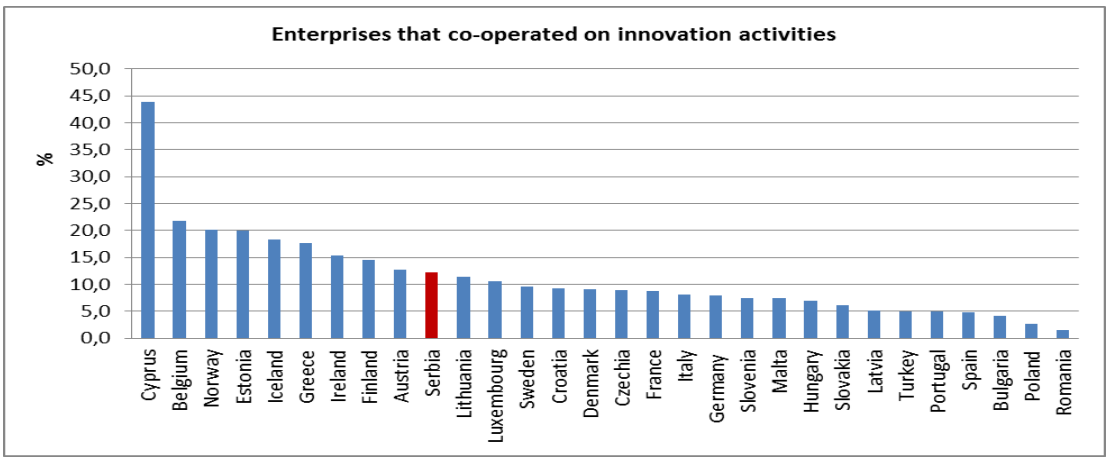


Graph 1: Share of enterprises that had in-house R&D activities in the period 2016-2018 (Source: Authors' calculations based on National CIS and Eurostat data)



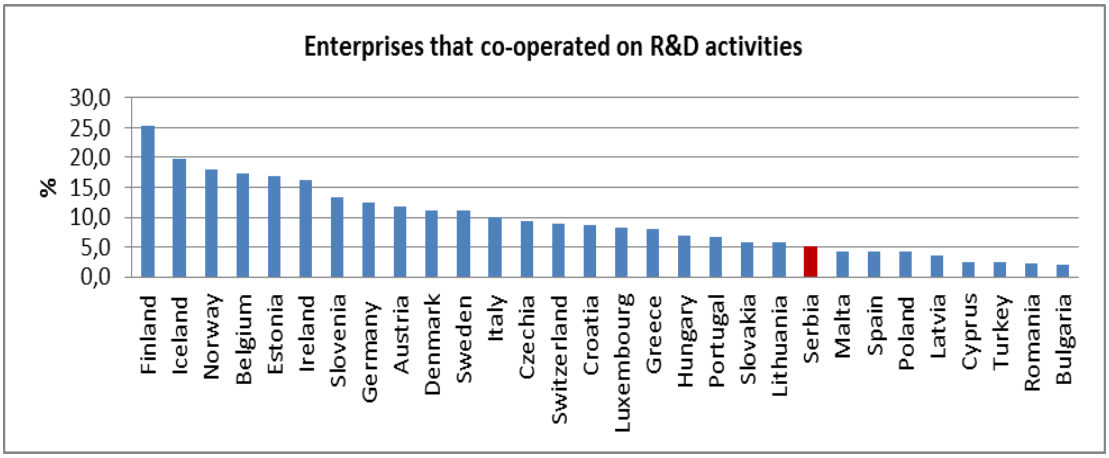
Graph 2: Share of enterprises that contracted-out R&D activities in the period 2016-2018 (Source: Authors' calculations based on National CIS and Eurostat data)

The business sector in Serbia has good results in realizing innovative activities that do not involve R&D. According to the share of companies cooperating with other entities on innovative activities, Serbia ranks 10th out of 30 EU member states and associated countries (Graph 3). Cooperation on innovative activities is mostly realized through a vertical chain of cooperation, i.e. with suppliers and clients or customers. Horizontal cooperation, which implies cooperation with competitors and the research sector, is less represented.



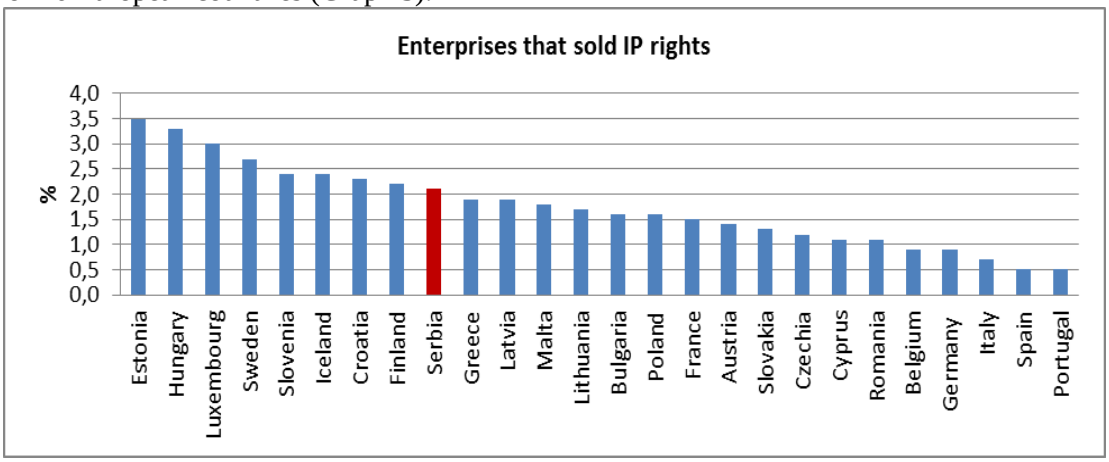
Graph 3: Share of enterprises that cooperated on innovation activities in the period 2016-2018 (Source: Authors' calculations based on National CIS and Eurostat data)

Given that the business sector from Serbia is recording very low investments in R&D activities, it was expected that the cooperation on R&D activities is weak. According to this indicator, Serbia ranks 22nd out of 30 EU members and associated countries (Graph 4).



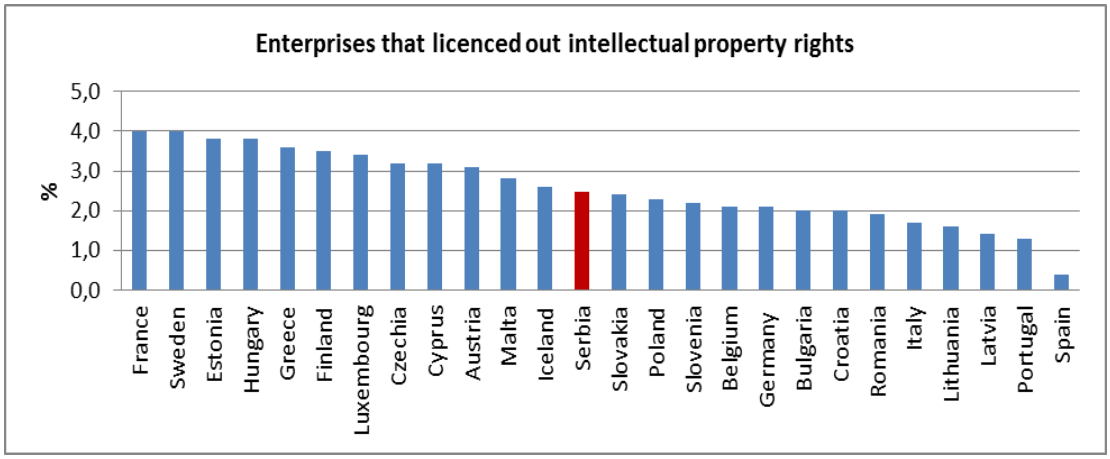
Graph 4: Share of enterprises that cooperated on R&D activities in the period 2016-2018 (Source: Authors' calculations based on National CIS and Eurostat data)

Managing IP rights in accordance with the model of open innovation implies openness and cooperation in the creation of IP as well as opening opportunities for licensing IP rights and technology transfer. Only 2.1% of companies in Serbia sold IP rights to other entities in the period 2016-2018. However, the situation in more developed European countries is not much better. According to this indicator, Serbia is on the high 9th place out of 26 European countries (Graph 5).



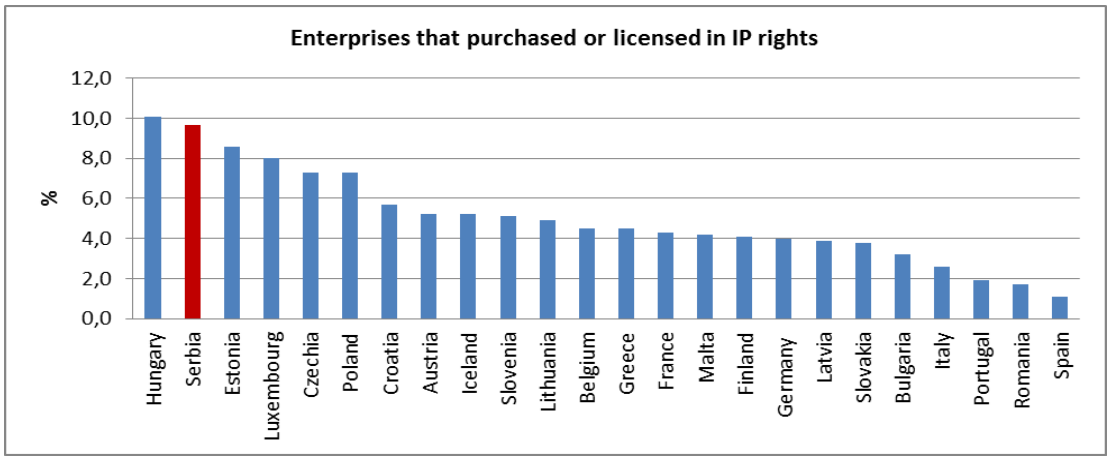
Graph 5: Share of enterprises that cooperated on R&D activities in the period 2016-2018 (Source: Authors' calculations based on National CIS and Eurostat data)

In addition to selling IP rights, the more common practice of the business sector is licensing out IP rights. This practice is based on a business arrangement in which one company gives another company permission to manufacture its product for a specified payment. According to the statistics related to the period 2016-2018, around 2.5% of the enterprises from Serbia managed to licence out their IP rights. Graph 6 shows that other EU member states are more prone to lincense out than to sell IP rights.



Graph 6: Share of enterprises that licenced out IP rights in the period 2016-2018
(Source: Authors' calculations based on National CIS and Eurostat data)

The enterprises from Serbia are more oriented toward licensing in or purchasing IP rights than to selling their own IP rights. In total 9.7% of enterprises have been engaged in licensing in technologies from other entities i.e. the owners of IP rights. Comparing this trend with EU member states, it can be concluded that after Hungary, Serbia is a leader in the appropriation and absorption of technologies and IP rights (Graph 7).



Graph 7: Share of enterprises that purchased or licensed in IP rights in the period 2016-2018
(Source: Authors' calculations based on National CIS and Eurostat data)

5. CONCLUSION

This paper provides an insight into the current position of Serbia in relation to the EU member states with regards to doing business according to the key principles of the OIM. The paper presents a limited number of indicators that show the practices of companies in innovative activities and degree of cooperation in the process of managing innovations. Although limited, these indicators undoubtedly indicate the basic principles of the OIM.

More than half of the enterprises from Serbia are innovative, which means that they are engaged in innovative activities resulting in new or improved products/services or processes. On the other side, engagement in R&D activities is poor. Although innovation does not necessarily involve R&D activities, it is evident from an international perspective that the business sector from Serbia is at the bottom of Europe in

R&D activities. However, the cooperation on innovative activities (excluding R&D) is relatively high. According to this indicator, Serbia is performing better than half of the EU member states.

Due to limited technological and innovative capacities, it is evident that companies in Serbia are oriented towards the adoption and diffusion of new technology rather than selling or licensing out their own IP rights. Such indicators are expected and are in line with the current level of development of the Serbian economy.

With regards to the current state of enterprises from Serbia in using the OIM, it is evident that this business model is not represented in the Serbian economy. Furthermore, it can be seen that most European countries have not adopted this business model too. In general, a very low percentage of companies in the European Union cooperates on innovation and R&D activities with other entities. When it comes to the flow of IP rights, these indicators are even worse.

This research has certain limitations mostly related to the research approach. Quantitative indicators are observed, while qualitative indicators are not considered. In the future research, it would be interesting to make a qualitative analysis of business models in Serbia in order to determine specific circumstances, needs, opportunities and other relevant factors for the application of the OIM.

ACKNOWLEDGEMENT

The research described in this paper was funded by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

LITERATURE

[1] Godin, B. (2006). The Linear Model of Innovation: The Historical Construction of an Analytical Framework, Science, Technology & Human Values, 31 (6), 639–667.

[2] Kline, S. & Rosenberg, N. (1986). An overview of innovation, in Landau R, Rosenberg N, editors. The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth, National Academy of Sciences, Washington, DC. 275-306. 1986.

[3] Kutlača, Đ., Popović-Pantić, S. & Živković, L. (2020). Innovativeness without protection. XVII International Symposium SymOrg 2020, Symposium Proceedings, pp. 153-158, Belgrade (online), September 7-9, 2020, ISBN 978-86-7680-385-9, COBISS.SR-ID 22734345.

[4] Štrbac, D. & Kutlača, Dj. (2018). Innovation activity in Serbian enterprises, Paper presented at the XVI International Symposium Symorg 2018: Doing Business in the Digital Age: Challenges, Approaches and Solutions, June 7-10, 2018, Zlatibor, Serbia, 823-830.

[5] Prljic, K., Mijalkovic J. & Prljic, S. (2016). Innovation Analysis of the Sector of Small and Medium Enterprises and Entrepreneurs (SMEs) in the Republic of Serbia, Economic Analysis. 49(3-4), 81-96.

[6] Chesbrough, H. (2003). Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology. Cambridge, MA: Harvard Business School Press.

[7] Chesbrough, H. (2012). Open Innovation Where We've Been and Where We're Going. Research Technology Management, 55(4), 20-27.

[8] Enkel, E., Gassmann, O. & Chesbrough, H., (2009). Open R&D and open innovation: Exploring the phenomenon. R&D Management, 39(4), 311-316.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

ISTRAŽIVANJE JAVNOG MNJENJA U FUNKCIJI SAGLEDAVANJA UTICAJA RAZLIČITIH DRUŠTVENO - EKONOMSKIH FAKTORA NA PONAŠANJE U PANDEMIJI

PUBLIC OPINION RESEARCH IN THE FUNCTION OF CONSIDERING THE INFLUENCE OF DIFFERENT SOCIO-ECONOMIC FACTORS ON BEHAVIOR IN A PANDEMIC

JOVANKA VUKMIROVIĆ[1], ALEKSANDRA VUKMIROVIĆ[2], SOFIJA VUKMIROVIĆ[1]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, jovanka.vukmirovic@fon.bg.ac.rs; vukmirovic.sofija@gmail.com
[2] Beogradska akademija poslovnih i umetničkih strukovnih studija, Beograd, aleksandra.vukmirovic@bpa.edu.rs

---

Rezime: *Javno mnjenje predstavlja odnos, stav i mišljenje većine o pitanjima od šireg društvenog značaja (političkim, ekonomskim, humanitarnim, zdravstvenim i sl) u određenom trenutku. Osnovna uloga istraživanja javnog mnjenja je sagledavanje stava većine u ukupno posmatranoj populaciji ali za analizu fenomena koji se posmatra, od posebnog su značaja razlike u stavovima između segmenata te populacije, mapiranih prema setu geografskih i demografskih parametara. U radu su prikazani rezultati istraživanja javnog mnjenja u Srbiji, koji se odnose na formiranje stavova, mišljenja i poverenja u institucije u uslovima pandemije Covid19. Dat je metodološki okvir primarnog istraživanja (predmet i cilj, obuhvat, način prikupljanja podataka i vremenski okvir) a radi poređenja i pouzdanosti izvedenih zaključaka, dat je prikaz podataka iz sekundarni izvora, odnosno prilikom prikupljanja materijala za ovaj rad korišćene su brojne studije i analitički tekstovi domaće stručne javnosti.*

Ključne reči: *Istraživanje javnog mnjenja, društveno – ekonomski faktori, mediji, pandemija, formiranje stavova, poverenje, ponašanje.*

Abstract: *Public opinion represents the corelation, attitude and opinion of the majority on issues of wider social importance (political, economic, humanitarian, health, etc.) at a given time. The main role of public opinion research is to consider the opinion of the majority in the total observed population, but for the analysis of the observed phenomenon, differences in attitudes between segments of that population, mapped according to a set of geographical and demographic parameters, are of special importance. The paper presents the results of public opinion research in Serbia, which relate to the formation of attitudes, opinions and trust in institutions in the context of the Covid19 pandemic. The methodological framework of primary research (subject and goal, scope, method of data collection and time frame) is given, and in order to compare and reliably draw conclusions, data from secondary sources are presented, ie numerous studies and analytical texts were used in collecting materials for this paper. domestic professional public.*

Keywords: *Public opinion research, socio - economic factors, media, pandemic, attitude formation, trust, behavior.*

Kombinatorna optimizacija

Combinatorial Optimization

XLVIII Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23. September 2021.
MATΦ University of Belgrade Faculty of Mathematics
Mathematical Institute SANU

SOME REMARKS ON THE EFFICIENCY OF COMPLEXITY INDICES FOR THE TRAVELING SALESMAN PROBLEM

DRAGOŠ CVETKOVIĆ[1], ZORICA DRAŽIĆ[2], VERA KOVAČEVIĆ - VUJČIĆ[3]

[1] Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade and Mathematical Institute SANU, Belgrade, Serbia, ecvetkod@etf.rs
[2] Faculty of Mathematics, University of Belgrade, Belgrade, Serbia, zdrazic@matf.bg.ac.rs
[3] Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade, Belgrade, Serbia, verakov@fon.bg.ac.rs

Abstract: *We consider the symmetric traveling salesman problem (TSP) with instances represented by complete graphs G with distances between cities as edge weights. A complexity index is an invariant of an instance I by which we predict the execution time of an exact TSP algorithm for I. In previous papers we have considered some short edge subgraphs of G and defined several new invariants related to their connected components. Extensive computational experiments with instances on 50 vertices with the uniform distribution of integer edge weights in the interval [1,100] show that there exists correlation between the sequences of selected invariants and the sequence of execution times of the well-known TSP Solver Concorde. In this paper we give some remarks on the efficiency of these complexity indices and indicate how they can be practically used.*

Keywords: *Traveling salesman problem, Complexity index, Concorde TSP Solver, Random instances, Correlation*

1. INTRODUCTION

This paper offers some new observations in the study of execution time prediction of NP-hard combinatorial optimization problems. We consider the symmetric traveling salesman problem (TSP) with instances represented by complete graphs G with distances between cities as edge weights. A standard approach is to use randomly generated instances i.e. instances in which the weights of edges of a complete graph are generated randomly. Our approach uses the notion of a complexity index [3], which is defined as follows:

Definition. *Let A be an exact algorithm for solving an NP-hard combinatorial optimization problem C and let I be an instance of C of dimension n. A complexity index of I with respect to A is a real number, computable in polynomial time $P(n)$ from I, by which we can predict (in a statistical sense) the execution time of A for I.*

It is obviously important that a complexity index I of an instance can be computed quicklier than the algorithm A solves this instance. However, the requirement for a polynomial time in the above definition can be relaxed, provided the mentioned condition is fulfilled.

A complexity index of an instance I is an invariant of I. An invariant of an instance can serve as a complexity index with respect to several algorithms for solving the considered problem but, of course, with different efficiencies. The efficiency of a complexity index has to be statistically estimated using the correlation between the index value and the execution time of the algorithm A. We use the standard correlation coefficient (Pearson). Also one should specify the number of tested instances and the way how they are generated.

The coefficient of linear correlation for two sequences of length s is defined by

$$C_{BC} = \frac{1}{\sqrt{v_B v_C}} \sum_{i=1}^{s} (b_i - m_B)(c_i - m_C) \tag{1}$$

where b_i, c_i, m_B, m_C are values and mean values of the corresponding sequences B and C, respectively, and $v_B = \sum_{i=1}^{s} (b_i - m_B)^2, v_C = \sum_{i=1}^{s} (c_i - m_C)^2$.

We consider the symmetric traveling salesman problem (TSP) with instances represented by complete graphs G with distances between cities as edge weights.

Several complexity indices for the TSP with respect to exact branch and bound algorithms have been studied in [5, 7]. For early references see [6, 7].

In [4] we have defined several new invariants related to connected components of short edge subgraphs of G as well as to the solution of the assignment problem. Experiments with instances on 50 vertices with the uniform distribution of integer edge weights in the interval [1,100] show that there exists correlation between the sequences of selected invariants and the sequence of execution times of TSP solver Concorde.

For numerical experiments we have used the computer package the Concorde TSP Solver, a program for solving the symmetric traveling salesman problem. It was written by David Applegate, Robert E. Bixby, Vašek Chvátal, and William J. Cook, in ANSI C, and is freely available for academic use [1]. Concorde is widely regarded as the fastest TSP solver currently in existence.

We have extended in [8] considerations from [4] to TSP instances with up to 100 vertices. The results of extensive computational experiments on randomly generated instances show that complexity indices based on the solution of the assignment problem perform in a similar way for 70 and 100 vertices as for 50, while indices based on connected components of short edge subgraphs are inefficient for 70 and 100 vertices.

In this paper, the goal is to explain how the complexity indices based on short edge subgraphs can be practically used in cases when they are efficient and to point out possible explanations of the fact that their efficiency decreases as the number of vertices increases.

2. EXPERIMENTS

Intuitively, the hardness of an instance I of the TSP depends on the distribution of short edges within G. Solutions of the minimum spanning tree [6, 7] and semidefinite programming [5] relaxations gave as the output certain short edge subgraphs. Recently we started to consider some other classes of short edge subgraphs of G as non-weighted graphs and several their invariants as potential complexity indices. How short an edge should be to be considered as "short" depends on the context. The efficiency of the indices has been experimentally investigated on randomly generated TSP instances by measuring the linear and Spearman rank correlation coefficients between values of complexity indices and execution times of an exact TSP solver.

The goal of the research is to find efficient (i.e. with high values of the mentioned correlation coefficients) complexity indices by combining theoretical considerations and computer experiments.

We shall give some details from the paper [4].

We managed to obtain very good results with the Concorde TSP Solver and instances with 50 vertices. This is the greatest number of vertices ever used in the literature regarding this type of experiments.

For the dimension $n = 50$ we have generated randomly two sets $S(1)$ and $S(2)$, each consisting of hundred TSP instances with integer weights uniformly distributed in interval $[1, 100]$. Since Concorde execution times slightly vary when the same instance is run several times, we recorded the average execution time for five executions of the same instance. The corresponding standard deviations are reasonably small. Average execution time for a particular instance varies between 26 and 872 milliseconds for instances in the set $S(1)$ and for instances in the set $S(2)$ between 24 and 1206 milliseconds.

Our attention has been attracted by the short edge subgraph consisting of edges of length 1 and edges of length 2. From the point of view of the theory of random graphs, such subgraphs are random graphs of Erdős-Rényi type with probability $p = 0.02$ for any two vertices to be connected by an edge. For this value of p the theory predicts the almost surely appearance of a giant component whose size is at least $n^{2/3}$ (see Bollobás [2]). In our sets of instances we came across several components with over 20 vertices and one had even 34 vertices.

The Erdős-Rényi theory of random graphs studies the expected structure of random graphs in terms of the probability p for any two vertices to be connected by an edge. Above the critical value $p = \frac{1}{n}$ the giant component grows with p by capturing smaller components. Eventually, the graph becomes connected and, a bit later, regular.

The described type of short edge subgraphs will be called (1,2)-Erdős subgraphs, or briefly Erdős subgraphs if the weights of involved edges are not specified.

We considered, among other things, the following six invariants for these subgraphs:

J_1: the product of the numbers of vertices of the components

J_2: the product of the squares of the numbers of vertices of the components

J_3: the product of the numbers of vertices in the longest self-avoiding (cycle free) paths in the components

J_4: the product over all components of the product of the number of vertices in the component and the length of the longest self-avoiding path in the component (in the case that the length is equal to 0 we put 1 instead)

J_5: the product over all components of the product of the number of vertices in the component, the number of the longest self-avoiding paths in the component and their length (in the case that the length is equal to 0 we put 1 instead)

J_6: the product over all components of the square of the length of the longest self-avoiding path in the component increased by one.

We see that in all cases there is no contribution of isolated vertices (i.e. trivial components) to the value of the invariant. Suppose that the components of the short edge subgraph are indexed by i and consider the i-th component. Let k_i be the number of vertices, d_i the length of the longest self-avoiding path and S_i the number of such paths in the i-th component. The following formulas hold:

$$J_1 = \prod_i k_i, \;\; J_2 = \prod_i k_i^2, \;\; J_3 = \prod_i d_i,$$

$$J_4 = \prod_i k_i d_i, \;\; J_5 = \prod_i k_i S_i d_i, \;\; J_6 = \prod_i (d_i + 1)^2,$$

where $\prod_i$ denotes the product over all non-trivial components of the subgraph.

Linear correlation coefficients between values of complexity indices $J_1 - J_6$ for instances in sets $S(1)$ and $S(2)$, and Concorde execution times vary between 0.46 and 0.60. This represents a moderate correlation but for our purposes very important.

Table 1: Linear correlation coefficients related to short edge subgraphs

Complexity indices	Instances $S(1)$	Instances $S(2)$
J_1	0.47	0.48
J_2	0.49	0.60
J_3	0.46	0.47
J_4	0.47	0.47
J_5	0.46	0.51
J_6	0.52	0.59

3. PRACTICAL USE OF THE INTRODUCED COMPLEXITY INDICES

The numbers k_i can be computed in a polynomial time. Due to a small number of vertices and edges in the components of short edge subgraphs it is expected that the computation of numbers d_i and S_i can also be quickly performed although these problems are NP-hard in general. At least the indices J_1 and J_2 can be computed in a polynomial time.

We have recorded the execution times for computing invariants $J_1 - J_6$ in series $S(1)$ and $S(2)$, i.e. to compute the corresponding correlation coefficient. Of course, calculation by formula (1) takes almost no time and we can assume that the whole time is spent for calculation the corresponding invariant for the 100 instances from the corresponding series.

The sum of average execution time of Concorde for the 100 instances from $S(1)$ is equal to 12.16 seconds while computation times for computing correlation coefficients for invariants $J_1 - J_6$ are 0.694184, 0.687704, 1.356419, 1.324439, 1.356444, 1.349718 seconds, respectively.

In a similar way we have for the series $S(2)$ the following results: the sum of average execution time of Concorde for the 100 instances is equal to 19.91 seconds. Computation times for computing correlation coefficients for complexity indices $J_1 - J_6$ are 0.706285, 0.692794, 1.490068, 1.490839, 1.490541, 1.474505 seconds, respectively.

We see that the calculation of any of these complexity indices is quicker than the execution of Concorde!

We can use these data to predict the execution time of Concorde for a given randomly generated TSP instance I on $n = 50$ vertices. It is not necessary that such an instance belongs to our series of instances!

Let T_ℓ and T_u be the smallest and the largest execution average time of Concorde for instances in the considered series. Note that $T_\ell = 0.026$ and $T_u = 0.872$ for series $S(1)$ and $T_\ell = 0.024$ and $T_u = 1.206$ for series $S(2)$ (in seconds).

Let C_ℓ and C_u be the lower and the upper bound for the invariant J_i for some i in the considered series. Suppose that we obtain the value J for the invariant J_i in the instance I. For such a single instance, it is reasonable to use interpolation, so that the predicted time T of the Concorde execution for this instance should fulfill the relation

$$\frac{J - C_\ell}{C_u - C_\ell} = \frac{T - T_\ell}{T_u - T_\ell}.$$

Of course, on should have in mind that the correctness of such a prediction is subject to certain probability distribution (see the next Proposition).

In this way we can predict Concorde execution times for all instances in a series. Now we can compare predicted times with actual average execution times for the whole series by calculating the corresponding correlation coefficient. Since predicted time T is a linear function of invariant J_i, using elementary properties of correlation coefficients, it is easy to see that the following observation holds.

Proposition. *The correlation coefficient between predicted times and actual average Concorde execution times is equal to the correlation coefficient between the sequence of values of the invariant J_i and average Concorde execution times.*

For the completeness sake, the lower and the upper bound for the invariants $J_1 - J_6$ and series $S(1)$ and $S(2)$ are given in Table 2.

Table 2: Values of C_ℓ and C_u for the invariant J_i in the series $S(1)$ and $S(2)$

	$S(1)$		$S(2)$	
	C_ℓ	C_u	C_ℓ	C_u
J_1	102	$0.461 \cdot 10^6$	40	$0.280 \cdot 10^6$
J_2	10404	$0.212 \cdot 10^{12}$	1600	$0.784 \cdot 10^{11}$
J_3	54	$0.276 \cdot 10^6$	23	$0.187 \cdot 10^6$
J_4	768	$0.398 \cdot 10^9$	880	$0.336 \cdot 10^9$
J_5	13872	$0.978 \cdot 10^{13}$	1760	$0.206 \cdot 10^{13}$
J_6	2916	$0.764 \cdot 10^{11}$	529	$0.348 \cdot 10^{11}$

We see that for any complexity index $J_1 - J_6$ and for any series of instances we can make a prediction of Concorde execution time for any randomly generated instance on $n = 50$ vertices. We shall give here just a couple of examples.

For the instance 9 from series $S(1)$ with average Concorde execution time 0.034 we got the following predictions 0.036, 0.026, 0.038, 0.027, 0.026, 0.026 by invariants $J_1 - J_6$, respectively.

In a similar way, for a randomly generated instance (outside of our series) with average Concorde execution time 0.042 we got the following predictions 0.034, 0.026, 0.035, 0.026, 0.026, 0.026.

A detailed study of such predictions will be given in our paper [9].

4. BEHAVIOR OF COMPLEXITY INDICES AS THE NUMBER OF VERTICES INCREASES

In [8] we extend considerations from [4] to TSP instances with up to 100 vertices. The results of extensive computational experiments on randomly generated instances show that complexity indices based on the solution of the assignment problem perform in a similar way for 70 and 100 vertices as for 50, while indices based on connected components of short edge subgraphs are inefficient for 70 and 100 vertices

Most of complexity indices considered in [3] - [8] are based on some kinds of short edge subgraphs. However, we have to distinguish between indices based on the solution of an optimization problem (e.g. the assignment problem) and those based on subgraphs which literally contain edges with the smallest weights.

The case of invariants J_1 - J_6 is very specific. The corresponding short edge subgraphs are Erdős subgraphs which contain a number of shortest edges which is in average 2% of all edges, independently of the number of vertices. The explanation of the fact that the efficiency of these indices goes down as the number of vertices increases is one of the main topics for future research.

We believe that the explanation should be looked for in the theory of random graphs.

Here we just mention that the corresponding short edge subgraphs for the cases $n = 50, 70, 100$ contain in average 24.5 , 48.3 and 99 edges, respectively.

The appearance of the giant component is certainly relevant for the decreasing efficiency of our indices.

Indices $J_1 - J_6$ for $n = 70$ are inefficient and therefore are not reproduced. In most of the cases the corresponding correlation coefficients were below or around 0.10. Note that we had difficulties in computing parameters d_i and S_i because of the large time and space complexity of the applied algorithms.

Results for $n = 70$ from [8], mentioned above, can be explained by the fact that the average number of edges in Erdős subgraphs (2%, i.e. 0.02) is above the critical value $1/n$, i.e. 1/70 = 0.142... for appearance of the giant component. For that reason, we have also considered Erdős subgraphs consisting only of edges of weight 1, hence obtaining subgraphs with 1% edges in average, i.e. bellow the critical value. The results were again unsatisfactory, i.e. we got small values of correlation coefficients.

Indices $J_1, \ldots, J_6$ appear to be inefficient also for $n = 100$. This is in accordance with the conclusion, stated in [4], that correlation coefficients of the complexity indices based on short edge subgraphs decrease as the number of vertices increases.

We should explain here that the results for $n = 100$, mentioned above, have been also obtained with Erdős subgraphs consisting only of edges of weight 1. Inclusion of edges of length 2 causes a great running time of our programs because of giant components in the short edge subgraphs.

5. CONCLUSION

We have given computer execution times showing that for the TSP instances on $n = 50$ vertices the calculation of any of complexity indices $J_1 - J_6$ is quicker than the application of the TSP-solver Concorde on the instance. We present an equation by which we can predict the execution time of Concorde for a given instance. By the Erdős-Rényi theory of random graphs the appearance and the growth of a giant component in Erdős subgraphs for higher numbers of vertices makes calculation of complexity indices $J_3 - J_6$ time consuming.

More details on the behaviour of complexity indices will be given in the forthcoming paper [9].

Acknowledgement

The work on this paper was supported by the project F-159 of the Serbian Academy of Sciences and Arts.

REFERENCES

[**1**] Applegate, D., Bixby, R. E., Chvátal, V., & Cook, W. J. (2006). The Traveling Salesman Problem: A Computational Study. Princeton University Press.

[**2**] Bollobás, B. (2001). Random Graphs (2nd ed.). Cambridge University Press.

[**3**] Cvetković, D. (2012). Complexity indices for the travelling salesman problem and data mining. Transactions of Combinatorics, 1, 35–43.

[**4**] Cvetković, D., Čangalović, M., Dražić, Z., & Kovačević-Vujčić, V. (2018). Complexity indices for the traveling salesman problem based on short edge subgraphs. CEJOR, 26(3), 759–769.

[**5**] Cvetković, D.,Čangalović, M., & Kovačević-Vujčić, V. (1999). Complexity indices for the traveling salesman problem based on a semidefinite relaxation. Zbornik radova XXXVI Simpozijuma iz operacionih istraživanja (SYM-OP-IS 1999), Beograd, 177–180.

[**6**] Cvetković, D., Dimitrijević, V., & Milosavljević, M. (1992). A survey of some non-standard traveling salesman problems. Yugoslav Journal of Operations Research, 2(2), 163–185.

[**7**] Cvetković, D., Dimitrijević, V., & Milosavljević, M. (1996). Variations on the Travelling Salesman Theme. Libra product, Beograd.

[**8**] Cvetković, D., Dražić, Z., & Kovačević-Vujčić V. (2021). Complexity indices for the traveling salesman problem continued. YUJOR, DOI: https://doi.org/10.2298/YJOR201121014C.

[**9**] Cvetković, D., Dražić, Z., & Kovačević-Vujčić V. Behaviour of complexity indices for the traveling salesman problem. In preparation.

XLVIII Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23. September 2021.
MATΦ University of Belgrade Faculty of Mathematics
Mathematical Institute SANU

MATHEMATICAL MODELS FOR THE WEIGHTED SCHEDULING PROBLEM WITH DEADLINES AND RELEASE TIMES

UNA STANKOVIĆ[1], LUKA MATIJEVIĆ[1], TATJANA DAVIDOVIĆ[1]

[1] Mathematical Institute, Kneza Mihaila 36, Belgrade, Serbia, {una, luka, tanjad}@mi.sanu.ac.rs

Abstract: *We consider a non-preemptive version of the scheduling problem with multiple identical machines, deadlines, release times, and task weights. The main goal is to select a subset of tasks to be scheduled for execution in such a way to maximize the total sum of weights of all scheduled tasks. For this purpose, we devise two different mathematical formulations and test them on a set of randomly generated instances using the GNU Linear Programming Kit as a solver.*

Keywords: *Task scheduling, Multiple machines, Mixed-Integer linear program, Combinatorial optimization, Exact solver*

1. INTRODUCTION

The task scheduling problem is a widely known problem in the field of discrete mathematical optimization. It was first introduced by Graham [5] in 1966. Over the course of years, many different variations have been proposed, considering different aspects and applications of the problem. Some of the variations are described in a survey [6]. In general, these variations can be classified according to several criteria [8]: *task data* (such as task length, release time, deadline, etc.), *task characteristics* (such as precedence relations, preemption, etc.), *machine environment* (single or multiple machines, homogeneity of machines, etc.), and *optimality criteria*. Scheduling problems generally belong to the class of NP-hard problems, but in specific variants they can be NP-complete [16]. More details about scheduling problem can be found in books [3, 14].

In this paper, we address the problem of scheduling a set of tasks over several identical machines. This problem can be specified with Graham's notation [6] as $(P|r_j, d_j|\sum w_j X_j)$, where X_j is a binary variable which takes the value of 1 if task j is scheduled, or 0 otherwise. Each task has its length, which determines how many time slots a task will take to complete. A non-preemptive version of a problem is considered, meaning that the tasks cannot be interrupted before they are completed. Additional constraints are imposed on tasks, such as release times and deadlines. The release time of a task prevents its execution until the specified number of time units has passed, while deadlines assure that no task finishes its execution after a specified time unit. Together, release times and deadlines can be used to implicitly enforce some form of precedence relation among tasks. Unlike many other similar variants of the problem, which allow missing the deadline with some penalty, the considered version of the problem strictly forbids this situation. In our version, tasks that cannot be scheduled in such a way that both deadline and release time constraints are met, are not going to be scheduled at all. This adds additional complexity to the problem because we need to determine a proper subset of tasks that are going to be executed, so as to fulfill all the constraints and maximize the total sum of weight of these tasks.

Similar variants of this problem have already been investigated. In paper [18], a single-machine problem with release times, deadlines, setup times, and rejection has been described. Missing a deadline was allowed with a certain penalty, and the authors proposed a dynamic programming method for finding the solution. In paper [4], an approximation algorithm was proposed for scheduling tasks with deadlines and release times on a minimal number of machines. The authors of paper [17] considered scheduling with deadlines and release times, precedence, and exclusion relation on a single machine. A weighted version of the scheduling problem with release times and deadlines on a single machine was considered in [15] in the case of unit tasks (i.e., when the lengths of all tasks are the same). The authors proposed a greedy algorithm for efficiently finding a good solution.

The scheduling problems have many practical applications, from the use in multiprocessor systems, scheduling talks at conferences, production processes in the industry, assigning resources in a cloud environment, etc. The application that we are primarily interested in is the use of a scheduler as a part of *Proof-of-Useful-Work* (**PoUW**) in blockchain systems. In recent years, many concerns were raised about a huge amount of energy being spent on mining new blocks. The main problem is that most of that energy is used for calculating hash values, which is not in any way useful by itself. Because of that, Proof-of-Useful-Work [2] is suggested for

overcoming this issue, by allowing new blocks to be mined by doing something "useful". Many recent papers addressed PoUW, including [1, 9, 10, 11].

As an application of our models, we consider PoUW that allows users to submit their own tasks to be solved, specifying the price they are willing to pay, together with deadlines and release times. In that case, miners need to choose which tasks they are going to solve and in which order, with the goal of maximizing their reward (profit, expressed as a sum of task prices). Selecting these tasks intuitively may lead to a suboptimal reward, and our model can help miners to make more proper selection. Especially, if miner explores multiple machines, it can decide to use additional software, which can determine the best possible subset of tasks (and their order) to be executed and maximize the profit. As we always need to be able to add new blocks into a blockchain, and miners do not want to lose any potential profit by letting their machines be idle, there should not be any empty timeslots between two tasks. To fill all of the potential empty timeslots, some dummy tasks (with zero weights) are added to the pool of tasks. More precisely, if there are no user-submitted tasks to be scheduled, miners can solve a classical *Proof-of-Work* (**PoW**) hash-based puzzle. A dummy task defined this way has a release time of 0, and a large enough deadline so that it could never be missed. Even though dummy tasks have a weight of 0 (they do not explicitly bring any reward to a miner), a miner can still benefit from solving them if his block gets accepted into a blockchain, in the same way as in the classical PoW.

Another potential usage of our models can be found in blockchain systems that use some forms of centralization. Even though blockchain is intrinsically a decentralized system, some authors investigated the possibility of introducing some level of centralized control, in order to reduce the energy wasted by preventing multiple miners from solving the same problem. In [7], the authors proposed a system in which a set of transactions for each block is determined by a manager, as well as a set of allowed nonce values for each miner (in contrast to classical PoW in which miners can choose transactions and nonce for themselves). This approach ensures that each miner examines only his portion of the search space, thus preventing unnecessary calculations. We further expand on this idea by suggesting that a manager can also assign the user-submitted task to miners. In addition, miners can be organized into groups in such a way that the miners from the same group solve different tasks from the assigned subset, which simulates scheduler with multiple machines. Admittedly, these groups would not be identical, but it would not be overly demanding to modify our model to work with heterogeneous machines. In this situation, the manager would solve our scheduling problem, and assign the appropriate subset of tasks to each of the mining groups.

The main contribution of this paper are two new mathematical formulations that we propose for the considered scheduling problem in the form of MILP. The experimental evaluation is carried out on a set of randomly generated instances. These instances vary in the number of available machines and the number of tasks that need to be scheduled. We tested the proposed models within *GNU Linear Programming Kit* **GLPK** solver [1]. As it turns out, the problem is highly complex because of the fact that we need to find the optimal subset of tasks to be executed. Under a time limit, GLPK solver is unable to prove the optimality for most of the instances, while in the case of very large instances finding even the first feasible solution proved to be a challenge for GLPK.

This paper is organized as follows. The introduction and the review of the relevant literature are presented in Section 1. In Section 2, we formulate the problem as the Mixed-Integer Linear Program. In Section 3, the experimental evaluation is presented, performed on a set of test instances using GLPK solver. Concluding remarks are given in Section 4, together with the ideas for further research.

2. PROBLEM DESCRIPTION

We can formulate the problem in the following way. Let us assume that we have n tasks that we want to schedule, as well as K identical machines on which we can execute the tasks. Each task is characterized by a deadline, release time, task length, and task weight. A non-preemptive version of the problem is considered. The deadlines cannot be exceeded, but a task can be omitted from the schedule without penalty. Empty time slots, in which no task is scheduled, are not permitted. This is justified by the intended application in PoUW. The goal is to maximize the total sum of all the scheduled tasks, with respect to constraints imposed by deadlines and release times. To unify the problem description, we include two dummy tasks. The task with index 0 is considered to be the *starting task*, in the sense that every machine has to start with this task. Similarly, a task with index $n+1$ is the *ending task*, so the execution on every machine has to end with this task. Naturally, both of these tasks have the 0 weight, or in other words, they do not contribute to the value of the objective function. For simplicity, we will denote with N the total number of tasks, the real ones plus starting and ending tasks ($N = n+2$).

[1] https://www.gnu.org/software/glpk/

Let us introduce the necessary notation:

- N - The number of tasks,
- K - The number of available machines,
- l_i - The length of task i,
- d_i - The deadline of task i,
- r_i - The release time task i,
- w_i - The weight of task i,
- α - The parameter that plays the role of a large enough constant, however, it is enough to set it to the maximal deadline: $\max_i\{d_i\}$.

We have two different sets of decision variables, binary variables x and real variables t defined as:

$$x_{i,j,k} = \begin{cases} 1, & \text{if the task } j \text{ is executed immediately after task } i \text{ on a machine } k, \\ 0, & \text{otherwise;} \end{cases}$$

$$t_{i,j,k} = \text{the starting time of the task } j \text{ on a machine } k, \text{ corresponding to } x_{i,j,k}.$$

The proposed MILP for the considered problem can be defined as follows:

$$\max \sum_{i=0}^{N} \sum_{j=1}^{N+1} \sum_{k=1}^{K} w_j \cdot x_{i,j,k} \tag{1}$$

s.t.

$$\sum_{i=0}^{N} \sum_{k=1}^{K} x_{i,j,k} \leq 1, \quad 1 \leq j \leq N,\ i \neq j \tag{2}$$

$$x_{i,i,k} = 0, \quad 1 \leq i \leq N, \quad 1 \leq k \leq K \tag{3}$$

$$\sum_{i=0}^{N} x_{i,j,k} = \sum_{i=1}^{N+1} x_{j,i,k}, \quad 1 \leq j \leq N,\ i \neq j\ 1 \leq k \leq K \tag{4}$$

$$\sum_{j=1}^{N+1} x_{0,j,k} \leq 1, \quad 1 \leq k \leq K \tag{5}$$

$$t_{0,j,k} = 0, \quad 1 \leq j \leq (N+1),\ 1 \leq k \leq K \tag{6}$$

$$t_{i,j,k} \leq x_{i,j,k} \cdot \alpha, \quad 0 \leq i \leq N,\ 1 \leq j \leq (N+1),\ 1 \leq k \leq K \tag{7}$$

$$\sum_{i=1}^{N+1} t_{j,i,k} - \sum_{i=0}^{N} t_{i,j,k} = l_j \cdot \sum_{i=0}^{N} x_{i,j,k}, \quad 1 \leq j \leq N,\ 1 \leq k \leq K \tag{8}$$

$$t_{i,j,k} + l_j \leq d_j, \quad 0 \leq i \leq N,\ 1 \leq j \leq (N+1),\ 1 \leq k \leq K \tag{9}$$

$$t_{i,j,k} \geq r_j \cdot x_{i,j,k}, \quad 0 \leq i \leq N,\ 1 \leq j \leq (N+1),\ 1 \leq k \leq K \tag{10}$$

$$x_{i,j,k} \in \{0,1\}, \quad 0 \leq i \leq N,\ 1 \leq j \leq (N+1),\ 1 \leq k \leq K \tag{11}$$

$$t_{i,j,k} \geq 0, \quad 0 \leq i \leq N,\ 1 \leq j \leq (N+1),\ 1 \leq k \leq K \tag{12}$$

The objective function (1) represents the total weight of all the scheduled tasks. Constraints (2) and (3) ensure that no task is executed more than once. Constraints (4) ensure that every scheduled task, except for the first and the last, must have a preceding and subsequent task. This way, we can form an ordered list of tasks for each of the machines. Every machine has at most one start task, as suggested by constraints (5). Of course, there could be some machines without any scheduled tasks. As the list of tasks for each machine always starts with the dummy task 0, we initialize its starting time to zero (constraints (6)). Constraints (7) ensure that if task j is not scheduled after task i, the corresponding starting time is set to zero. Constraints (8) establish the rule that after executing a task j, the starting time is increased exactly for the length of that task. The set of constraints (9) impose that all of the deadlines for the scheduled tasks must be met, while constraints (10) are related to the release times of the scheduled tasks. Finally, constraints (11) and (12) determine the type of decision variables.

The proposed model (which we call *MODEL I*) has N^2K binary and N^2K real variables. A closer inspection reveals that not all of those variables are strictly necessary. Specifically, we do not necessarily need information about the previous task for variables that contain starting times, so we can try to reformulate the model in order to reduce the number of real variables to $N \cdot K$. Consequently, we are changing this set of decision variables to be:

$$t_{j,k} = \text{the starting time of the task } j \text{ on a machine } k.$$

The new formulation can be written as:

$$\max \sum_{i=0}^{N} \sum_{j=1}^{N+1} \sum_{k=1}^{K} p_j \cdot x_{i,j,k} \tag{13}$$

s.t.
(2) - (5), (11),

$$t_{0,k} = 0; \quad 1 \leq k \leq K \tag{14}$$

$$t_{i,k} + l_i - t_{j,k} \leq \alpha \cdot (1 - x_{i,j,k}), \quad 1 \leq i \leq N,\ 1 \leq j \leq N,\ 1 \leq k \leq K \tag{15}$$

$$t_{j,k} + l_j \leq d_j; \quad 1 \leq j \leq N,\ 1 \leq k \leq K \tag{16}$$

$$t_{j,k} \geq r_j \cdot \sum_{i=0}^{N-1} x_{i,j,k}; \quad 1 \leq j \leq N,\ 1 \leq k \leq K \tag{17}$$

$$t_{j,k} \geq 0, \quad 0 \leq j \leq (N+1),\ 1 \leq k \leq K \tag{18}$$

This model, referred to as MODEL II, shares constraints (2), (4), (3), (5), and (11) with the previous model. Constraints (14) set the starting time of the first task to 0 for every machine. Constraints (15) serve the same purpose as constraints (8) from *MODEL 1*. The set of constraints (16) guarantee that all of the deadlines for the scheduled tasks will be met, while constraints (17) are related to the release times of the scheduled tasks. The type of decision variables related to release times is given by constraints (18).

3. EXPERIMENTAL EVALUATION

For the purpose of testing our models, we randomly generated a set of ten instances, with a different number of tasks and available machines. The number of machines is ranging from 2 to 4, while the number of tasks takes values between 10 and 45. The instances can be downloaded from `http://www.mi.sanu.ac.rs/`

~luka/resources/scheduling/instances.zip. All the experiments were performed on an Intel i7-10750H processor with 32GB of RAM memory, under a Linux operating system. GLPK v4.65 [12] is used as an exact solution method. For practical reasons, the runtime of GLPK for each instance was set to 30 minutes (1800 seconds).

We present the results obtained by using our two models within GLPK on all ten instances in Table 1 . The first three columns contain some details about test instances, i.e., the name, the number of machines K and the number of tasks N. In the fourth and fifth columns, we display the results obtained using *MODEL I*, consisting of the objective value provided by GLPK (together with the corresponding percentage gap in parentheses), and the CPU time in seconds that GLPK required to obtain the reported solution. Similarly, the last two columns show the results provided by *MODEL II*.

Table 1: GLPK results for tested instances

			MODEL I		**MODEL II**	
Example	**Num. of machines**	**Num. of tasks**	**Obj. value (% gap)**	**CPU time (s)**	**Obj. value (% gap)**	**CPU time (s)**
Ex1	2	10	**27 (0%)**	3.64	**27(0%)**	2.98
Ex2	2	15	23 (69%)	1800	**34 (14.7%)**	1800
Ex3	2	15	**33.0 (21.2%)**	1800	**33 (21.2%)**	1800
Ex4	3	15	35 (8.6%)	1800	**37 (2.7%)**	1800
Ex5	2	20	**30 (56.7%)**	1800	N/A	1800
Ex6	3	20	**42 (21.4%)**	1800	N/A	1800
Ex7	3	20	**44.0 (11.4%)**	1800	N/A	1800
Ex8	4	20	**59.0 (0%)**	1.18	**59.0 (0%)**	12.56
Ex9	4	40	N/A	1800	N/A	1800
Ex10	4	45	N/A	1800	N/A	1800

As we can see from this table, GLPK was not able to provide the optimal solution for most of the instances within the given runtime limit, even though most of the tested instances are small in size. It may happen that by increasing this limit it would be possible to obtain the optimal solution, however, it cannot be guaranteed, and moreover, that could lead to the limited usefulness of the model since these types of problems often need to be solved quickly and on a regular basis. In the case of the two largest instances (Ex9 and Ex10), GLPK was not even able to find the first feasible solution. We can also notice that the instance Ex8 was solved to optimality in a short amount of time, despite having more tasks and machines than previous instances. This is because all of the tasks in this test instance can be scheduled on one of the available machines, without the need to omit some of the tasks. This observation indicates that the most complex part of this problem is finding a subset of tasks that are going to be scheduled. *MODEL II* has shown some promises for the first 4 instances, finding better or equal solutions than *MODEL I*. Despite that, MODEL II requires much more time to find a first feasible solution, and even was not able to find one at all in five out of ten instances. The main conclusion of this study is that this problem is too complex for being solved exactly, so we need to consider a metaheuristic approach to this problem, which we did in our subsequent paper [13].

4. CONCLUSION

In this paper, we presented two new mathematical formulations for the non-preemptive version of the scheduling problem with multiple identical machines, in which each task is characterized with length, weight, deadline, and release time. The goal is to maximize the total sum of weights of all the scheduled tasks, with the possibility to omit any number of tasks from the schedule. Therefore, the considered problem consists of finding the most suitable subset of tasks to be executed, assigning those tasks to the appropriate machine and determining the order in which selected tasks are going to be executed.

The experimental evaluation of these models was performed using GLPK solver, on a set of ten randomly generated instances. The obtained results suggest that the problem is too complex to be solved to optimality in a reasonable amount of time by an exact method. Consequently, applying metaheuristic methods seems to be a more promising approach. We applied one of such methods to this problem and presented the results in a paper [13].

Acknowledgement

This work was supported by the Serbian Ministry of Education, Science and Technological Development, Agreement No. 451-03-9/2021-14/200029, and by the Science Fund of the Republic of Serbia, Grant AI4TrustBC: *Advanced Artificial Intelligence Techniques for Analysis and Design of System Components Based on Trustworthy BlockChain Technology*.

REFERENCES

[**1**] Baldominos, A., & Saez, Y. (2019). *Coin. AI: A proof-of-useful-work scheme for blockchain-based distributed deep learning*. Entropy, 21(8), 723.

[**2**] Ball, M., Rosen, A., Sabin, M., & Vasudevan, P. N. (2017). *Proofs of Useful Work*. IACR Cryptol. ePrint Arch., 2017, 203.

[**3**] Brucker, P. (2007). *Scheduling algorithms - Fifth edition*. Springer.

[**4**] Cieliebak, M., Erlebach, T., Hennecke, F., Weber, B., & Widmayer, P. (2004). *Scheduling with release times and deadlines on a minimum number of machines*. In Exploring new frontiers of theoretical informatics (pp. 209-222). Springer, Boston, MA.

[**5**] Graham, R. L. (1966). *Bounds for certain multiprocessing anomalies*. Bell system technical journal, 45(9), 1563-1581.

[**6**] Graham, R. L., Lawler, E. L., Lenstra, J. K., & Kan, A. R. (1979). *Optimization and approximation in deterministic sequencing and scheduling: a survey*. In Annals of discrete mathematics (Vol. 5, pp. 287-326). Elsevier.

[**7**] Hazari, S. S., & Mahmoud, Q. H. (2019, January). *A parallel proof of work to improve transaction speed and scalability in blockchain systems*. In 2019 IEEE 9th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC) (pp. 0916-0921). IEEE.

[**8**] Lawler, E. L., Lenstra, J. K., Kan, A. H. R., & Shmoys, D. B. (1993). *Sequencing and scheduling: Algorithms and complexity*. Handbooks in operations research and management science, 4, 445-522.

[**9**] Li, B., Chenli, C., Xu, X., Jung, T., & Shi, Y. (2019). *Exploiting computation power of blockchain for biomedical image segmentation*. In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (pp. 0-0).

[**10**] Li, B., Chenli, C., Xu, X., Shi, Y., & Jung, T. (2019). *DLBC: A Deep Learning-Based Consensus in Blockchains for Deep Learning Services*. arXiv preprint arXiv:1904.07349.

[**11**] Loe, A. F., & Quaglia, E. A. (2018, June). *Conquering generals: an np-hard proof of useful work*. In Proceedings of the 1st Workshop on Cryptocurrencies and Blockchains for Distributed Systems (pp. 54-59).

[**12**] Makhorin, A. (2017). *GLPK (GNU linear programming kit)*. Reference Manual Version 4.6. Draft Edition; http://www.gnu.org/s/glpk/glpk.html

[**13**] Matijević, L., Stanković, U., Davidović, T., *General variable neighborhood search for the weighted scheduling problem with deadlines and release times* , Proc. XLVIII Symposium on Operational Research, SYMOPIS 2021, Banja Koviljača, Sept. 20-23, 2021 (submitted)

[**14**] Michael, L. P. (2018). *Scheduling: theory, algorithms, and systems*. Springer.

[**15**] Plaxton, C. G. (2008, July). *Fast scheduling of weighted unit jobs with release times and deadlines*. In International Colloquium on Automata, Languages, and Programming (pp. 222-233). Springer, Berlin, Heidelberg.

[**16**] Ullman, J. D. (1975). *NP-complete scheduling problems*. Journal of Computer and System sciences, 10(3), 384-393.

[**17**] Xu, J., & Parnas, D. L. (1990). *Scheduling processes with release times, deadlines, precedence and exclusion relations*. IEEE Transactions on software engineering, 16(3), 360-369.

[**18**] de Weerdt, M., Baart, R., & He, L. (2021). *Single-machine scheduling with release times, deadlines, setup times, and rejection*. European Journal of Operational Research, 291(2), 629-639.

XLVIII Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23. September 2021.
MATΦ University of Belgrade Faculty of Mathematics
Mathematical Institute SANU

BRANCH AND BOUND ALGORITHM FOR BI-OBJECTIVE SET COVERING PROBLEM

HAMIDI IMANE, CHAABANE DJAMAL

AMCD & RO Laboratory, USTHB, Faculty of Mathematics, Bab-Ezzouar, BP32 El-Alia, 16122 Algiers, Algeria, imane.hamidi.ro@gmail.com, dchaabane@usthb.dz.

Abstract:

Realistic industrial problems modelled by mathematical programming involve more than one criterion to be optimized at the same time. There is, generally, no admissible solution that optimizes simultaneously all the objective functions. The set of feasible solutions that achieve a compromise between the different objectives is called ``Pareto Optimal Solutions set''.

In this paper, we study exact solution methods to solve Bi-Objective Set Covering Problem (BOSCP), NP-hard combinatorial optimization problem. We introduce a new efficient branching strategy in Branch and bound proposed algorithm based on a particular order of branching variables. The method is validated through several random experiments confirming the efficiency of the proposed algorithm.

Keywords: *Set covering problem, Bi-objective optimization, Branch and Bound algorithm, linear optimization.*

Logistika i lanci snadbevanja

Logistics Management and Supply Chains

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

VREMENSKO RASPOREĐIVANJE VOZILA NA CROSS DOCK TERMINALIMA ZA PRETOVAR LAKO KVARLJIVE ROBE: LINERANA FORMULACIJA

TRUCK SCHEDULING IN CROSS DOCK TERMINALS FOR PERISCHABLE GOODS: LINEAR FORMULATION

NENAD BJELIĆ[1], MILORAD VIDOVIĆ[1], BRANISLAVA RATKOVIĆ[1]

[1] Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, {n.bjelic; mvidovic; b.ratkovic}@sf.bg.ac.rs

Rezime: *Distribucija lako kvarljive robe predstavlja izazov za postojeće distributivne mreže jer se pretovar u čvorovima često realizuje na način da dolazi do prekida hladnog lanca snabdevanja. Obzirom na sve veće prisustvo kros dok koncepta u distributivnim mrežama u ovom radu je posmatran problem vremenskog raspoređivanja vozila na pretovarna mesta jednog takvog sistema koji se, radi minimizacije vremena koje roba provodi van temperaturnog režima, karakteriše nemogućnošću postojanja zaliha. U svrhu omogućavanja praktične primene komercijalnim softverima izvršena je linearizacija modela iz jednog od ranijih istraživanja vezanog za isti problem, a naknadno je izvršena analiza osetljivosti formulacije na različite odnose između vrednosti paramatara predloženog inearnog modela, sa aspekta postojanja rešenje i vremena rešavanja problema.*

Ključne reči: *pretovarne operacije, kros dok, distribucija proizvoda, linearno programiranje.*

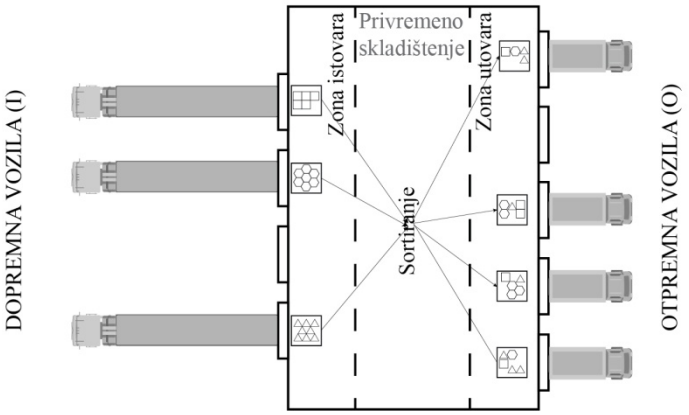
Abstract: *Distribution of perishable goods is a challenging task for existing distributive networks due to frequent break of cold chain, especially during the transferring of goods between vehicles. Since any stay of perishable goods outside of cooled space increases the risk of goods' deterioration zero inventory policy is usually used in cross docks. This means that goods picked from inbound trucks is immediately transferred into a one of outbound trucks, which is the problem considered in this research. More precisely, we linearized formulation given in a previous research dedicated to this problem, and execute sensitivity analysis regarding the influence of different parameter ratios on problem feasibility and solution times.*

Keywords: *material handling operations, cross dock, distribution of goods, linear programming*

1. UVOD

Iako skladišta svoje postojanje u najvećem delu opravdavaju uštedama koje omogućavaju u sferi transporta, struktura troškova koji se u njima javljaju rezultovala je definisanjem novog koncepta distributivnog čvora koji teži minimizaciji, ili čak i uklanjanju najvećih generatora troškova, uz zadržavanje jednog dela koristi od postajanja takve vrste čvora. Naime, kao dominantni troškovi u funkcionisanju skladišta javljaju se troškovi vezani za komisioniranje robe u skladu sa narudžbenicama klijenata (troškovi radne snage, transportno-manipulativnih sredstava, energije i sl.). Pored njih kao značajna stavka se javljaju troškovi vezani za držanje zaliha (vezani kapital, osiguranje, troškovi prostora, energije i sl.). U cilju minimizacije ovih troškova u praksi je zaživeo koncept kros doka (engl. Cross-dock), koji će u daljem delu rada biti referenciran kao CD.

U okviru distributivne mreže funkcija CDa je identična funkciji skladišta, sa tom razlikom što je, teorijski, postojanje zaliha onemogućeno. Na taj način CDovi se mogu posmatrati i kao pretovarni čvorovi čija je funkcija pretovar robe sa dopremnih (najčešće velikih) na otpremna (najčešće mala) vozila. Na taj način se ukidaju troškovi vezani za postojanje zaliha i komisioniranja robe, a zadržavaju se prednosti vezane za korišćenje transportnih sredstava velikih dimenzija. U tom smislu funkcionisanje tipičnog CDa se sastoji od prijema robe sa dopremnih vozila, sortiranja robe ka otpremnim vozilima i utovara robe u otpremna vozila, kao što je to prikazano na slici 1. Međutim, obzirom da funkcionisanje ovakvog čvora podrazumeva idealnu sinhronizaciju dopremnih i otpremnih vozila to se prisustvom manjih zona za skladištenje manje količine robe omogućava prevazilaženje nesinhronizovanih situacija. Iz tog razloga se na slici 1 pored sortiranja nalazi i aktivnost privremenog skladištenja, pri čemu se radi o skladišnoj celini manjeg kapaciteta. U skladu sa prethodnim, svaki distributivni čvor u kojem se roba zadržava do 24h ([6],[5]), nakon čega se utovara na otpremno vozilo se obično posmatra kao CD.



Slika 1: Primer cross-dock terminala. (prilagođeno iz [3])

Obzirom na intenzitet dnevnih aktivnosti koje se realizuju u CDu, jasno je da efikasnost realizacije operativnih zadataka u značajnoj meri definiše efikasnost CDa. Kao tipične operativne probleme u CDovima u [2] navode rutiranje otpremnih vozila, definisanje načina utovara otpremnih vozila, dodelu pretovarnih resursa na zadatke i dodelu vozila pretovarnim mestima. Obzirom da je ovaj rad posvećen poslednje navedenom tipu problema, to je u narednom delu rada pažnja posvećena dodatnoj klasifikaciji te vrste problema i detaljnom opisu posmatranog problema. U trećem delu je data mešovita celobrojna matematička formulacija problema bazirana na formulaciji iz [1]. U 4. delu je dat numerički primer primene prethodno pomenute matematičke formulacije sa analizom osetljivosti jednog od parametara. Na kraju u poslednjem poglavlju su data zaključna razmatranja vezana za posmatrani problem.

2. OPIS PROBLEMA

Dominantno pretovarna funkcija CDa za posledicu ima i izuzetan značaj efikasnosti odvijanja svih aspekata pretovarnih operacija. Aspekt dodele transportnih vozila pretovarnim mestima se naročito izdvaja u CDovima usled karakterističnog prostornog oblika ovakvih objekata. Naime, CDovi se prave na način da mogu istovremeno da prihvate što je moguće veći broj vozila i time minimizuju potrebu za postojanjem i najmanje skladišne funkcije. Zato se CDovi prave u karakterističnim „I“, „E“, „T“,“П“, „X“ i sličnim oblicima sa brojem pretovarnih mesta koji može ići i do nekoliko stotina. Kao posledica ovakvih oblika javlja se problem definisanja lokacija na kojima će se smeštati vozila jer se efikasnim razmeštanjem vozila mogu značajno manjiti rastojanja koja prelazi pretovarna mehanizacija i time povećati kapacitet celog sistema.

U pogledu načina posmatranja problema raspoređivanja vozila na pretovarna mesta [4] razlikuju pet tipova problema. Prva tri tipa posmatraju problem u kome se za svako pojedinačno pretovarno mesto, ili vrata kako ga oni posmatraju (što je posledica činjenice da svako pretovarno mesto ima svoja vrata) definiše vozilo koje će mu biti dodeljeno. U slučaju kada je broj vozila manji od raspoloživog broja vrata vremenski aspekt problema se ne razmatra (jer se sva vozila mogu istovremeno opsluživati) i tada se razmatra Truck-to-door assignment problem. U suprotnom, razlikuju se situacije kada se za pretovarna mesta definiše samo redosled opsluge vozila na vratima (Truck-to-door sequencing problem), ili se posmatraju tačna vremena dolaska i odlaska vozila na i sa pretovarnog mesta (Truck-to-door sequencing problem). Za razliku od pomenuta tri tipa problema, kod kojih se respektovanje prostorne karakteristike CD objekta vrši uzimanjem u obzir stvarnih rastojanja između pretovarnih mesta, kod preostala dva tipa problema tog respektovanja nema, sem u smislu respektovanja broja pretovarnih frontova dodeljenih dopremnim/otpremnim vozilima. U odnosu na to da li se definiše samo redosled, ili i tačno vreme zauzimanja i odlaska sa jednog mesta iz skupa mesta namenjenih dopreminim/otpremnim vozilima, razlikujemo Truck sequencing (TrSq) i Truck Scheduling(TrSch) probleme. Ovde treba naglasiti da odsustvo prostorne dimenzije između pretovarnih mesta u TrSq i TrSch prouzrokuje da se u literaturi često sreću problemi koji posmatraju raspoređivanje samo dopremnih/otpremnih vozila dok se za drugu stranu pretpostavlja kapacitet od jednog pretovarnog mesta. Na ovaj način je, posmatranjem pojednostavljenog sistema, moguće doći do zaključka koji se mogu preslikati na ponašanje sistema sa većim brojem pretovarnih mesta za obe vrste vozila.

Problem razmatran u ovom radu spada u grupu TrSch problema sa višestrukim brojem pretovarnih mesta i za skup dopremnih vozila (I) i za skup otpremnih vozila (O). Ono što karakteriše posmatrani CD je odsustvo bilo kakvih zaliha u procesu pretovara sa dopremnih na otpremna vozila. Ovakva postavka problema je karakteristična za CDove u kojima se vrši pretovar lako kvarljive robe, uz odsustvo delova objekata sa temperaturnim režimom u kome bi moglo doći do privremenog zadržavanja robe. Distributivni

sistemi za lako kvarljivu robu podrazumevaju prisustvo temperaturno kontrolisanih uslova čuvanja i transporta robe celim tokom distributivnog kanala, tzv. hladni lanci snabdevanja, usled čega dolazi do minimizacije mogućnosti kvarenja robe. U praksi to znači da su i dopremna i otpremna vozila sa temperaturnim režimom, a da se pretovar u CDu realizuje direktnim pretovarom sa dopremnih na otpremna vozila, bez mogućnosti zadržavanja robe u CDu. Primeri robe koja zahteva ovakve uslove su sveže i zamrznuto meso, voće i povrće, pojedine vrste lekova, brojni industrijski poluproizvodi i sl. I pored obezbeđivanja hladnih lanaca snabdevanja za ovakvu robu na najvećem delu njihovih distributivnih tokova gubici koji se javljaju su izuzetno veliki, tako da na primer u prehrambenoj industriji iznose oko 25-30% [8]. Iz tog razloga svako povećanje efikasnosti u distribuciji kvarljive robe rezultira značajnim ekonomskim uštedama.

Problem koji je predmet ovog rada se bazira na radu [1] te se za više detalja zainteresovani čitalac upućuje na pomenuti rad, a ovde će biti objašnjena suština kako bi se mogao shvatiti linearni model. Konkretno, problem spada u klasu TrSch problema i podrazumeva definisanje vremenskog rasporeda zauzimanja D^i dopremnih i D^o otpremnih pretovarnih mesta, od strane I dopremnih i O otpremnih vozila. Po pristupanju dopremnog vozila *i*, sva roba sa tog vozila se pretovara na otpremna vozila, pri čemu je unapred poznato na koja otpremna vozila se pretovara roba sa vozila *i*, pomoću ulaznog parametra $L_{i,o}$. $L_{i,o}$ ima vrednost 1 kada se sa dopremnog vozila *i* roba pretovara na otpremno vozilo *o*, odnosno uzima vrednost *0*, kada se roba ne prebacuje sa *i* na *o*.

TrSch se karakteriše respektovanjem vremenskog aspekta problema, što je u ovom slučaju realizovano na način da se planski period deli na *T* vremenskih segmenata jednakih dužina. Dužina jednog vremenskog segmenta se posmatra kao prosečno vreme potrebno za pretovar robe sa dopremnog na otpremno vozilo. Ovakvo definisanje vremenskog intervala je bazirano na praktičnom definisanju kapaciteta CDa izraženog u brojevima kamiona koji se mogu opslužiti u planskom periodu, a koji je opet baziran na praktičnim proračunima kapaciteta, tj. ciklusa, pretovarne mehanizacije. Treba naglasiti i to da se u posmatranim CDovima pretovarna mesta za dopremna i otpremna vozila obično nalaze u blizini kako bi se obezbedio brz i efikasan pretovara kvarljive robe te je greška koja se stvara ovakvim definisanjem vremenskog perioda praktično zanemarljiva.

Obzirom na nemogućnost zadržavanja robe u skladištu jasno je da je uslov za realizaciju pretovara da se dopremna i otpremna vozila moraju nalaziti istovremeno (u istom vremenskom intervalu) na pretovarnim mestima. Pored toga, usled posebnih procedura vezanih za pristajanja vozila sa temperaturnim režimom na pretovarni front praksa je da se jednom pristiglo vozilo ne otpušta sa pretovarnog mesta dok sav posao sa njim nije završen. Ovo znači da ne postoji mogućnost da se na otpremno vozilo skine sa zauzetog mesta i da na njega dođe drugo otpremno vozilo za koje postoji roba sa istog dopremnog vozila.

Obzirom na izrazitu dinamičku karakteristiku distributivnih sistema za svako otpremno vozilo se vezuje maksimalni trenutak zadržavanja u sistemu (DD^o), kao i troškovi koji se zaračunavaju ukoliko se taj trenutak prekorači (C_o). Pored toga, treba naglasiti da posmatrani problem podrazumeva da su sva vozila prisutna u sistemu na početku planskog perioda.

Po pitanju detaljnog pregleda literature, zainteresovanog čitaoca zbog ograničenosti raspoloživog prostora, upućujemo na rad [8], gde se pored [1], kao jedini rad koji se bavi TrSch problemom u lancima lako kvarljive robe bez postojanja zaliha navodi [7].

3. FORMULACIJA PROBLEMA

Kao što je napomenuto, cilj ovog rada je matematička formulacija problema definisanog u [1] u linearnom obliku. U tom smislu, model je na bazi formulacije iz [1] definisan na sledeći način:

ulazni parametari

I - skup dolaznih kamiona

O – skup odlaznih kamiona

D^i, D^o - broj vrata za pretovar dolaznih i odlaznih kamiona, respektivno

DD^o - vremenski trenutak nakon koga se naplaćuju troškovi zadržavanja u CDu

C_o - jedinični troškovi zadržavanja kamiona *o* nakon trenutka DD^o

$L_{i,o}$ - parametar koji je jednak jedan kada se sa kamiona *i* roba prebacuje na kamion *o*, u suprotnom je 0

M – dovoljno velik broj

promenljive:

$X_{i,t}$ - promenljiva koja definiše da li se dolazni kamion *i* opslužuje u periodu *t.*

$Y_{o,t}$ - promenljiva koja definiše da li se odlazno vozilo *o* opslužuje u trenutku *t.*

$\eta_o^{\max}$ - krajnji trenutak opsluge odlaznog kamiona *o*

Z_o - vremensko prekoračenje DD^o vozila

ciljne funkcije

$$\min \sum_{o \in O} \eta_o^{\max} \tag{1}$$

$$\min \sum_{o \in O} C_o Z_o \tag{2}$$

ograničenja

$$Z_o \geq \eta_o^{\max} - DD^o \quad \forall o \in O \tag{3}$$

$$\eta_o^{\max} \geq M(Y_{o,t} - 1) + t \quad \forall o \in O, \forall t \in T \tag{4}$$

$$Y_{o,t} \geq L_{i,o} X_{i,t} \quad \forall i \in I, \forall o \in O, \forall t \in T \tag{5}$$

$$\sum_{t \in T} X_{i,t} = 1 \quad \forall i \in I \tag{6}$$

$$\sum_{i \in I} X_{i,t} \leq D^i \quad \forall t \in T \tag{7}$$

$$\sum_{o \in O} Y_{o,t} \leq D^o \quad \forall t \in T \tag{8}$$

$$Z_o, \eta_o^{\min}, \eta_o^{\max} \geq 0 \quad \forall o \in O \tag{9}$$

$$Z_o, \eta_o^{\min}, \eta_o^{\max} \in \mathbf{Z} \quad \forall o \in O \tag{10}$$

$$X_{i,t}, Y_{o,t} \in \{0,1\} \tag{11}$$

Definisanje ciljnih funkcija u ovakvim sistemima je uvek delikatno pitanje i pre svega zavisi od preferencija menadžementa CDa. Iz tog razloga ovde je dat primer dve ciljne funkcije, pri čemu se i druge vrste ciljnih funkcija mogu lako formirati, bilo sa ili bez uvođenja novih promenljivih kojima bi se omogućila optimizacija željenih performansi sistema. U skladu sa prethodno rečenim, ciljna funkcija (1) minimizuje vreme zadržavanja odlaznih vozila u sistemu. Ciljna funkcija (2) minimizuje troškove nastale usled prekomernog zadržavanja odlaznih kamiona u sistemu. Ograničenje (4), zajedno sa ograničenjem (9) definiše intenzitet nedozvoljenog zadržavanja odlaznog vozila. Skup ograničenja definisanih izrazom (4) definiše vrednosti promenljivih $\eta_o^{\max}$. Treba naglasiti da je u formulaciji ovih ograničenja korišćen koncept (big-M) u kome se pomenuta ograničenja respektuju samo u situacijama kada se odlazni kamioni opslužuju u posmatranim vremenskim periodima. U situacijama kada se to ne dešava ova ograničenja su uvek zadovoljena. Skupom ograničenja (5) se ulazna i odlazna vozila sa zajedničkom robom dovode u vezu. Naime, kada se ulazno vozilo i nalazi na frontu pretovara, tada se i odlazno vozilo o, u koje se pretovara roba sa vozila i, u trenutku t mora nalaziti na frontu pretovara. Drugačije rečeno, promenljiva $Y_{o,t}$ može biti jednaka 1, samo kada su vrednosti parametra $L_{i,o}$ i promenljive $X_{i,t}$ jednake 1. Ograničenje (6) obezbeđuje da se svako ulazno vozilo može opslužiti samo u toku trajanja jednog vremenskog perioda. Ograničenja (7) i (8) obezbeđuju da se uvek respektuje broj raspoloživih mesta na delu fronta pretovara za ulazne i odlazne kamione, respektivno. Konačno, ograničenja (9), (10) i (11) respektuju prirodu promenljivih odlučivanja. Naravno, treba naglasiti da u slučaju primene prve ciljne funkcije, ograničenja (3) i deo ograničenja (9) i (10) vezanih za promenljivu Z_o se mogu zanemariti, jer je njihovo prisustvo neophodno samo radi definisanja vrednosti promenljive Z_o.

4. NUMERIČKI PRIMER

Pored linearizacije modela iz [1] kao cilj ovog rada se nameće i analiza osetljivosti primene modela u zavisnosti od dimenzija problema. Konkretno, jedan od parametara problema je $L_{i,o}$ koji je ustvari binarna matrica u kojoj je broj vrsta jednak *I*, a broj kolona je jednak *O*, te je cilj utvrditi da li odnos ova dva parametra utiče na mogućnost primene modela. Pored odnosa *O* i *I*, broj jedinica u matrici $L_{i,o}$ takođe može uticati na primenljivost modela na taj način što veliki broj jedinica u matrici, tj. velika gustina, znači veliki broj isporuka sa svakog dopremnog na svaki otpremni kamion. U tom smislu, definisani mešoviti celobrojni linerani model je testiran na skupu instanci sa sledećim karakteristikama:

- Broj vremenskih perioda je 4, *T*=4
- Broj pretovarnih mesta za dopremna vozila je uzimao vrednost iz skupa {2,10,25,50}
- Odnos *I* i D^i je uzimalo vrednost iz skupa {0.5, 1, 1.5, 2, 5}
- Odnos D^o i D^i je uzimalo vrednost iz skupa {0.5, 1, 2, 5}
- Odnos *O* i *I* je uzimalo vrednost iz skupa {0.5, 1, 2, 5}
- Učešće (gustina) jedinica u $L_{i,o}$ je uzimalo vrednost iz skupa {0.1,0.25, 0.5, 0.75, 0.9, 1}

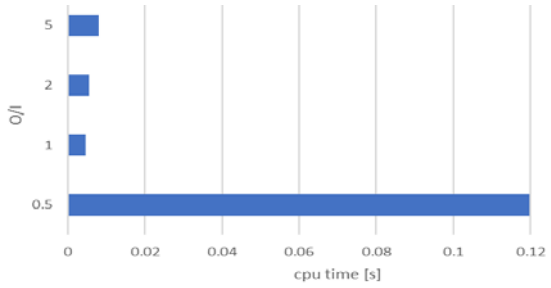
Treba naglasiti da je usled poštovanja principa da se sa svakog dopremnog vozila mora transportovati roba makar na jedno otpremno vozilo, da se na svako otpremno vozilo mora pretovariti roba sa makar jednog dopremnog vozila, kao i da je maksimalni broj jedinica u svakoj vrsti najviše D^o, a maksimalan broj jedinica u svakoj koloni je maksimalno D^i, broj posmatranih varijanti je redukovan na 2988, jer za neke gustine i $L_{i,o}$ matrice nije moguće ispoštovati prethodno navedeni uslov.

Sve instance su rešavane primenom GUROBI 9.1 solvera, dok su modeli generisani primenom njegovog Python API-ja. Rešavanje problema je realizovano na CPU Intel i7 4712MX CPU sa 12GB RAM-a na operativnom sistemu Windows 8.1.

Izvod iz rezultata dobijenih rešavanjem instanci je dat u tabeli 1 odakle se jasno može videti da, pored mogućnosti definisanja $L_{i,o}$, gustina jedinica u pomenutoj matrici utiče, ali u znatno manjoj meri na mogućnost dobijanja optimalnog rešenja. Naime, iz prezentovanih podataka se uočava da se sa povećanjem gustine redukuje verovatnoća rešavanja problema, ali i da se za oko 30% generisanih instanci problem nije mogao rešiti. Na slici 2. je prikazan uticaj odnosa broja dopremnih i otpremnih vozila, na kojoj se može uočiti da je vreme rešavanja instanci izuzetno kratko i da se odnos O/I odražava na vreme rešavanja modela na način da sa porastom vrednosti ovog odnosa dolazi do blagog povećanja prosečnog vremena rešavanja. Odstupanje od ovog načina ponašanja je situacija kada je O/I odnos manji od jedan, tj. kada se u sistemu nalazi više dopremnih nego otpremnih vozila, jer je prosečno vreme rešavanja modela preko 10 puta veće. Ali uz napomenu da je i dalje reč o apsolutno prihvatljivim vremenskim intervalima za praktičnu primenu modela. Na osnovu ostalih izlaznih rezultata nije uočen nikakav uticaj posmatranih odnosa na vreme rešavanja modela.

Tabela 1: Prikaz uticaja gustine u parametra $L_{i,o}$ na rešivost problema

	Gustina jedinica u Lio						
	0.1	0.25	0.5	0.8	0.9	1	Broj instanci
Optimalno rešen	74.1%	70.7%	68.3%	68.4%	68.0%	67.2%	69.1%
Nerešiv	25.9%	29.3%	31.7%	31.6%	32.0%	32.8%	30.9%
Broj instanci	340	450	530	538	538	592	2988



Slika 2: Vremenski aspekt rešavanja problema

5. ZAKLJUČAK

Upotreba cross docking koncepta, zbog brojnih prednosti koje poseduje u odnosnu na tradicionalne koncepte distribucije, postaje sve zastupljenija od strane kompanija. Obzirom da situacija u distributivnim mrežama lako kvarljive robe nije ništa drugačija to je cilj ovoga rada bio linearizacija matematičkog modela iz [1] kako bi se pomenuti model mogao rešavati primenom nekog od komercijalnih softvera. Pored tog cilja rad je imao za zadatak utvrđivanje osetljivosti vremena rešavanja problema, i uopšte mogućnosti dobijanja optimalnog rešenja, u odnosu na razne odnose parametra korišćenih u lineranoj formulaciji problema.

Iz dobijenih rezultata se jasno uočava potencijal praktične primene linerne formulacije problema, uz napomenu da se do povećanja vremena rešavanja problema dolazi u situacijama kada broj dopremnih vozila nadmašuje broj otpremnih vozila. Iako je ovakav odnos redak u distributivnim mrežama, jer se obično roba sa velikih dopremnih vozila prebacuje na manja otpremna vozila radi krajnje distribucije klijentima, to u nekim specifičnim industrijama nije redak slučaj. Jedna od takvih industrija je prenos ekspres pošiljaka i njen karakterističan hub-and-spoke način organizacije kada se veliki broj manjih vozila pretovara na veliko transportno sredstvo radi otpreme svih pošiljaka na sortiranje u glavno čvorište. Ono što treba napomenuti na kraju je i to da je celokupno testiranje rađeno za situaciju kada se vremenski period sastoji od četiri vremenska intervala, pri čemu testiranje na većem broju vremenskih intervala sigurno povećava broj promenljivih u modelu, ali bi trebalo i da poveća broj mogućih rešenja problema. Naravno, ovo, uz mogućnost uključivanja vozila koja još nisu u sistemu, ali se njihovo prisustvo očekuje u nekom od narednih intervala, predstavlja jedan od pravaca za dalji nastavak istraživanja.

ZAHVALNOST

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Vlada Republike Srbije kroz institucionalno finansiranje Univerziteta u Beogradu – Saobraćajnog fakulteta, kao i kroz finansiranje projekta bilateralne saradnje između Republike Srbije i Republike Slovačke broj 337-00-107/2019-09/06 u periodu 2019.-2021.

LITERATURA

[1] Boysen, N. (2010) Truck Scheduling At Zero-inventory Cross Docking Terminals. Computers & Operations Research 37 (1): 32–41.

[2] Boysen, N. & Fliedner, M. (2010) Cross Dock Scheduling: Classification, Literature Review and Research Agenda. Omega 38 (6): 413–422.

[3] Boysen, N., Fliedner, M. & Scholl, A. (2010) Scheduling inbound and outbound trucks at cross docking terminals. OR Spectrum **32,** 135–161.

[4] Ladier, A.-L., & Alpan, G. (2016) Cross-docking Operations: Current Research Versus Industry Practice. Omega 62: 145–162.

[5] Van Belle, J., Valckenaers, P. & Cattrysse, D. (2012) Crossdocking: State of the Art. Omega 40 (6): 827–846.

[6] Stephan, K. & Boysen, N. (2011) Cross-docking. Journal of Management Control **22:** 129-137.

[7] Zabihi, F., & R. Sahraeian. (2016) Trucks Scheduling in a Multi-product Cross Docking System with Multiple Temporary Storages and Multiple Dock Doors. International Journal of Engineering 29 (11): 1595–1603

[8] Zheng, F., Pang, Y., Xu, Y. & Liu, M. (2020) Heuristic algorithms for truck scheduling of cross-docking operations in cold-chain logistics, International Journal of Production Research.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

UNAPREĐENJE FUNKCIONISANJA LANCA SNABDEVANJA U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI PRIMENOM KOOPETITIVNIH IGARA

IMPROVING THE FUNCTIONING OF SUPPLY CHAINS IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY BY APPLYING COOPETITIVE GAMES

NEMANJA JEVTIĆ, BILJANA PANIĆ,

Fakultet organizacionih nauka, Beograd, biljana.panic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *U ovom radu je prikazana primena teorije igara za unapređenje funkcionisanja lanca snabdevanja. Komunikacija između prodavca kompanije koja se bavi prodajom delova za automobile i kupca modelirana je kao koopetitvna igra, a zatim je ta igra rešena u Gambit-u. Pokazano je kako planer može korišćenjem ideja koopetitivnih igara doneti veći profit kompaniji.*

Ključne reči: *Lanac snabdevanja, teorija igara, koopetitvne igre, komunikacija, Gambit.*

Abstract: *In this paper is presented the application of game theory to improve the functioning of the supply chain. The communication between the company that sells car parts and the buyer was modeled as a coopetitive game, and then that game was solved in Gambit. It has been shown how a planner can bring higher profits to a company by using the ideas of coopetitive games.*

Keywords: *Supply chain, Game Theory, Coopetitive Games, Communication, Gambit.*

1. UVOD

Osnovni ekonomski cilj lanca snabdevanja je maksimizacija profita koji čini razlika između prihoda koji se dobija od kupca i ukupnih troškova koji nastaju kod svih učesnika u lancu snabdevanja. Profitabilnost lanca snabdevanja se meri ukupnim profitom koji je raspodeljen po svim učesnicima u lancu, a postoji samo jedan izvor prihoda - krajnji kupac. Zbog velikog broja učesnika u lancu snabdevanja koordinacija i komunikacija može biti vrlo složena [4, 8, 11, 14]. U decentralizovanom lancu snabdevanja postoji konkurencija i saradnja među članovima lanaca snabdevanja. Za modeliranje i analizu sukoba i saradnje među članovima lanca snabdevanja kako bi se bolje razumele interakcije između članova lanca snabdevanja se može koristiti teorija igara [1, 2, 3, 6, 12]. Različiti pristupi teorije igara u upravljanju lancima snabdevanja mogu se podeliti na nekooperativan i kooperativan pristup [9]. Nekoperativni pristup se bavi očekivanjem šta će uraditi drugi igrači i kako postići svoje ciljeve kad ne postoji saradnja. Kooperativni pristup se bavi ishodima koje igrači mogu postići ako sarađuju i kako profit može biti pravedno alociran učesnicima [15]. Teorije igara je pogodna za modeliranje interakcija između učesnika u lancima snabdevanja sa više nivoa zato što asimetrične informacije izazivaju neizvesnost za predviđanje motiva i ponašanja, dok više učesnika (igrača) povećava složenost interakcije između članova lanca snabdevanja.

Interna komunikacija predstavlja razmenjivanje informacija i ideja unutar organizacije, dok eksterna komunikacija kompanije predstavlja konstantno razmenjivanje poruka sa kupcima, dobavljačima, distributerima, konkurentima, investitorima, novinarima itd. U posmatranoj kompaniji se zbog loše komunikacije ponavljaju problemi u planiranju. Planer se svakodnevno suočava sa novim porudžbinama koje mu nisu na vreme saopštene od strane prodaje, što ga dovodi u nepovoljnu situaciju u kojoj mora pronaći način da nabavi robu u traženom roku. Jedan od najčešćih problema jeste neočekivano povećanje tražnje sa kupčeve strane što dalje stvara i efekat biča.

U nastavku će biti opisan koncept teorije igara koopeticija (*coopetition*) pomoću koga će se modelirati situacija u kojoj se planer nabavke nalazi svakodnevno.

2. KOOPETITIVNE IGRE

Pristupi teoriji igara mogu se šire klasifikovati kao nekooperativni ili kooperativni zavisno od prirode interakcije među igračima. Igre koje bi u najvećoj meri odgovarale većem broju situacija sa kojima se planeri susreću jesu nekooperativne igre. Međutim, zbog mnogih faktora koji utiču na svakodnevno poslovanje,

koncept koji najbolje opisuje svakodnevnu poslovnu situaciju jeste *coopetition* koncept teorije igara. Pojam koopeticija (*coopetition*) je istovremena pojava kooperativnog i takmičarskog ponašanja. Saradnja i takmičenje se posmatraju kao suprotne strane kontinuiteta, omogućujući postizanje ravnoteže između njih. Prema tome, koopeticija je ovde definisana kao ravnoteža između saradnje i konkurencije u odnosu kupac-prodavac, izvedena iz igračevih istovermeno kooperativnog i konkurentnog ponašanja [5]. Koopetitivna igra podrazumeva poslovnu strategiju u kojoj firme istovremeno sarađuju i konkurišu jedna drugoj, što se tradicionalno smatra dvema suprotnim stranama istog novčića [7]. Kritični problem kod ovakvog ponašanja i u ovakvoj situaciji jeste upravljanje odnosima kupac-prodavac. Mnogi istraživči smatraju da je koopeticija poželjeljna, jer fokus samo na kooperaciju ili konkurenciju izaziva tenzije i konflikte [13]. Prema [10] ovaj analitički okvir omogućava proširenje skupa mogućih rešenja od čisto konkurentski do kooperativnih rešenja i, štaviše, uključuje rešenje dizajnirano „da se pošteno podeli pita“ u “win-win” scenariju.

Ako su *E*, *F* i *C* tri neprazna skupa, *E* je skup strategija prvog igrača, *F* je skup strategija drugog igrača, a *C* je skup strategija saradnje dva igrača. Funkcija *f* je funkcija isplate u igri *G*, pa je f_1 isplata funkcije *f* za prvog igrača, a f_2 funkcija isplate drugog igrača. Postoje dva igrača od kojih svaki ima skup strategija u kojima treba da odabere svoju strategiju. Prvi može izabrati strategiju *x* iz skupa *E*, drugi strategiju *y* iz skupa *F*, a dvojica igrača mogu sarađivati i izabrati strategiju *z* koja se nalazi u trećem skupu *C*. Dva igrača biraju svoju koopetitivnu strategiju *z* da bi maksimizirali funkciju dobiti *f* [10].

Zbog svega navedenog, može se reći da postoje i koopetitivne igre u kojima su pristuni elemnti kooperacije i konkurencije. One se mogu predstaviti kako u normalnoj tako i u ekstenzivnoj formi, samo su pretpostvke pre početka igre prilagođene koopetitivnoj igri. Za obe ove forme postoje posebne definicije i modeli koji su detaljno objašnjeni, videti [10].

3. UNAPREĐENJE PLANIRANJA NABAVKE PRIMENOM KOOPETITIVNIH IGARA

3.1. Opis problema

Usled neodogovarajuće komunikacije i koordinacije koja postoji u lancu snabdevanja između kupaca i kompanije prodavca, narudžbine koje se postavljaju ka kompaniji prodavcu bivaju postavljane bez znanja planera te kompanije ili povećane bez prethodnog konsultovanja sa prodavcem. Planer nabavke kompanije prodavca teži da zadovolji svakodnevne narudžbine. Pored toga, kupac zahvaljujući mogućnosti da sam postavlja porudžbine ka prodavcu, postavlja svoje porudžbine ne uzimajući u obzir prethodno definisane ugovore koji su potpisani između kupca i dobavljača. Planer je svakodnevno pod pritiskom da postigne ono što kupac od njega želi ne uzimajući u obzir da i kupac mora da poštuje pravila i dogovore u kojima je i sam učestvovao. Planer ne komunicira sa kupcem, već je za komunikaciju sa kupcem zaduženo odeljenje prodaje, odnosno osoba za podršku kupcu - SLC (*Sales Logistics interface and customer supply chain Coordinator*). Zato planeri i ne mogu da primoraju kupca da se pridržava svojih delova dogovora koji podrazumevaju poštovanje vremena isporuke, obaveštenje o povećanju količina kao i obaveštenje o otkazivanju narudžbina.

Cilj je da se primenom teorije igara povećaju ključni indikatori performansi, a to su: nivo ispunjenja zahteva kupaca, tj. nivo zadovoljenja tražnje kupca u tačno određenom, zahtevanom, trenutku (CSL - *Customer Service Level*) i period koji protekne od nabavke nekog dela do momenta dok roba ne pređe u naredni oblik ili se proda (TCT - *Target Cycle Time*).

Zbog lakšeg razumevanja situacije pretpostaviće se da je komunikacija između planera i SLC-a idealna, što bi se dalje pojednostavilo tako što bi se na ove dve pozicije gledalo kao na jednu. U nastavku će se govoriti da prodavac (planer) komunicira sa kupcem. To isključuje probleme interne komunikacije i fokus je na problemima u eksternoj komunikaciji.

Prodavac ne može da odreaguje sve dok kupac ne pošalje narudžbinu, pa je zbog toga ova igra sekvencijalna i sastoji se iz više koraka, zbog čega će biti predstavljena u ekstenzivnoj formi.

Potezi kupca se mogu definisati po čvorovima, tako da u prvom čvoru kupac može da povuče četiri poteza:

1. Postaviti narudžbinu koja može biti zadovoljena - kupac poštuje dogovore, što je idealna situacija na koju prodavac najlakše može da odgovori, i dobici su i za jednu i za drugu stranu maksimalni.
2. Postaviti narudžbinu koja nije u skladu sa vremenom isporuke, tj. želi delove pre nego što ih je moguće dostaviti.
3. Postaviti narudžbinu sa velikim povećanjem u količini
4. Postaviti narudžbinu koja nije u skladu sa vremenom isporuke i sa povećanjem u količini

Potezi prodavca, definisani u drugom čvoru predstavljaju odgovore na prethodne poteze kupca:

1. Isporučiće zahtevanu količinu robe u željeno vreme, na željeno mesto, odgovarajućeg kavaliteta. Ne mora da povlači bilo kakav potez.

2.1. Prodavac bira da ne preduzima ništa povodm očiglednog probema. To šteti kupcu, kao i ugledu prodavca, a koliko će ovo biti štetna situacija zavisi i od toga koju količinu zaliha prodavac ima. Podrazumevaćemo da prodavac nema ništa na zalihama.

2.2. Prodavac proba da ubrza isporuku stavljanjem delova na avio prevoz, komunikacijom sa fabrikom, itd. ali i dalje komunikacija sa kupcem ne postoji.

2.3. Kooperacija sa kupcem - prodavac i kupac će pokušati da narudžbinu prilagode realnim mogućnostima tako što će prilagoditi datum isporuke, deliti narudžbinu u više delova.

3.1. Prodavac bira da ne preduzima ništa.

3.2. Prodavac povećava narudžbinu ka fabrici i u ovim situacijama nije sigurno da li fabrika može da odgovori na zahtev.

3.3. Kooperacija sa kupcem - prodavac bira da komunicira sa kupcem, prenese mu razloge zašto to povećanje može da predstavlja problem i šta ono nosi sa sobom kao posledice. U velikom broju situacija povećanje od strane kupca jeste samo povećanje usled njihovog predviđanja, pa zbog toga ta njihova tražnja nije relana tražnja. Zato je veoma bitno da dobavljač uvek radi sa kupcem i da podele informacije koje imaju kako bi obe strane postigle maksimum.

4.1. Ne preduzima ništa. Ovaj potez se u realnim situacijama bira nesvesno nekad čak i zato što dobavljač ne voli određenog kupca i bira da baš tog kupca ignoriše.

4.2. Ubrzava i povećava porudžbinu što zahteva dosta rada od strane prodavca. Podrazumeva dobru koordinaciju i kooperaciju unutar kompanije gde je moguće povećati i ubrzati isporuku.

4.3. Kooperacija sa kupcem - prodavac mora da koordinira i komunicira sa kupcem kao i ostalim delovima kompanije, ali je i nagrada ovde najveća.

Na poteze prodavca koji podrazumevaju kooperaciju kupac može odgovoriti sa “Da” ili “Ne” gde će razlika biti evidentna po isplatama za oba igrača.

Ova igra se može nastaviti, jer i ako npr. kupac odgovori sa “Ne”, prodavac može da ne odustaje. U mnogim realnim situacijama prodavci su tek posle treće ili četvrte iteracije uspevali da uvere kupca da sarađuje.

Dobitak može da postoji za obe strane, pa je ovo igra sa nenultnom sumom. Takođe i elementi kao što su ojačavanja odnosa kupac-prodavac ili povećanje poverenja se uzimaju u obzir kad se govori o isplatama, ali ih je teško kvantifikovati.

Dostupne informacije su nepotpune jer prodavac ne zna da li su narudžbine kupaca stvarna tražnja ili samo njihovo predviđanje. Kupci nemaju uvid u stanje zaliha prodavca kao ni to kome su zalihe namenjene. Ukoliko se pretpostavi da je poznato da je tražnja kupca jednaka stvarnoj tražnji, a ne njegova procena i da se prodavčeve zalihe mogu u potpunosti trošiti za datog kupca, igra se može svesti na igru sa savršenim informacijama, a u suprtonom se može modelirati više igara koje će obuhvatiti različite slučajeve. U realnoj situaciji uvek se mogu iznedriti različiti potezi kako kupca tako i dobavljača, ali su u ovom radu potezi svedeni na konačan broj.

3.2. Rešenje problema

Neka je G koopetitivna igra sa strateškom trojkom (E – skup strategija kupca, F – skup startegija prodavca, C - skup kooperativnih strategija).

Proft kupca je f_1 i postići će ga ako izabere odgovarajuću $x_i \in E$ ili $z_k \in C$ startegiju, dok je profit prodavca f_2 i bira $y_j \in F$ ili $z_k \in C$ startegiju.

Profit kupca je:

$$f_1 = \sum_{d \in D} Q_d (W_d - R_d) - (Q_d - P_d)(W_d - R_d) = \sum_{d \in D} P_d (W_d - R_d) \ , \tag{1}$$

a profit prodavca je:

$$f_2 = \sum_{d \in D} (Q_d (S_d - T_d) - (Q_d - P_d)(S_d - T_d)) - A = \sum_{d \in D} P_d (S_d - T_d) - A, \tag{2}$$

pri čemu je:

D - skup proizvoda koji se prodaju,

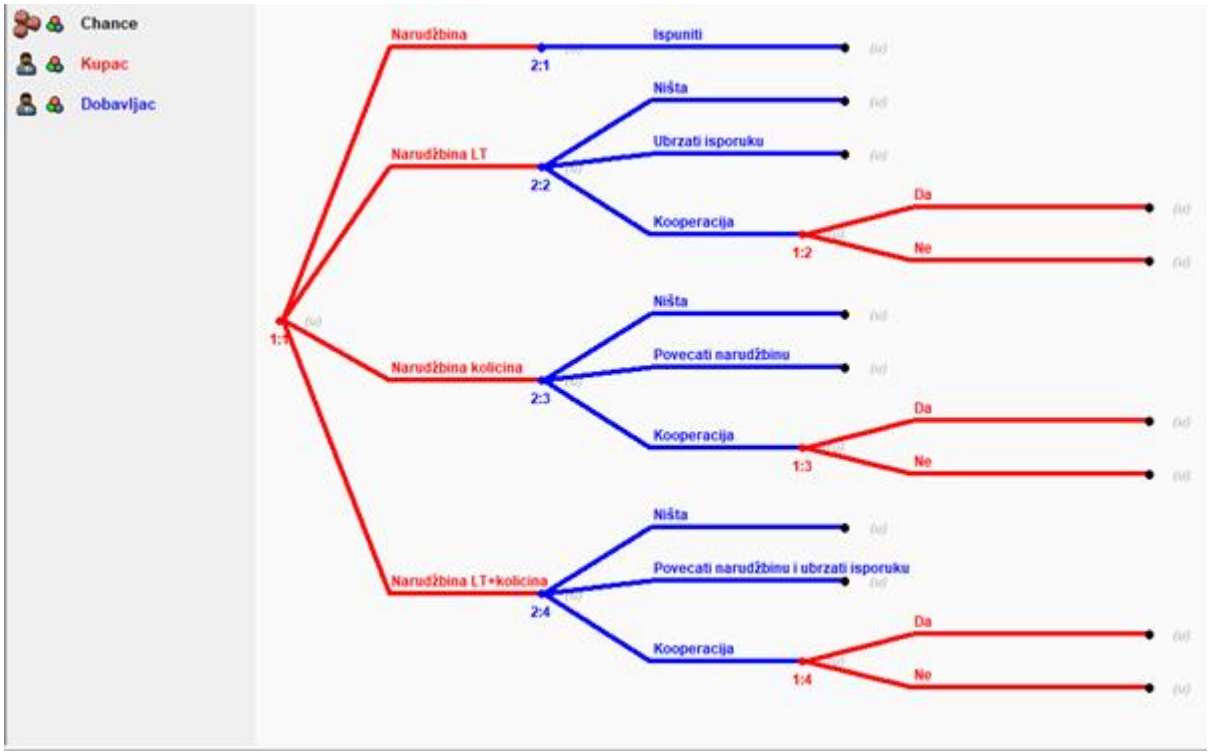
d - proizvodi za $d \in D$,

Q_d - količina naručene robe d od strane kupca,

P_d - količina robe *d* dostupne od strane prodavca,
W_d – prodajna cena robe *d* od strane kupca,
R_d – troškovi nabavke robe *d* od strane kupca,
S_d – prodajna cena robe *d* od strane prodavca,
T_d – troškovi nabavke robe *d* od strane prodavca,
A – troškovi ubrzanja isporuke.

Prvi deo jednačine (1) predstavlja koliki bi maksimalan profit kupac dobio kad bi prodao ukupnu količinu narudžbine koju je postavio ka prodavcu, a drugi izgubljenu prodaju za kupca, što podrazumeva da će za svaki komad koji fali ukupan profit kupca biti manji od idealnog slučaja. Dobija se da profit zavisi samo od količine robe koju prodavac ima na zalihama i koju će kupac stvarno prodati. Analogno ovome računa se i profit prodavca (2). Na osnovu toga mogu se izračunati dobiti kupca i prodavca i formirati parovi oblika (f_1,f_2). Cilj je da se utvrdi razlika ukoliko se izabere kooperativna strategija nasuprot "sebičnim" strategijama oba igrača i da se nađe ekvilibrijum. Pošto se radi o sekvencijalnoj igri predstavljenoj u ekstenzivnoj formi, do ekvilibrijuma će se doći metodom povratne indukcije.

Grafički se ovo može predstaviti u programu Gambit modelom kao na slici 1.



Slika 1: Ekstenzivna forma igre

U konkretnom primeru nema dovoljno zaliha da bi porudžbina bila zadovoljena, a vreme isporuke od eksternih snabdevača do prodavca je 8 nedelja. Problem je i veliko povećanje tražnje od strane kupca. Po istorijskim podacima kupac je naručivao prosečno oko 120 komada mesečno, a sada je njegova narudžbina povećana na 500 i još očekuje da to dobije u 2 nedelje. Planer treba da odluči koliko da poruči od svog snabdevača. Kako bi minimizirao troškove skladištenja, prodavac izbegava da od svog snabdevača poručuje veću količinu robe nego što mu kupac poručuje. Kupac šalje porudžbinu u kojoj zahteva Q_d=500 komada što je njegova tražnja za taj mesec, a želi da tu količinu dobije u roku od 2 kalendarske nedelje. T_d=15$, S_d=25$, R_d=25$, W_d=45$, P_d=200 komada, a trošak ubrzanja isporuke je 1$ po komadu. Pošto se radi o samo jednom proizvodu, d=1. Sa svim ubrzanjima planer zna da može delove da dobije za 3 nedelje i da je to kupcu prihvatiljivo. Za količinu koju prodavac ne isporuči kupcu, prodavac nema dodatne troškove, ali nema ni prihod, a i gubi reputaciju kod kupaca. Ovo je situacija kad je prvi igrač, kupac, u prvom čvoru povukao četvrti potez sa slike 1. Ukoliko se ova situacija posmatra kao obična kompetitivna igra, kupac je taj koji je prvi povukao svoj potez gde je postavio narudžbinu koja nije u skladu sa prethodnim količinama i narudžbinu koja nije u skladu sa vremenom isporuke. Prodavac kao odgovor može da ne uradi ništa ili da ubrza isporuku.

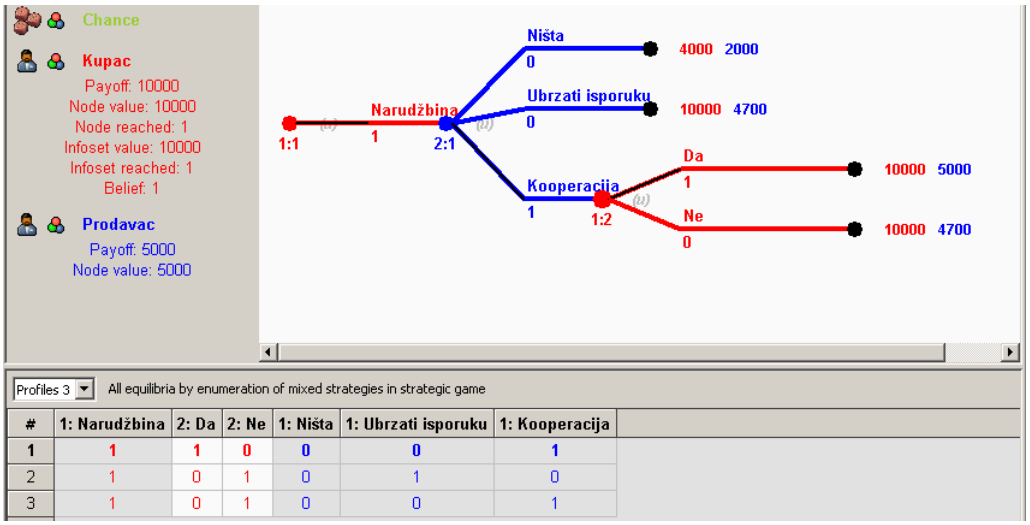
U prvom slučaju zbog nedostatka iskustva prodavac smatra da ne može ništa da uradi u ovoj situaciji. Po narudžbini zalihe se zahtevaju za dve nedelje, a sa svim ubrzanjima planer zna da može delove da dobije za 3

nedelje. Međutim, odlučuje da ne ubrzava isporuku jer smatra da će troškovi dodatno uticati na smanjenje profita, a postoji mogućnost da će i nakon ubrzanja zalihe kasniti. U ovoj situaciji prodavac isporučuje smo 200 komada koje ima na zalihama. Dobiti za kupca i prodavca iznose:
f_1=200(45-25)=4000$,
f_2=200(25-15)-0*1$=2000$.
Ukoliko prodavac povuče ovakav potez, može se reći da je ishod igre (4000, 2000).

U drugom slučaju prodavac odlučuje da ubrza samo deo isporuke. Pošto na stanju ima 200 komada, a narudžbina je 500 komada, on od svoje narudžbine koju ima postavljenu u sistemu ubrzava samo 300 komada:
f_1=500(45-25)=10000$,
f_2=500(25-15)-300*1$=4700$.
Ishod igre je (10000, 4700). Ova situacija je povoljnija za kupca jer će on dobiti ukupnu količinu proizvoda i neće imati nikakvu izgubljenu prodaju. Ni prodavac nije imao umanjenje profita zbog izgubljene prodaje, ali je zato imao povećane troškove zbog ubrzanja isporuke. Većina prodavaca bira ovaj potez kada nemaju dobar odnos sa kupcem ili jednostavno ne žele da imaju kontakt sa njim. Međutim, ako se pristupi ovoj igri ne kao kompetitivnoj nego kao koopetitivnoj, vrednost profita prodavca može se maksimizirati i postići win-win situacija.

Ukoliko prodavac stupi u kontakt sa kupcem i pregovara, u velikom broju slučajeva dovoljno je samo pitati kupca za odlaganje narudžbine, i on će prihvatiti. Ako ne prihvati, prodavac može pokušati sa drugačijim ponudama. Akcenat je na saradnji i postizanju bilo kakvog dogovora koji će omogućiti smanjenje troškova ubrzanja isporuke. Ako kupac prihvati dogovor da sada uzme samo 200 komada koji su na stanju, a dodatnih 300 komada kada budu bili isporučeni, prodavac bi prodao svih 500 komada, samo bi podelio narudžbinu u dva dela. Dobiti su:
f_1=500(45-25)=10000$,
f_2=500(25-15)-0*1$ = 5000$.
Ishod igre je (10000, 5000).

Jako je redak slučaj da kupac ne prihvata kooperaciju. U svakom slučaju vrednost profita i da kupac ne prihvati ništa od predloga koje mu ponudi prodavac, profit neće biti manji nego u potezu 2. Radi pojednostavljenja pretpostavićemo da kupac može samo da prihvati i odbije kooperaciju. Ako odbije, dobiti su: f_1=500(45-25)=10000$, f_2=500(25-15)-300*1$ = 4700$, odnosno isto kao u potezu 2.



Slika 2: Koopetitivna igra u Gambit-u

Igra se može prikazati i rešiti u programu Gambit kao na slici 2. Postoje tri čista ekvilibrijuma sa isplatama (10000, 5000), (10000, 4700), (10000, 4700) i oni su jednako dobri za kupca, ali je prvi, koji je prikazan na slici, najbolji za prodavca. Može se zaključiti da se prodavcu isplati da pregovara sa kupcem.

5. ZAKLJUČAK

U radu je prikazano uvođenje koncepta koopetitivnih igara za unapređenje funkcionisanja lanca snabdevanja. Pokazano je kako planer može korišćenjem sopstvenog truda, zalaganja, kao i koncepata teorije igara da

donese veću vrednost za samo preduzeće, a i poboljša svoje ključne inidikatore performansi. Potezom u kome bira da se postavi kao ravnopravan u ovom poslovnom odnosu, on pravi mogućnost da sopstvene rezultate i profit firme podigne na viši nivo. Naravno, kupac uvek može odbiti, ali planer vrlo lako može podići svest i ostalih delova kompanije, pa se lakše boriti protiv nerealnih zahteva kupaca. Ovim primerom je pokazano kako pregovaranje sa kupcem ima smisla, a primena teorije igara je pomogla planeru da to i dokaže odeljenju prodaje, odnosno SLC-u. U slučaju kada i kupac ima negativne efekte ako ne želi da sarađuje, primenom koncepta koopetitvnih igara bilo bi lakše uveriti ga da sarađuje.

LITERATURA

[1] Aust, G. (2015). Vertical Cooperative Advertising in Supply Chain Management. Dresden: TU Dresden.

[2] Cachon, G.P., & Netessine, S. (2004). Game Theory in Supply Chain Analysis. In: Simchi-Levi D., Wu S.D., Shen ZJ. (eds) Handbook of Quantitative Supply Chain Analysis. International Series in Operations Research & Management Science, vol 74. Springer, Boston, MA.

[3] Chinchuluun, A., Karakitiou, A., & Mavrommati, A. (2008). Game Theory Models and Their Application in Inventory Management and Supply Chain Springer Optimization and Its Applications, in: Altannar Chinchuluun & Panos M. Pardalos & Athanasios Migdalas & Leonidas Pitsoulis (ed.), Pareto Optimality, Game Theory And Equilibria, 833-865, Springer.

[4] Croson, R., & Donohue, K. (2002). Experimental economics and supply-chain management. Interfaces, 32(5),74-82.

[5] Eriksson, P. E. (2008). Achieving Suitable Coopetition in Buyer-Supplier Relationship - The case of Astra Zeneca. Journal of Business-to-Business Marketing, 15(4) 425-454.

[6] Hennet, J.C., & Arda, Y. (2008). Supply chain cordination: A Game Theory approach. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 21(3), 399-405.

[7] Kafi, F., & Fatemi Ghomi, S.M.T. (2014). A Game-Theoretic Model to Analyze Value Creation with Simultaneous Cooperation and Competition of Supply Chain Partners. Creative Commons Attribution License, Mathematical Problems in Engineering, 2014.

[8] Kovačević, I., Panić, B., Vujošević, M., & Kuzmanović, M. (2013). Application of Transactional Analysis in Bullwhip Effect Analysis, AMFITEATRU Economic, 15(33), 210-223.

[9] Nagarajan, M., & Sošić, G. (2008). Game-theoretic analysis of cooperatin among supply chain agents: Review and extension. Los Angeles. European Journal of Operational Research, 187(3), 719-745.

[10] Okura, M., & Carfi, D. (2014). Coopetition and Game Theory. Journal of Applied Economic Sciences 9(3(29)), 458-469.

[11] Panić, B., Kovačević, I., Vujošević, M., & Kuzmanović, M. (2020). The Impact of Cooperativeness Supply Chain Performances, International Journal of Engineering Education, 36(6), 1877-1888.

[12] Parlar, M., & Leng, M. (2016). Game theoretic applications in supply chain management: A Review, INFOR: Information Systems and Operational Research, 43(3), 187-220.

[13] Sydow, J., & Wilhelm, M. (2018). Managing Coopetition in Supplier Networks- A Paradox Perspective. Journal of Supply Chain Management, 54(3), 22-41.

[14] Wu, D.Y., & Katok, E. (2006). Learning, communication and the bullwhip effect, Journal of Operations Management, 24(6), 839-850.

[15] Zhang, X. (2014). Game Theoretical Approach in Supply Chain Management, A thesis submitted in fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, RMIT University

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

ODREĐIVANJE OPTIMALNE MULTIKANALNE STRATEGIJE U USLOVIMA PANDEMIJE COVID-19

DETERMINATION OF THE OPTIMAL MULTICANAL STRATEGY IN THE CONDITIONS OF THE COVID-19 PANDEMIC

JELENA KONČAR[1], SONJA VUČENOVIĆ[1], RADENKO MARIĆ[1], GORAN VUKMIROVIĆ[1]

[1] Ekonomski fakultet u Subotici, Subotica, {jelena.koncar, sonja.vucenovic, radenko.maric, goran.vukmirovic}@ef.uns.ac.rs

Rezime: *Kako potencijalni potrošači svakodnevno koriste sve veći broj kanala, dolazi do izazova kako utvrditi gde je ciljni potrošač i koji kanal je ključan za realizaciju prodaje, međutim taj isti kanal ne mora biti mesto same kupovine. Utvrđivanje optimalne multikanalne strategije predstavlja izazov, a posebno u uslovima kada je jedan od kanala onemogućen usled mera koje su usledile početkom pandemije COVID-19. Postojanje multikanalne strategije predstavlja neophodnost poslovanja maloprodavaca, čak i u post-covid uslovima, budući da je poslovanje nepredvidivo, a potrošači sve više biraju sigurnu i beskontaktnu kupovinu.*

Ključne reči: *multikanalna strategija, maloprodaja, elektronska trgovina, potrošač.*

Abstract: *As potential consumers use an increasing number of channels every day, there is a challenge to determine where the target consumer is and which channel is key to sales, but that same channel does not have to be the place of purchase. Determining the optimal multi-channel strategy represents a challenge, especially in conditions when one of the channels is disabled due to the measures that followed the beginning of the COVID-19 pandemic. The existence of a multi-channel strategy is a necessity for retailers, even in post-covid conditions, as business is unpredictable and consumers are increasingly choosing secure and contactless shopping.*

Keywords: *multichannel strategy, retail, electronic commerce, consumer.*

1. UVOD

Multikanalnost kao strategija treba da uključuje sve različite puteve potrošača koji mogu dovesti do željenih ciljeva. Ono što čini multikanalnu strategiju moćnom je sposobnost optimizacije strategije u zavisnosti od uspeha kanala. Budući da potrošači provode više vremena na različitim kanalima, mora se odrediti optimalna struktura multikanalne strategije, kako bi se obezbedio sinergetski efekat. Postavlja se pitanje:

- Kako izmeriti uspeh multikanalne strategije?
- Koja je optimalna strutkura kanala marketinga koja dovodi do najboljih efekata?
- Koji je najbolji način za merenje multikanalne strategije?

Pri započinjanju sa multikanalnom strategijom, ne treba slediti isti pristup u merenju koji prati samo jedan kanal. Praćenje samo jednog kanala može dovesti do pogrešnih zapažanja, jer nema svaki kanal iste ciljeve ili metriku.

2. PROMENE U MALOPRODAJI USLED PANDEMIJE COVID-19

Pandemija je stvorila brojne probleme u maloprodaji, a maloprodavci koji su već imali multikanalno iskustvo su se najbolje prilagodili situaciji. Maloprodavci koji su uspeli da se prilagode i pronađu svoju optimalnu multikanalnu strategiju uspeli su da se prilagode situaciji i potrošačima koji zahtevaju izbor i fleksibilnost.

Većina maloprodavaca koji su imali samo fizičke prodajne objekte bila je u problemu na početku pandemije COVID-19, a sa druge strane neki multikanalni maloprodavci su beležili svoje najbolje performanse ikada, dok se nekoliko drugih vratilo na pozitivne rezultate poslovanja [1].

Digitalno najsofisticiranije kompanije bile su pobednici. Pandemija je ubrzala digitalizaciju, fizička prodavnica postaje najbolji digitalni saveznik u stvaranju potrošačkog iskustva. Najuspešniji maloprodavci imaju prednost, jer umeju da kombinuju prednosti fizičkog i digitalnog poslovanja.

Američki maloprodavac Target imao je jednu od najboljih godina poslovanja u 2020. godini, sa rastom prodaje od 15 milijardi dolara, što je veće od ukupnog rasta u prethodnih 11 godina, odnosno 7.2% rasta prodaje u maloprodajnim objektima, dok je elektronska prodaja imala rast 145%, što je 10 milijardi dolara u 2020. godini i rast od 235% usluge istodnevne isporuke [7]. Target je preuzeo tržišni udeo od svih svojih fizičkih konkurenata, zahvaljujući integraciji fizičkog i digitalnog poslovanja u multikanalnu strategiju. Target je otkrio da multikanalni potrošači troše četiri puta više od potrošača samo u prodavnicama i 10 puta više od potrošača samo sa digitalnih uređaja. Tokom tog perioda, više od tri četvrtine njihove prodaje na mreži izvršavale su njihove prodavnice, sa strategijom koja je zahtevala besprekornu koordinaciju lanca isporuke.

Slično tome, Zarina matična kompanija, Inditek, u 2020. godini je napravila transformaciju, što je dovelo do povratka u profitabilnost u drugom kvartalu, zahvaljujući, pre svega, multikanalnim mogućnostima koje su povećale online prodaju za 77% u 2020. godini, kada su ostali konkurenti prijavljivali gubitke [4]. Zara je stvorila kombinaciju digitalnog i fizičkog poslovanja. Pokrenute su tri multikanalne funkcije „Click & Go“, „Click & Find“ i „Click & Try“.

Da bi pružile takvo iskustvo potrošačima, oba maloprodavca su poslednjih nekoliko godina proveli razvijajući i ulažući u svoje mogućnosti multikanalne strategije prodaje i multikanalnog lanca snabdevanja. Danas, potrošači očekuju da kupuju putem računara, telefona ili u prodajnom objektu i biraju dostavu na kućnu adresu, u prodavnici, na unapred određenom mestu ili, čak, i u automobilu. Maloprodavac koji to danas ne može da obezbedi izgubiće 10-30% prodaje.

Pre nekoliko godina, veliko iznenađenje je bilo da su digitalni potrošači i dalje odlazili u fizičke prodavnice. Kada je „Click & Collect“ prvi put pokrenut, ispostavilo se da potrošači preferiraju tu opciju. Na primer, Adidas je ovu uslugu pokrenuo u Moskvi 2014. godine i očekivao je samo 10 porudžbina nedeljno [2]. Dobijao je 1.000 porudžbina nedeljno i bio je prisiljen da zaustavi inicijativu, jer se lanac snabdevanja nije mogao nositi sa tolikom količinom poručenih proizvoda. Dve godine kasnije, Adidas je postao prvi maloprodavac koji nudi ovu opciju. Tada se saznalo da su mu potrebne značajne snage IT-a i lanca snabdevanja da bi se mogla ostvariti multikanalna strategija.

Od tada je izgradnja multikanalnih mogućnosti postala jeftinija i brža zahvaljujući porastu potencijalnih partnera koji nude i softver i lanac snabdevanja kao uslugu. Softverske kompanije čine maloprodavcima bržim, jeftinim i lakšim da započnu multikanalnu strategiju SaaS ponudom (softver kao usluga), prema kojoj maloprodavci plaćaju samo po transakciji. Istovremeno, druge softverske kompanije pružaju mogućnosti upravljanja zalihama, a logističke kompanije, poput DHL-a ili UPS-a nude rešenja za dostavu, preuzimanje i povraćaj.

Najveći izazov za multikanalnost, danas, kao i nešto što se pogoršalo tokom pandemije, je lanac snabdevanja. To, posebno, znači osigurati prodajni objekat kao sastavni deo lanca snabdevanja da bi vršio isporuku potrošačima i rukovao povratima od njih. Ako se to ne postigne, većina potencijalnih prihoda se gubi. Statistički podaci pokazuju da oko 80% potrošača koji vrate proizvod u prodavnicu troše povraćaj sredstava u prodavnici i, kao što podaci Targeta pokazuju, multikanalni potrošač može potrošiti 10 puta više od potrošača koji koriste samo digitalne uređaje. Stoga se većina prihoda ostvaruje integrisanjem fizičkih prodavnica u ceo proces.

Kao posledica toga, razvoj multikanalne strategije zahteva transformaciju maloprodavca koja uključuje većinu funkcija (marketing, prodajne objekte, prodaju, lanac snabdevanja i IT), koja ne može uspeti ako samo jedna oblast prednjači.

3. MERENJE USPEHA MULTIKANALNE STRATEGIJE MALOPRODAJE

Ciljevi multikanalne strategije se postavljaju na svakoj tački kontakta sa potrošačem. Ciljevi mogu biti različiti, a ključni pokazatelj efikasnosti je *povrat na ulaganja (ROI)*. Međutim, različiti ciljevi kanala, mogu dovesti do različitih pokazatelja. Stoga treba odrediti koji kanal je bitan za povećanje svesnosti potrošača, koji kanal potrošač koristi za informisanje, a koji kanal je bitan za *stopu konverzije* kao pokazatelj, odnosno koji kanal je mesto gde potrošač obavlja kupovinu. Mogu se postaviti i holistički ciljevi za sve kanale, ali mogu se i suziti ciljevi na svaki kanal, kako bi se merili napori na svakom nivou. Na ovaj način će moći da se utvrdi koji je kanal uspešniji, ali i da li kompletna multikanalna strategija postiže postavljene ciljeve. Ono što je važno u multikanalnoj strategiji je pokazati kako svi kanali koji se koriste doprinose postizanju sveobuhvatnih ciljeva.

Pronalaženje svih dodirnih tačaka potrošača je bitno za određivanje svih onih tačaka koje su doprinele uspešnom učinku. Ispravan model pripisivanja može pomoći da se razume uspeh svakog kanala bez nužnog oslanjanja na poslednji kanal koji je pomogao da se postignete cilj, a to je prodaja. Ovo može biti izuzetno korisno za multikanalnu strategiju, jer može pripisati zasluge svakom kanalu koji je odigrao ključnu ulogu u

ispunjavanju ciljeva. Svaki kanal kojim je prošao potrošač može doprineti ciljevima, a pripisivanje olakšava otkrivanje dodirnih tačaka sa najboljim učinkom, kao i koji kanal nema ulogu u prodaji i time samo proizvodi troškove. U Tabeli 1 su prikazani pokazatelji merenja multikanalne strategije u slučaju kada postoji maloprodaji objekat, elektronski kanal prodaje i još jedan alterativni kanal.

Tabela 1: Primer pokazatelja efikasnosti pojedinih kanala, prerađeno prema [6]

Maloprodajni objekat	Elektronska trgovina	Drugi alternativni kanal	Ukupni ciljevi
Dobit/investicije	Dobit/investicije	Dobit/investicije	Povrat na investicije ROI
Vrednost pojedinačne kupovine	Vrednost prodaje/ broj posetilaca	Vrednost prodaje/ broj posetilaca	Stopa konverzije
% od ukupne prodaje koji se ostvari u prodajnom objektu	% od ukupne prodaje koji se ostvari u elektronskoj trgovini	% od ukupne prodaje koji se ostvari od alternativnog kanala	Ukupna prodaja
Ukupna prodaja/ukupni troškovi	Ukupna prodaja/ukupni troškovi	Ukupna prodaja/ukupni troškovi	Ukupan neto prihod
Troškovi rada	Troškovi rada i isporuke	Troškovi rada i isporuke	Ukupni troškovi

Na primer, ako je cilj povećanje prodaje proizvoda dodavanjem vrednosti, to može stvoriti putanju koja započinje od postova na društvenim mrežama, vodeći potrošače do bloga i uključujući poziv na akciju koji dovodi do prodaje online ili u prodajnom objektu. Ovo može biti uspešnije od pukog promovisanja stranice proizvoda, jer svakoj tački kontakta uspeva da doda pravi kontekst. Dakle, bitno je da se otkrije svaka dodirna tačka u svakom koraku, kako bi se osiguralo da su svi kanali igrali važnu ulogu u povećanju *stope konverzije*. Najbolji način za merenje uspeha je korišćenje prave tehnologije koja će pomoći da se istraže kanali sa najboljim učinkom. Kako multikanalna strategija uključuje više kanala, od ključne je važnosti koristiti najbolju tehnologiju koja će analizirati napore u svim kanalima. Eksplozivni rast doneo je nove mogućnosti u iskorišćavanju tehnologije na najbolji način za rast prodaje. Platforma koja na jednom mestu objedinjuje sve strategije može olakšati praćenje kanala sa najboljim učinkom. Takođe, ona može pomoći da se uoče nove mogućnosti koje su inače propuštene. Štaviše, tehnologije pomažu u primeni načina razmišljanja, usmerenog na podatke, koji može poboljšati strategiju.

Tabela 2: Hipotetički primer merenja multikanalne strategije

Pokazatelji	Maloprodajni objekat		Elektronska trgovina		Drugi alternativni kanal		Ukupni ciljevi
	Vrednost	Ocena značaja	Vrednost	Ocena značaja	Vrednost	Ocena značaja	
RIO	100.000nj./40.000nj.	**3**	50.000nj./70.000nj.	2	20.000nj./10.000nj.	1	1.21
Stopa konverzije	60nj.	2	100nj.	**3**	40nj.	1	200nj.
Ukupna prodaja	30%	2	50%	**3**	20%	1	100%
Ukupni neto prihod	6.000nj./5.000nj.	2	7.000nj./5.000nj.	1	2.000nj./300nj.	**3**	1.46
Ukupni troškovi	3.000nj.	1	1000nj.+300nj.	2	300nj.	**3**	4600nj.

Sve veći broj kanala traži pažljivije praćenje podataka kako bi analizirali uspeh rada. Pravilna upotreba podataka može pomoći da se razume multikanalna strategija i uloga svakog od kanala, putem *ocene značaja kanala*, određivanje koji kanal je sa najboljim učinkom, koji ima najveći povraćaj ulaganja, kako svaki kanal doprinosi određenom cilju, koji kanali imaju najbolju konverziju i kako potrošači reaguju na napore u svakom kanalu, što je kvantificirano u tabeli 2.

Nije dovoljno analizirati učinak svakog kanala pojedinačno prema ukupnim ciljevima. Mora se pokazati kako se svi napori kombinuju da bi se izmerio širi uticaj. Ovo je faza u kojoj se prikazuje kako sve aktivnosti doprinose prodaji i prihodu. Holistički pregled svih kanala koji su uključeni u strategiju, fokusira se na to kako su svi oni zajedno pomogli da se ostvari uspešna aktivnost.

Iako se čini da je teško izmeriti multikanalnu strategiju, to ne mora biti tako. Sve što je potrebno je pravi fokus na podacima, tehnologiji i pripisivanju, da bi se izmerio učinak svakog kanala i kako može da doda svoj značaj u celokupnoj multikanalnoj strategiji.

4. PERSPEKTIVE MULTIKANALNE STRATEGIJE U POST-COVID USLOVIMA

Tokom 2020. godine postalo je vrlo jasno da potrošači očekuju multikanalni pristup, da je njegova profitabilnost veoma visoka, da su softverske kompanije (SaaS) koje ga podržavaju znatno povećale svoju ponudu i da logističke kompanije pojačavaju pružanje sveobuhvatnih mogućnosti. Najveći izazov je integracija fizičkih prodajnih objekata i transformacija cele kompanije.

Trka za konkurentsku prednost u post-covid uslovima na tržištu već je započela. Budućnost će pripadati najboljem besprekornom digitalnom i fizičkom iskustvu koje maloprodavci mogu da ponude. Za potrošače se pojavljuje nova maloprodajna realnost koja je laka za upotrebu, zabavna i multikanalna.

Kako je pandemija COVID-19 nastavljala da utiče na poslovanje maloprodavaca, uz otvaranje prodajnih objekata, mali i srednji maloprodavci morali su da se uhvate u koštac sa spoznajom da će nova ponašanja potrošača i protokoli proistekli iz zdravstvene krize trajati mnogo duže nego što se prvobitno očekivalo. U narednom periodu razvijaju se tehnologije i integracije koje su u stanju da pomognu maloprodavcima da se prilagode, pa čak i poboljšaju poslovanje u ovom promenljivom okruženju.

Lokalni propisi nastavljaju da ograničavaju broj potrošača u prodajnim objektima na osnovu kvadratnog metra, što stvara ogroman pritisak na male i srednje maloprodavce sa ograničenim prostorom kako bi smestili potrošače na sigurnoj socijalnoj udaljenosti. Veliki prodajni objekti, takođe, kao prednost imaju značajan parking prostor. Aplikacije za maloprodaju omogućavaju preduzećima da postavljaju pragove na nivou prodavnice i omogućavaju potrošačima da se pridruže virtuelnom redu i budu upozoreni kada dođe red na njih. To omogućava maloprodavcima da lako kontrolišu socijalno distaciranje potrošača i prate broj potrošača u prodajnom objektu.

Multikanalni maloprodavci su iskorili integrisano upravljanje lancem snabdevanja između elektronske trgovine i zaliha u prodajnom objektu tokom pandemije. Omogućavanje funkcionalnosti tako da potrošači mogu da kupuju putem Interneta i preuzimaju proizvode u prodajnom objektu je neophodno da bi ostali konkurentni u odnosu na gigante elektronske trgovine koji nude besplatnu isporuku. Tokom kupovine, potrošači se automatski usmeravaju do najbližeg prodajnog objekta putem usluga geolokacije i mogu da unesu detalje o automobilu, marci, modelu i broju registracije za brže preuzimanje. Po dolasku, zaposleni u prodajnom objektu će pripremiti narudžbinu i izneti je za brzu i beskontaktnu transakciju. Ista tehnologija se, takođe, može koristiti za omogućavanje povrata novca preko naloga za online poručivanje. Iako je vraćanje proizvoda predstavljalo izazov tokom COVID-19, ova funkcija omogućava zaposlenima u prodajnom objektu da pretražuju porudžbinu putem adrese elektronske pošte ili broja porudžbine na mobilnom uređaju i bez napora prijave proizvod za vraćanje u sistem upravljanja zalihama, a da potrošač ne napusti automobil i ne uđe u prodajni objekat.

Ovo je takođe posebno važna karakteristika za kupovinu na Internetu kod proizvoda koji podrazumeva izbor različite veličine. Ako potošač kupi košulju ili cipele koje ne odgovaraju i proizvode vrati na šalteru prodajnog objekta, prodajni saradnik ima priliku da ponudi tačnu veličinu ili alternativni proizvod i pošalje ga direktno na adresu prebivališta potrošača. To može povećati verovatnoću da povrat postane zamena, što znači da prodavac ne gubi na prodaji.

Mnogo je karakteristika koje mogu pomoći multikanalnim maloprodavcima da se prilagode promenljivom ponašanju potrošača koje je rezultat COVID-19. Međutim, baš kao i kod svake promene koja se nameće preduzećima, ključ je započeti sa malim i usredsrediti se na tehnologije koje omogućavaju beskontaktno, jednostavno i sigurno iskustvo kako za potrošače, tako i za zaposlene u prodajnom objektu, uz dodavanje novih funkcija po potrebi.

U današnjem maloprodajnom okruženju, način na koji mnogi potrošači teže da kupuju promenio se, iako je njihov način razmišljanja tokom donošenja odluka ostao isti. Pre pandemije COVID-19, strateške odluke maloprodaje uključivale su da li da integrišu nove kanale u postojeću kombinaciju, upravljanje potrošačima preko kanala i prelazak iz jednokanalnog u multikanalno okruženje. S obzirom na dalju digitalizaciju u maloprodaji, kao i na ograničenja tradicionalnih kanala, maloprodavci moraju da preispitaju svoj način poslovanja kako bi preživeli trenutnu krizu i obezbedili podršku potrošača.

Maloprodavci će možda morati da preispitaju koji su kanali najprikladniji za njihovo poslovanje. Internet kanali su jednostavni za primenu po relativno niskoj ceni u poređenju sa proširenjem mreže maloprodajnih objekata, ali postojanje elektronskog kanala ne stvara uvek lojalnost.

Kupovina putem mobilnih uređaja uz pomoć aplikacija, omogućava pristup sa bilo kog mesta i može iskoristiti usluge lokacije za davanje personalizovanih ponuda. Mobilna kupovina predstavlja vrlo pogodan kanal, mobilni uređaji su lični predmeti i potrošači imaju bliski lični odnos sa njima.

Maloprodavci moraju da preispitaju kako posluju, kako bi preživeli trenutnu krizu. Što se više kanala maloprodaja integriše, to će verovatnije zadovoljni potrošači osećati i veću vrednost koju maloprodavac nudi. Važno je da potrošači koji kupuju preko prodajnih kanala maloprodavca pružaju veću životnu vrednost za potrošača. Maloprodavci treba da izgrade strategiju o tome kako oblikovati putovanje donošenja odluka potrošača unutar svakog kanala. Za kupovinu putem Interneta i putem mobilnih uređaja, maloprodavci bi trebalo da olakšaju kupovinu i ublaže nezadovoljstvo potrošača.

Iako utvrđivanje informacija o zalihama u realnom vremenu ili ulaganje u algoritme za predviđanje tražnje može biti skupo, potrošači ne razmišljaju puno o ovim kupovinama ukoliko ne dožive razočaranje. U stvari, iako je lojalnost potrošača pri kupovini možda deo onoga što ih navodi na Internet kanal maloprodavca, što više iskustva imaju sa kupovinom preko Interneta, to je manja verovatnoća da će ostati verni određenim maloprodavcu.

Da bi podstakli ponovljenu kupovinu, maloprodavci bi se trebali usredsrediti na funkcionalne karakteristike, kao što su čuvanje i preuzimanje lista kupovine, omogućavanje jednostavnog naručivanja poput narudžbi jednim klikom i smanjenje napora potrošača u donošenju odluka. Takođe bi trebalo da koriste druga sredstva distribucije ili kupovine.

Danas se primarni pristup Internetu širom sveta odvija putem prenosivih pametnih telefona i tablet računara umesto tradicionalnih desk top računara i laptop personalnih računara [5]. To može značiti da bi maloprodaja trebalo da gradi hiper mrežne ili mobilne kanale. Maloprodavci bi mogli da koriste mobilne aplikacije za stvaranje virtuelnih prodavnica, gde bi potrošači mogli da se osećaju kao da su u nekoj verziji prodavnice i obavljaju kupovine.

Što se više prodajnih kanala integriše, to će se potrošači verovatno osećati zadovoljnije. Pojedinačni potrošači imaju tendenciju da kupuju više u virtuelnom okruženju, u poređenju sa prodajnim objektom. Mobilna kupovina može značiti da se maloprodavci mogu udružiti kako bi olakšali kupovinu preko kanala unutar određenog područja. Trgovci u maloj trgovačkoj zoni (npr. kafić, prodavnica viskija, restorani) mogu da sarađuju u cilju zadovoljenja potreba potrošača na inovativan i uzbudljiv način. Na primer, neki gradovi ili manja područja za kupovinu mogu zajedno raditi na stvaranju aplikacije koja potrošče obaveštava koji su kanali dostupni za kupovinu kod svakog maloprodavca, kada su fizički otvoreni i kakvu ponudu trenutno imaju. Mnogi pružaoci usluga dostave su promenili svoju orijentaciju, pa tako Deliveroo, koji je primarno bio servis za dostavljanje hrane iz restorana, sada dostavlja proizvode i iz Marks and Specer [3].

Ovaj hiperkanal takođe se može kreirati putem društvenih mreža, povećavajući zainteresovanost potrošača. Maloprodavci bi trebalo da razmotre kako mogu da ponude specijalnu, jedinstvenu ili ograničenu seriju proizvoda na prodaju putem društvenih mreža, koja bi iskoristila snagu ovog kanala. Prodavci odeće i specijalnih proizvoda, posebno, trebalo bi da promene svoje poslovne modele kako bi ostali otvoreni za poslovanje, čak i u netradicionalnom smislu. Društvene mreže su, takođe, u jedinstvenoj poziciji da grade zajednicu oko maloprodavca, omogućavajući transparentnost i autentičnost.

Konačno, maloprodavci bi trebali da predvide neke izazove koji bi mogli proizaći iz hiperkanala. Iako drugi kanali ili dobavljači usluga mogu isporučivati ili prodavati proizvode, maloprodavci moraju biti dosledni svom imidžu. Ako novi hiperkanal ne pruža vrednost, možda ne vredi ulagati u njega. Stoga, da bi maloprodavci danas preživeli u promenljivom i nepredvidivom okruženju, moraju pažljivo razmotriti ulogu svakog kanala kako bi privukli potrošača i koje investicije treba dugoročno uložiti da bi obezbedili kontinuitet poslovanja u bilo kojim uslovima.

5. ZAKLJUČAK

Nije iznenađenje da je usvajanje multikanalnog ponašanja pri kupovini poraslo tokom pandemije COVID-19. Došlo je do brzog usvajanja i rasta kupovine na Internetu i rasta usluga u prodajnim objektima, delom i zbog toga što su mnogi maloprodavci brzo uveli strategije poput preuzimanja kupljenih proizvoda u prodajnom objektu. Maloprodaja se neprestano menja, posebno tokom neizvesnosti koju je donela COVID-19 pandemija, od padova prometa i svih parametara poslovanja, do brze promene u navikama potrošača. Reagovanje na promene i stvaranje brzog i sigurnost iskustva kupovine od vitalnog značaja su za uspeh. Kanali kupovine na Internetu i van njega više se ne smatraju odvojenim, potrošači istovremeno kupuju preko više kanala, komunicirajući sa mnogim dodirnim tačkama pre kupovine, očekujući da će svaka interakcija biti besprekorna. Mnogi maloprodavci brzo su se prilagodili pojačavanjem svog prisustva na mreži i prihvatanjem novih platformi. Sada je izazov ostati dosledan na svim kanalima i efikasno primeniti multikanalnu strategiju.

LITERATURA

[1] Cakir, G., Iftikhar, R., Bielozorov, A., Pourzolfaghar, Z., Helfert, M. (2021). Omnichannel retailing: Digital transformation of a medium-sized retailer, Journal of Information Technology Teaching Cases 1–5.

[2] Cordon, C., Leleux, B., Lennox, B. (2017). Adidas Russia/CIS and the Russian crisis: retrench or double down (Abridged case series). Supply Chain Forum: An International Journal. 18. 231-239.

[3] Hoekstra, J.C., Leeflang, P.S.H. (2020). Marketing in the era of COVID-19. Italian Journal of Marketing, 249–260. https://doi.org/10.1007/s43039-020-00016-3

[4] Intidex (2021). FY2020 RESULTS ,1 February 2020 to 31 January 2021.

[5] Končar, J., Marić, R., Vučenović, S., Vukmirović, G. (2021). Elektronska trgovina. Subotica: Ekonomski fakultet.

[6] Končar, J., Vučenović, S., Petrović Katai, Z. (2018). Merenje omnikanalnosti na globalnom tržištu. XLV Internacionalnog simpozijuma o operacionim istraživanjima - SYM-OP-IS 2018, Zlatibor, 16. do 19. septembra 2018. Godine, 479-483.

[7] Target (2020). Target Corporation Reports Fourth Quarter and Full-Year 2020 Earnings.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

FAZI MODEL ZA IZBOR SNABDEVAČA

FUZZY MODEL FOR SUPPLIER SELECTION

MILICA MITROVIĆ, GORDANA RADIVOJEVIĆ, DRAŽEN POPOVIĆ

Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, {milica.mitrovic, g.radivojevic, d.popovic}@sf.bg.ac.rs

---

Rezime: *Izbor snabdevača predstavlja značajnu strateški odluku, koja utiče na organizacionu i ekonomsku efikasnost poslovanja kompanija. Prema tome, ocena snabdevača je vrlo važna prilikom odabira za poslovnu saradnju. Dobar alat za donošenje ovakve odluke je, upravo, fazi logika koja omogućava oponašanje ljudskog rasuđivanja i donošenje odluka zasnovanih na nepreciznim podacima. U ovom radu je razvijen fazi model za izbor snabdevača jedne trgovinske kompanije u Srbiji, prema definisanim kriterijumima ocenjivanja: kvalitet isporuke, ukupna cena, geografska udaljenost i reputacija snabdevača.*

Ključne reči: *Logistika, Izbor snabdevača, Fazi skupovi, Fazi logika.*

Abstract: *Supplier selection is a significant strategic decision, which uses the organization and economic efficiency of the company's operations. Therefore, the evaluation of the supplier is very important when choosing for business cooperation. A good tool for making such a decision is, precisely, the fuzzy logic that enables the imitation of human reasoning and decision-making based on inaccurate data. In this paper, a fuzzy model for the selection of suppliers of a trading company in Serbia, is developed according to defined evaluation criteria: quality of delivery, total price, geographical distance and reputation of suppliers.*

Keywords: *Logistics, Supplier Selection, Fuzzy Sets, Fuzzy Logic.*

1. UVOD

Upravljanje lancem snabdevanja je vrlo složen i zahtevan strateško-organizacioni posao, gde se izbor snabdevača izdvaja kao jedan od veoma bitnih elemenata uspeha. Intenzivna globalna konkurencija između trgovinskih kompanija je doprinela da njihova saradnja sa snabdevačima postane izuzetno važna na savremenom poslovnom tržištu. Donošenje odluke o izboru snabdevača utiče na troškove kompanije, a adekvatnom odlukom se postiže efikasno poslovanje i može se obezbediti dovoljan obim proizvodnje sa dobrim kvalitetom. S obzirom na činjenicu da troškovi sirovina i pratećih delova predstavljaju glavni trošak proizvoda, ključnu ulogu u smanjenju troškova ima sektor nabavke izborom odgovarajućeg snabdevača.

Cilj ovog rada je razvoj fazi modela za izbor snabdevača jedne kompanije u Srbiji koja se snabdeva na domaćem i međunarodnom tržištu. Rad je, pored uvoda i zaključka, organizovan u tri poglavlja. U drugom poglavlju je dat opis problema i skup kriterijuma za evaluaciju snabdevača. Treće poglavlje opisuje fazi model za izbor snabdevača koji se zasnova na fazi skupovima, fazi logici i algoritmu aproksimativnog rezonovanja. U četvrtom poglavlju je predstavljen numerički primer koji je rešavan fazi modelom.

2. OPIS PROBLEMA

U ovom radu se posmatra trgovinska kompanija u Srbiji koja se bavi nabavkom, preradom, distribucijom i prodajom robe od drveta. Pri izboru snabdevača se koriste različiti kvantitativni i kvalitativni kriterijumi, iskustvo prethodne saradnje, preporuke, izbor drugih kompanija itd. Na osnovu pregleda literature ovde su identifikovana četiri kriterijuma za izbora snabdevača:

- Kvalitet isporuke,
- Ukupna cena,
- Geografska udaljenost i
- Reputacija.

Kvalitet isporuke karakteriše vremenska tačnost isporuke, kvalitet robe, fleksibilnost, komunikacija i primena ICT (engl. Information and communication technology). Kupac (trgovinska kompanija) i snabdevač formiraju ugovor o prodaji robe u kome precizno definišu vrstu robe, količinu, način poručivanja, način transporta i ostale detalje vezane za isporuku robe. Ukupna cena obuhvata cenu robe i troškove distribucije.

Karakteristike za ukupnu cenu mogu biti način plaćanja, mogućnost personalizovanih ugovora i postojanje periodičnih popusta i akcija za sve kupce. Geografska udaljenost snabdevača ima uticaj na troškove distribucije i vreme isporuke robe, i time je od značaja za odlučivanje kupca. Faktori koji utiču na geografsku udaljenost su saobraćajna infrastruktura, uslovi transporta, administracija i pristupačnost. Reputacija snabdevača se odnosi na njegov kredibilitet koji se ogleda kroz finansijsku stabilnost, ekološku svest i odgovornost i poštovanje ugovora o poverljivosti poslovanja.

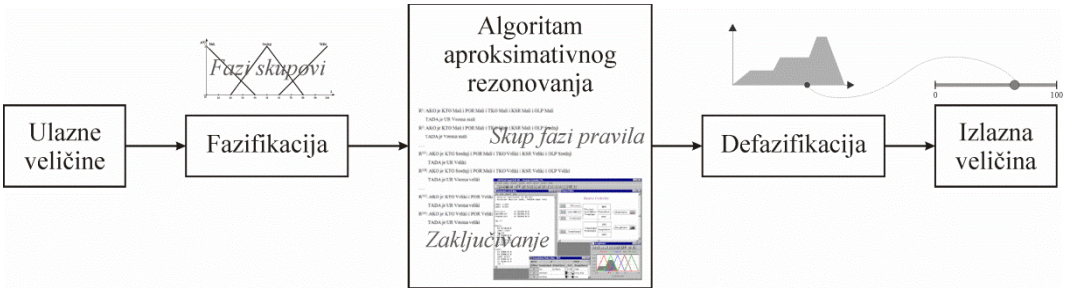
U literaturi se ovakvi problemi rešavaju na različite načine. Za problem izbora snabdevača je razvijen fazi model u kojem su posmatrani različiti kriterijumi za upravljanje rizicima u lancu snabdevanja [7]. Za izbor provajdera logističkih usluga je razvijen model zasnovan na kombinaciji Delphi i ANP metoda (engl. Analytic network process) [5]. Rešavanje problema izbora snabdevača u lancu snabdevanja je realizovano primenom modela višekriterijumskog odlučivanja zasnovanog na teoriji fazi skupova i metode TOPSIS (engl. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) [4]. Prema [2], razvijen je model za izbor i rangiranje 3PL (engl. Third party logistics) provajdera usluga koji je zasnovan na TOPSIS tehnici i teoriji fazi skupova.

Osnovna ideja u ovom radu je razvoj modela za izbor snabdevača koji se zasniva na primeni fazi skupova i fazi logike. Fazi logika je koncept koji se koristi za modeliranje sistema zasnovanih na nepreciznim, kvalitativnim i opisnim lingvističkim pravilima. Fazi logički sistemi omogućavaju modeliranje ljudskog iskustva, njihove intuicije i ponašanja [9].

Fazi logika se primenjuje u oblasti logistike, saobraćaja i transporta, upravljanja i kontrole sistema, finansija, industrije, medicine, itd. Neki od konkretnih problema za koje je primenjena fazi logika su optimizacija investicionih odluka, ocenjivanje performansi povratne logistike u automobilskoj industriji, ocena kooperativne održivosti kompanije u prehrambenoj industriji prema tri perspektive: ekonomskoj, ekološkoj i socijalnoj [1, 3, 6].

3. FAZI MODEL

U ovom radu je razvijen fazi model za izbor snabdevača. Model se zasniva na primeni fazi skupova, fazi logike i algoritma aproksimativnog rezonovanja. Fazi skupovi su dobar alat za modeliranje veličina koje se ne mogu dovoljno pouzdano kvantifikovati (npr. prosečan kvalitet usluge, velika cena, mala geografska udaljenost, velika reputacija). Fazi logika omogućava formiranje fazi pravila kojima se modelira odlučivanje eksperata. Algoritam aproksimativnog rezonovanja obuhvata skup svih fazi pravila koji modeliraju odlučivanje eksperata za različite vrednosti kriterijuma odlučivanja. Model za izbor snabdevača obuhvata četiri koraka, koja su prikazana na slici 1 i opisana u nastavku.



Slika 2: Koraci u razvoju fazi modela

3.1. Određivanje ulaznih i izlazne veličine

Model ima četiri ulazne veličine i jednu izlaznu veličinu. Ulazne veličine su kriterijumi odlučivanja – kvalitet isporuke (K), ukupna cena (C), geografska udaljenost (G) i reputacija (R). Izlazna veličina je indeks rangiranja snabdevača (IR). Model omogućava da se na osnovu kvantifikacije kriterijuma (ulaznih veličina) rangiraju svi snabdevači.

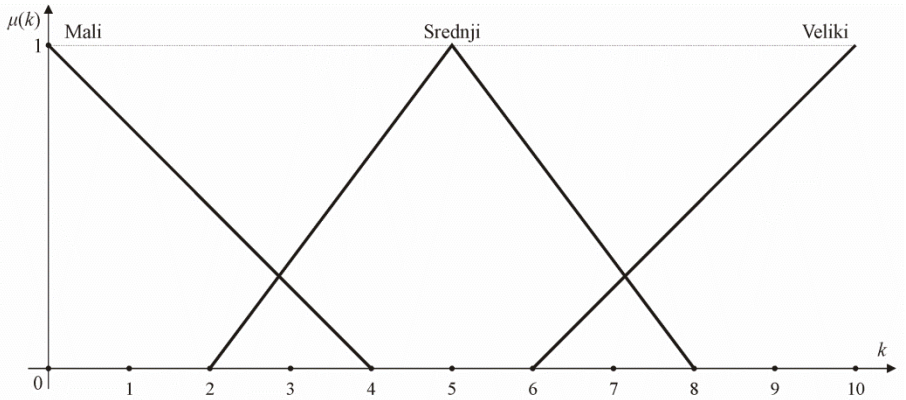
3.2. Fazifikacija

Sve ulazne veličine (K, C, G i R) mogu biti male, srednje i velike i mogu se opisati odgovarajućim fazi skupovima:

- mali kvalitet isporuke (K_M), srednji kvalitet isporuke (K_S) i veliki kvalitet isporuke (K_V),
- mala ukupna cena (C_M), srednja ukupna cena (C_S) i velika ukupna cena (C_V),

- mala geografska udaljenost (G_M), srednja geografska udaljenost (G_S) i velika geografska udaljenost (G_V),
- mala reputacija (R_M), srednja reputacija (R_S) i velika reputacija (R_V).

Oblik funkcija pripadnosti, leva i desna granica fazi broja i vrednost sa najvećim stepenom pripadnosti, su isti za sve ulazne veličine. Vrednost ulaznih promenljivih se određuje za svakog snabdevača ocenom na skali od 0 do 10. Na slici 2 su prikazane funkcije pripadnosti fazi skupova K_M, K_S i K_V.



Slika 2. Funkcije pripadnosti fazi skupova K_M, K_S i K_V

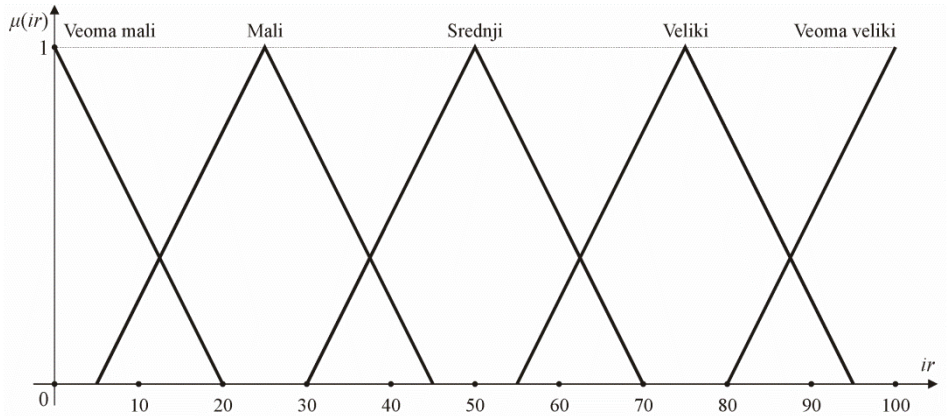
Funkcije pripadnosti ulaznih veličina su:

$$\mu_{K_M}(k) = \begin{cases} \frac{4-k}{4}, & 0 \le k \le 4 \\ 0, & k > 4 \end{cases} \tag{1}$$

$$\mu_{K_S}(k) = \begin{cases} 0, & k \le 2 \\ \frac{k-2}{3}, & 2 \le k \le 5 \\ \frac{8-k}{3}, & 5 \le k \le 8 \\ 0, & k > 8 \end{cases} \tag{2}$$

$$\mu_{K_V}(k) = \begin{cases} 0, & k \le 6 \\ \frac{k-6}{4}, & 6 < k \le 8 \\ 0, & k > 10 \end{cases} \tag{3}$$

Izlazna veličina fazi sistema je indeks rangiranja (IR) koji se može opisati fazi skupovima veoma mali (IR_{VM}), mali (IR_M), srednji (IR_S), veliki (IR_V) i veoma veliki (IR_{VV}). Vrednost indeksa rangiranja snabdevača može biti u intervalu (0, 100). Funkcije pripadnosti ovih fazi skupova su prikazane na slici 3.



Slika 3. Funkcije pripadnosti fazi skupova IR_{VM}, IR_M, IR_S, IR_V i IR_{VV}

Funkcije pripadnosti izlaznih veličina su definisane na sledeći način:

$$\mu_{IR_{VM}}(ir) = \begin{cases} \frac{20-ir}{20}, & 0 \le ir \le 20 \\ 0, & ir > 20 \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{IR_{M}}(ir) = \begin{cases} 0, & ir \le 5 \\ \frac{ir-5}{20}, & 5 < ir \le 25 \\ \frac{45-ir}{20}, & 25 < ir \le 45 \\ 0, & ir > 45 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{IR_{S}}(ir) = \begin{cases} 0, & ir \le 30 \\ \frac{ir-30}{20}, & 30 < ir \le 50 \\ \frac{70-ir}{20}, & 50 < ir \le 70 \\ 0, & ir > 70 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{IR_{V}}(ir) = \begin{cases} 0, & ir \le 55 \\ \frac{ir-55}{20}, & 55 < ir \le 75 \\ \frac{95-ir}{20}, & 75 < ir \le 95 \\ 0, & ir > 95 \end{cases} \quad (6)$$

$$\mu_{IR_{VV}}(ir) = \begin{cases} 0, & ir \le 80 \\ \frac{ir-80}{20}, & 80 < ir \le 100 \end{cases} \quad (7)$$

3.3. Razvoj algoritma aproksimativnog rezonovanja

Algoritam aproksimativnog rezonovanja je skup pravila koja u pretpostavkama sadrže ulazne veličine, a u konsekvencama izlaznu veličinu fazi sistema. U fazi pravilima cilj je da se neki kriterijumi maksimiziraju (kvalitet isporuke i reputacija), a neki minimiziraju (ukupna cena i geografska udaljenost) kako bi se postigla što bolja ocena indeksa rangiranja snabdevača. Jedno fazi pravilo predstavlja fazi frazu definisanu na skupu $K \times C \times G \times R$. Algoritam aproksimativnog rezonovanja obuhvata 81 fazi pravilo. Neka fazi pravila su:

P_1: Ako je K mali i C mala i G mala i R mala Tada je IR srednji
P_2: Ako je K mali i C mala i G mala i R srednja Tada je IR mali
P_3: Ako je K mali i C mala i G mala i R velika Tada je IR srednji
...
P_{39}: Ako je K srednji i C srednja i G mala i R velika Tada je IR veliki
P_{40}: Ako je K srednji i C srednja i G srednja i R mala Tada je IR srednji
P_{41}: Ako je K srednji i C C srednja i G srednja i R srednja Tada je IR veliki
...
P_{79}: Ako je K veliki i C velika i G velika i R mala Tada je IR veoma mali
P_{80}: Ako je K veliki i C velika i G velika i R srednja Tada je IR mali
P_{81}: Ako je K veliki i C velika i G velika i R velika Tada je IR mali

Nivoi indeksa rangiranja (IR_{VM}, IR_M, IR_S, IR_V, IR_{VV}) su u pravilima ravnomerno zastupljeni i definisani su na osnovu ekspertskog znanja i iskustva. Postoje dve tehnike fazi sistema zaključivanja (engl. Fuzzy inference systems – FIS) Sugeno i Mamdani [10]. Za razvoj fazi modela za izbor snabdevača korišćen je Mamdani fazi sistem zaključivanja koji je i najčešće korišćena fazi metodologija.

3.4. Defazifikacija

Kada se sa ulaznim vrednostima kriterijuma za jednog snabdevača prođe kroz sva fazi pravila, kao izlazni rezultat se dobija rezultujući fazi skup koji opisuje njegov indeks rangiranja. U ovom fazi skupu sve vrednosti imaju odgovarajući stepen pripadnosti. Defazifikacija je proces izračunavanja krisp vrednosti (engl. crisp values) na osnovu rezultujućeg fazi skupa. U ovom fazi modelu je primenjena centroid metoda defazifikacije [10].

4. NUMERIČKI PRIMER

Fazi model za izbor snabdevača je razvijen u softverskom alatu Matlab [8]. Fazi model je testiran na velikom broju primera – situacija u kojima se donosi odluka o izboru snabdevača. Ovde je opisan primer koji obuhvata skup od 10 potencijalnih snabdevača. Ulazni podaci za fazi model su dobijeni od menadžmenta kompanije kao ocene definisanih kriterijuma. Svaki snabdevač ima različite vrednosti za ulazne kriterijume koje su predstavljene u tabeli 1.

Tabela 1: Ulazni podaci kriterijuma za 10 snabdevača

Snabdevač	Kvalitet usluge	Ukupna cena	Geografska udaljenost	Reputacija
S1	6	7	1	5
S2	7	4	8	7
S3	5	8	2	5
S4	10	7	8	9
S5	10	8	4	7
S6	6	3	10	5
S7	10	9	10	10
S8	1	6	8	6
S9	2	5	5	3
S10	9	2	4	9

Za svakog potencijalnog snabdevača se sa navedenim vrednostima ulaznih veličina prolazi kroz sva pravila fazi modela. Kao izlazni rezultat se dobija fazi skup – krisp vrednost koja predstavlja njegov indeks rangiranja. Rezultati fazi modela za sve snabdevače su prikazani u tabeli 2. Snabdevač S10 ima najveći indeks rangiranja i on predstavlja najbolji izbor iz posmatranog skupa snabdevača. Drugi i treći visoko rangirani indeksi su za snabdevače S2 i S6, koji mogu biti alternativni snabdevači posmatrane kompanije.

Tabela 2: Rezultati fazi modela izbora snabdevača

Rang	Snabdevač	Indeks rangiranja
1	S10	92.50
2	S2	78.30
3	S6	75.00
4	S1	64.20
5	S4	51.40
6	S3	50.00
7	S5	35.80
8	S7	25.00
9	S9	21.70
10	S8	7.52

Testiranje fazi modela u kompaniji je pokazalo mogućnost primene u konkretnim uslovima. Model na dobar način simulira ponašanje donosioca odluke i veoma brzo daje rang listu potencijalnih snabdevača. Najvažnije je da se na pravi način definiše skup ulaznih podataka pre svega za kvalitativne kriterijume (kvalitet isporuke i reputacija snabdevača). Primena fazi skupova i fazi logike omogućavaju modeliranje nepreciznih podataka i ljudskog zaključivanja u procesu odlučivanja.

5. ZAKLJUČAK

Donošenje odluka o izboru snabdevača je složen proces koji zahteva evaluaciju potencijalnih snabdevača prema definisanim kriterijumima. Ova odluka utiče na poslovanje kompanije u pogledu njenih troškova i efikasnosti rada. Kao alat koji se koristi za rešavanje mnogih problema u logistici, fazi logika predstavlja jednu od pogodnijih tehnika i za rešavanje problema izbora snabdevača.

U ovom radu je razvijen fazi model za izbor snabdevača koji se može primeniti u konkretnoj kompaniji. Testiranja modela na različitim praktičnim primerima odlučivanja su pokazala dobre rezultate. Model se veoma brzo izvršava i za veliki broj potencijalnih snabdevača. Pravci budućih istraživanja se odnose na proširivanje modela većim brojem kriterijuma i podkriterijuma, određivanjem značaja kriterijuma i njihovim uticajem na formiranje pravila odlučivanja.

NAPOMENA

Ovaj rad je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru projekta TR 36006 za period 2011-2021.

LITERATURA

[1] Bolos, M. I., Bradea, I. A., & Delcea, C. (2019). A Fuzzy Logic Algorithm for Optimizing the Investment Decisions within Companies. Symmetry, 11(2), 1-19.

[2] Bottani, E., & Rizzi, A. (2006). A fuzzy TOPSIS methodology to support outsourcing of logistics services. Supply Chain Managment, 11(4), 294-308.

[3] Bottani, E., Gentilotti, M. C., & Rinaldi, M. (2017). A Fuzzy logic-Based Tool for the Assessment of Corporate Sustainability: A Case Study in the Food Machinery Industry. Sustainability, 9(4), 1-29.

[4] Chen, C. T., Lin, C. T., & Huang, S. F. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supplychain management. International Journal of Production Economics, 102(2), 289-301.

[5] Chen, K. Y., & Wu, W. T. (2011). Applying analytic network process in logistics service provider selection - A case study of the industry investing in Southeast Asia. International Journal of Electronic Business Management, 9(1), 24-36.

[6] Olugu, E., & Wong, K. Y. (2011). Fuzzy logic evaluation of reverse logistics performance in the automotive industry. Scientific Research and Essays, 6(7), 1639-1649.

[7] Paul, S. K. (2015). Supplier selection for managing supply risks in supply chain: a fuzzy approach. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 79(1), 657–664.

[8] Roger Jang, J. S., & Gulley, N. (1997). MATLAB Fuzzy Logic Toolbox. Natick: The MathWorks, Inc.

[9] Teodorović, D., & Šelmić, M. (2019). Računarska inteligencija u saobraćaju. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet.

[10] Zimmermann, H. J. (1996). Fuzzy Set Theory and Its Applications. London: Kluwer Academic Publishers.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

EVALUATION AND SELECTION OF FREIGHT FORWARDING COMPANY USING SWARA-COCOSO APPROACH

VUKAŠIN PAJIĆ[1], MILAN ANDREJIĆ[1], MILORAD KILIBARDA[1]

[1] University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, {v.pajic,m.andrejic,m.kilibarda}@sf.bg.ac.rs

Abstract: *The organization of international flows is a complex task consisting of a large number of activities, participants, documents and regulations. For that reason, many logistics companies leave that task to freight forwarding companies. However, on that occasion, the question arises of choosing an adequate freight forwarding company, which has the necessary knowledge in customs operations, given that there are a large number of such companies on the market. The aim of this paper is to propose an approach for the evaluation and selection of a freight forwarding company in order to effectively realize customs activities. In this paper, 12 criteria were considered, which were then used to evaluate 5 freight forwarding companies operating in the Serbian market. In order to determine the weights of the criteria, based on the assessment of 12 experts, the SWARA method was applied in this paper. The weights determined by this method were then used in the CoCoSo method to obtain the final result. The results of the implementation showed that the proposed approach can provide significant decision support.*

Keywords: *freight forwarding, SWARA, CoCoSo, MCDM.*

1. INTRODUCTION

The procedure of organization and realization of the international commodity flow follows after the conclusion of the contract between the seller and the buyer in international trade. For the organization and realization of logistics and other processes in import and export flows of goods, the seller and the buyer mainly engage freight forwarding companies. Freight forwarding is a logistics activity in the field of planning, organizing and realizing commodity flows. It strives to provide a complete and quality logistics service in order to fully meet the needs, requirements and expectations of customers. This can be achieved in full cooperation with various logistics service providers and many other participants in international trade flows. The freight forwarder is obliged to organize export and import commodity flows in accordance with the provisions of the sales contract concluded between the seller and the buyer.

In order to evaluate and select appropriate freight forwarders, decision-makers must first define evaluation criteria. In this paper, 12 criteria were defined which were used then to evaluate 5 freight forwarders (FF). Since every criterion is not of the same importance, a SWARA method was used in order to determine the weight of each criterion. These weights were then used in the CoCoSo method in order to determine the final ranking of FF. The SWARA method is useful when there is a need to determine the weight of each criterion based on the experience and knowledge of the experts. In order to determine weights, experts' must first rank criteria from the most significant to the least significant. CoCoSo method, on the other hand, is one of the newest MCDM methods. This method combines three aggregation strategies in order to determine the final ranking. The application of the CoCoSo method increases the accuracy of the decision-making process in a multicriteria environment. A combination of these methods was used in this paper to propose an approach for the selection of a freight forwarding company for the customs clearance procedure.

The paper is organized as follows. After the introduction, a description of the problem is given as well as a review of the literature. In the next section of the paper, the methodology used in this paper is presented, which refers to the SWARA and CoCoSo methods. The following section presents the results of the application of the described methods. The last section provides concluding remarks as well as directions for future research.

2. PROBLEM DESCRIPTION AND LITERATURE REVIEW

The process of organizing international commodity flows is a very complex task. This complexity is a consequence of a large number of participants, activities and documents that occur during international trade. The efficiency of the organization of such flows can have an impact on many segments of the logistics company. This impact can be seen both through costs and time, given that the goal of each company is to

minimize costs on the one hand and to meet the agreed deadlines on the other hand. One of the most important, and at the same time the most complex processes during the realization of the international commodity flows is the procedure of customs clearance of goods. In order to successfully realize this task, logistics companies usually hire freight forwarding companies that have the necessary knowledge and experience in providing such services. On that occasion, some of the tasks that the freight forwarder performs are collecting documentation, filling in documentation, representing clients in customs clearance procedures, tariffing goods, etc. Precisely because of the complexity of this process, it is crucial to choose an adequate freight forwarder who has the necessary knowledge. The choice of an adequate freight forwarder is especially important for certain countries where customs procedures are very complex. For this reason, the aim of this paper is to define an approach for the selection of a freight forwarding company using the SWARA and CoCoSo approach.

In this paper, the following criteria were used for the assessment of freight forwarders [2, 5, 8]:

- Service quality,
- Reliability,
- Freight rates,
- Flexibility,
- Reputation,
- On-time delivery,
- Forwarding time,
- Expertise,
- State of delivery,
- Experience,
- Information availability,
- Quality certification.

Service quality is one of the most important criteria when choosing a freight forwarder since it is most often a decisive factor for customers when choosing. Reliability is primarily related to the reliability of the FF service. In addition, reliability refers to the accuracy as well as the fulfillment of all customer requirements by FF. Freight rates also stand out as one of the more important criteria since clients always aim to minimize costs. Flexibility represents the ability to provide freight service using different modes of transport. In addition, flexibility is considered to be the ability to quickly adapt to sudden changes in requirements. Reputation is an indicator of the value of a particular company in the market by users. On-time delivery primarily refers to the timeliness of delivery in compliance with the agreed deadlines. Delays in international transport, in addition to the impact on the company itself (inability to respond to customer requests), can also affect the goods (when for example perishable goods get retained at the border). Forwarding time represents the time that elapses from the moment the vehicle arrives at the border crossing to the moment the customs procedures are completed and the vehicle is released. Expertise represents the degree of expertise in providing relevant services. State of delivery primarily refers to damage that can occur both during transport and due to detention at the border. Experience represents the number of years a company has been engaged in freight forwarding activities. Information availability refers to the possibility to access the FF information technology, as well as the existence of modern solutions for information sharing and tracking of goods. Quality certification refers to the standards that FF possesses (such as ISO standards, IFS, FIATA, etc.).

One of the reasons for writing this paper is the lack of papers in the literature that deal with the issue of freight forwarder selection. One of the first papers dealing with this issue concerns the issue of freight forwarder selection as well as the complexity of that selection [3]. Huang et al. [1] in their paper dealt with the assessment of service quality of international freight forwarders in East Asia. The purpose was to investigate important customer requirements. Perlman et al. [5] in their paper dealt with determining key factors in selecting an international freight forwarding company. Ulutas et al. [7] applied a combination of fuzzy SWARA and CoCoSo method for location selection for logistics center. Wen et al. [9] used a combination of SWARA-CoCoSo methods in order to evaluate and select drug cold chain logistics suppliers.

3. METHODOLOGY

In order to select the appropriate FF, CoCoSo method was used in this paper. In order to determine the weights of the observed criteria, a SWARA method was used (which were then used in CoCoSo method). The methodological steps of the application of these methods are presented below.

3.1. SWARA method

The procedure for the determination of weights by SWARA method includes the following steps [6, 10]:

Step 1 – All criteria should be sorted in descending order based on their significance evaluated by experts.

Step 2 – Starting from the second criterion, experts express the relative importance of criterion j in relation to the previous $j-1$ criterion. This way the comparative importance of average value (S_j) is determined for each criterion.

Step 3 – Determine the coefficient k_j as follows:

$$k_j = \begin{cases} 1 & ,j = 1 \\ s_j + 1 & ,j > 1 \end{cases} \quad (1)$$

Step 4 – Determine the recalculated weight q_j as follows:

$$q_j = \begin{cases} 1 & ,j = 1 \\ \frac{q_{j-1}}{k_j} & ,j > 1 \end{cases} \quad (2)$$

Step 5 – Calculate the weight values of criteria as follows:

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{k=1}^{n} q_k} \quad (3)$$

where *wj* represents the relative weight value of the criterion *j*.

3.2. CoCoSo method

The procedure for the determination of final ranking by CoCoSo method includes the following steps [11]:

Step 1 – Determine the initial decision-making matrix.

Step 2 – The normalization of criteria values is accomplished based on compromise normalization equation:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_i x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}}; for\ benefit\ criterion \quad (4)$$

$$r_{ij} = \frac{\max_i x_{ij} - x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}}; for\ cost\ criterion \quad (5)$$

Step 3 – The total of the weighted comparability sequence and the whole of the power weight of comparability sequences for each alternative sum of the weighted comparability sequence and also an amount of the power weight of comparability sequences for each alternative as S_i and P_i respectively are calculated:

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} (w_j r_{ij}) \quad (6)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^{n} (r_{ij})^{w_j} \quad (7)$$

Step 4 – Relative weights of the alternatives using the following aggregation strategies are computed:

$$k_{ia} = \frac{P_i + S_i}{\sum_{i=1}^{m} (P_i + S_i)} \quad (8)$$

$$k_{ib} = \frac{S_i}{\min_i S_i} + \frac{P_i}{\min_i P_i} \quad (9)$$

$$k_{ic} = \frac{\lambda(S_i) + (1-\lambda)(P_i)}{\left(\lambda \max_i S_i + (1-\lambda) \max_i P_i\right)}; 0 \le \lambda \le 1 \quad (10)$$

In Equation (10), λ is chosen by decision-makers and is usually $\lambda = 0.5$.

Step 5 – The final ranking of the alternatives is determined based on k_i values (the higher the value the better):

$$k_i = (k_{ia} k_{ib} k_{ic})^{\frac{1}{3}} + \frac{1}{3}(k_{ia} + k_{ib} + k_{ic}) \quad (11)$$

4. RESULTS

In order to determine the final ranking of freight forwarders, first, it is necessary to determine the weight of each of the observed criteria. Criteria were first ranked according to the importance by experts (from the most important to the least important), after which the other steps of the SWARA method were implemented. In the evaluation of the criteria, 12 experts were involved. In order to get one value for every criterion, the geometric mean of the judgments was used [4]. The results of the application of the SWARA method are presented in Table 1.

Table 1. Results of the SWARA method

Criterion	S_j	$K_j = S_j+1$	Q_j	W_j
Service quality (C1)	-	1	1	0.135
Freight rates (C2)	0.05	1.05	0.952	0.129
On-time delivery (C3)	0.11	1.11	0.858	0.116
Reliability (C4)	0.06	1.06	0.809	0.109
Forwarding time (C5)	0.04	1.04	0.778	0.105
Flexibility (C6)	0.13	1.13	0.689	0.093
State of delivery (C7)	0.2	1.2	0.574	0.078
Expertise (C8)	0.35	1.35	0.425	0.057
Experience (C9)	0.03	1.03	0.413	0.056
Quality certification (C10)	0.16	1.16	0.356	0.048
Reputation (C11)	0.23	1.23	0.289	0.039
Information availability (C12)	0.12	1.12	0.258	0.035
			7.402	

Based on the results of Table 1, it can be concluded that service quality and freight rates with a weight of 0.135 and 0.129 respectively are the two most significant criteria, while reputation and information availability are the two least significant criteria with a weight of 0.039 and 0.035 respectively. After determining the weights of the criteria, the CoCoSo method was applied in accordance with equations (4)-(11). Namely, the first step in implementing this method is to determine the initial matrix. In the initial matrix (Table 2) 5 FF working in the Serbian market were evaluated according to the observed criteria. Service quality, freight rates, forwarding time, flexibility, state of delivery, reputation and information availability are rated on a scale of 1-5 for each FF in accordance with the previous experience of decision-makers with the appropriate FF. On the other hand, on-time delivery was observed as a percentage (determined based on the experience of decision-makers), reliability was defined in this paper as the average value of service quality, on-time delivery, forwarding time and flexibility. This value was then divided by the maximum average score (5) to obtain the percentage. The value for expertise was observed as the number of customs offices that the FF owns. The value for experience was observed through the number of years the FF has been operating on the Serbian market. Finally, the quality certification value is taken as the number of standards that a particular FF has.

Table 2. Initial matrix

Criterion	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
Optimal value	max	min	max	max	min	max	max	max	max	max	max	max
FF1	4	4	98.6	95	1	5	4	64	25	6	5	3
FF2	5	4	98.1	70	2	1	4	70	15	4	4	3
FF3	3	3	95.9	65	3	5	5	9	17	11	3	5
FF4	3	3	95.3	60	3	5	5	10	16	14	2	5
FF5	5	5	98	65	2	1	4	18	8	3	4	1

Thereafter, the initial matrix was normalized using equations (4)-(5). The results of normalization are shown in Table 3.

Table 3. Normalized matrix

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
W_j	0.135	0.129	0.116	0.109	0.105	0.093	0.078	0.057	0.056	0.048	0.039	0.035
FF1	0.5	0.5	1	1	1	1	0	0.90	1	0.27	1	0.5
FF2	1	0.5	0.85	0.29	0.5	0	0	1	0.41	0.09	0.67	0.5
FF3	0	1	0.18	0.14	0	1	1	0	0.53	0.73	0.33	1
FF4	0	1	0	0	0	1	1	0.02	0.47	1	0	1
FF5	1	0	0.82	0.14	0.5	0	0	0.15	0	0	0.67	0

The normalized matrix was then used to implement the third step, i.e., to determine the values for the coefficients S_i and P_i. The coefficients were determined using equations (6)-(7). The values of these coefficients are shown in Tables 4 and 5.

Table 4. Weighted comparability sequence and Si

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	S_i
FF1	0.07	0.06	0.12	0.11	0.11	0.09	0	0.05	0.06	0.01	0.04	0.02	0.73
FF2	0.14	0.06	0.10	0.03	0.05	0	0	0.06	0.02	0.00	0.03	0.02	0.51
FF3	0	0.13	0.02	0.02	0	0.09	0.08	0	0.03	0.03	0.01	0.03	0.45
FF4	0	0.13	0	0	0	0.09	0.08	0.00	0.03	0.05	0	0.03	0.41
FF5	0.14	0	0.09	0.02	0.05	0	0	0.01	0	0	0.03	0	0.33

Table 5. Exponentially weighted comparability sequence and Pi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	P_i
FF1	0.91	0.91	1	1	1	1	0	0.99	1	0.94	1	0.98	10.73
FF2	1	0.91	0.98	0.87	0.93	0	0	1	0.95	0.89	0.98	0.98	9.50
FF3	0	1	0.82	0.81	0	1	1	0	0.97	0.98	0.96	1	8.54
FF4	0	1	0	0	0	1	1	0.79	0.96	1	0	1	6.75
FF5	1	0	0.98	0.81	0.93	0	0	0.90	0	0	0.98	0	5.60

Equations (8)-(11) were used in the end in order to get the final rankings of the freight forwarders. Results of the implementation of the mentioned equations are presented in Table 6.

Table 6. Final aggregation and CoCoSo ranking of the alternatives

	K_{ia}	K_{ib}	K_{ic}	K_i	Final ranks
FF1	0.263	4.121	1	2.822	1
FF2	0.230	3.231	0.873	2.310	2
FF3	0.206	2.874	0.784	2.062	3
FF4	0.164	2.437	0.624	1.705	4
FF5	0.136	2	0.517	1.405	5

Final ranking of the alternatives can be shown as FF1 > FF2 > FF3 > FF4 > FF5. Based on the results presented in Table 6 it can be concluded that FF1 represents the best alternative according to the CoCoSo method.

5. CONCLUSION

Based on all the above, we can conclude the complexity of the organization of international commodity flows. For that reason, many logistics companies leave these activities mostly to freight forwarding companies. In this paper, 12 criteria (service quality, reliability, freight rates, flexibility, reputation, on-time delivery, forwarding time, expertise, state of delivery, experience, information availability and quality certification) were observed and used to assess 5 FF operating in the Serbian market. In order to determine the weights of the criteria, 12 experts gave their assessment which was then used in the SWARA method in order to obtain individual weights for each criterion. Based on the SWARA method, it was obtained that service quality and freight rates are the two most significant criteria, while reputation and information availability are the two least significant criteria. The weights obtained by this method were then used in the CoCoSo method to obtain the final ranking of the FF. The final ranking was obtained based on three aggregation strategies. Based on the results of this method, it was determined that the first FF should be chosen.

The results of this research can be a good basis for people from practice when deciding and choosing a freight forwarding company. Namely, this research showed that the service quality and freight rates stood out as the most important criteria, and companies should strive to provide the highest quality service with the lowest possible costs. In addition, the selection procedure itself can be used not only for the selection of a freight forwarding company but also for the selection of suppliers, 3PL providers, etc. One of the directions of

future research is the application of the described methodology to other decision-making problems. In addition, the application of other methods for determining the weights of the criteria in combination with the CoCoSo method also stands out as one of the directions.

ACKNOWLEDGMENT

This paper was supported by the Ministry of Education, Science and Technological development of the Republic of Serbia, through the project TR 36006.

LITERATURE

[1] Huang, S.T., Bulut, E., & Duru, O. (2019). Service quality evaluation of international freight forwarders: An empirical research in East Asia. Journal of Shipping and Trade, 4 (14), 1-16.

[2] Kilibarda, M., Andrejić, M., & Popović, V. (2020). Research in logistics service quality: a systematic literature review. Transport, 35 (2), 224-235.

[3] Ozsomer, A., Mitri, M., & Cavusgil, S.T. (1993). Selecting International Freight Forwarders: An Expert Systems Application. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 23 (3), 11-21.

[4] Pajić, V., Andrejić M., & Kilibarda, M. (2021). Evaluation and selection of KPI in procurement and distribution logistics using SWARA-QFD approach. International Journal For Traffic And Transport Engineering (IJTTE), 11 (2), 267-279.

[5] Perlman, Y., Raz, T., & Moshka, L. (2009). Key Factors in Selecting an International Freight Forwarding Company. The Open Transportation Journal, 3, 29-34.

[6] Radović, D., & Stević, Ž. (2018). Evaluation and selection of KPI in transport using SWARA method. Transport & Logistics: the International Journal, 18 (44), 60-68.

[7] Ulutas, A., Karakus, C.B., & Topal, A. (2020). Location selection for logistics center with fuzzy SWARA and CoCoSo methods. Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 38 (1), 1-17.

[8] Vasić N., Kilibarda, M., Andrejić M., & Jović, S. (2020). Satisfaction is a function of users of logistics services in e-commerce. Technology Analysis & Strategic Management, article in press.

[9] Wen, Z., Liao, H., Ren, R., Bai, C., Kazimieras Zavadskas, E., Antucheviciene, J., & Al-Barakati, A. (2019). Cold Chain Logistics Management of Medicine with an Integrated Multi-Criteria Decision-Making Method. International Journal of Environmental Research and Public Health, 16 (23), 4843-4864.

[10] Yazdani, M., Hashemkhani Zolfani, S., & Zavadskas, E.K. (2016). New integration of MCDM methods and QFD in the selection of green suppliers. Journal of Business Economics and Management, 17 (6), 1097-1113.

[11] Yazdani, M., Zarate, P., Kazimieras Zavadskas, E., & Turskis, Z. (2018). A combined compromise solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems. Management Decision, 57 (9), 2501-2519.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

IZBOR SNABDEVAČA PRIMENOM METODA AHP I FAHP

SUPPLIER SELECTION USING AHP AND FAHP METHODS

GORDANA RADIVOJEVIĆ, MILICA MITROVIĆ, DRAŽEN POPOVIĆ

Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, {g.radivojevic, milica.mitrovic, d.popovic}@sf.bg.ac.rs

Rezime: *Izbor snabdevača predstavlja jedan od najvažnijih zadataka u upravljanju lancima snabdevanja. Odluka o izboru snabdevača utiče na ekonomske i organizacione performanse, stabilnost lanaca snabdevanja, zadovoljstvo kupaca i konkurentnost kompanije. Proces izbora snabdevača obuhvata identifikaciju potencijalnih snabdevača i izbor odgovarajućeg snabdevača u skladu sa zahtevima i poslovnim ciljevima kompanije. Cilj ovoga rada je razvoj modela za izbor snabdevača u kompaniji. Model se zasniva na primeni metoda AHP i FAHP i omogućava određivanje prioriteta u izboru snabdevača koji odgovaraju skupu definisanih kriterijuma.*

Ključne reči: *Lanci snabdevanja, Izbor snabdevača, AHP, FAHP.*

Abstract: *Supplier selection is one of the most important tasks in supply chain management. The decision regarding the supplier selection affects the economic and organizational performance, the stability of supply chains, customer satisfaction and the competitiveness of a company. The supplier selection process involves identifying potential suppliers and selecting an appropriate supplier in accordance with the requirements and business objectives of the company. The aim of this paper is to develop a model for the supplier selection in a company. The model is based on the application of AHP and FAHP methods which determines the priorities in the supplier selection within a set of defined criteria.*

Keywords: *Supply Chain, Supplier Selection, AHP, FAHP.*

1. UVOD

Izbor snabdevača se izdvaja kao jedna od veoma važnih strateških odluka za uspešan i efikasan lanac snabdevanja. Dinamična globalna konkurencija između kompanija je doprinela da njihova saradnja sa snabdevačima postane izuzetno važna na poslovnom tržištu. Proces izbora snabdevača obuhvata identifikaciju potencijalnih i izbor odgovarajućeg snabdevača u skladu sa zahtevima i poslovnim ciljevima kompanije. Osnovni zadaci ovog procesa su identifikacija kriterijuma i izbor metode za ocenu snabdevača.

Cilj ovog rada je razvoj modela za izbor snabdevača koji se zasnova na primeni metoda AHP i FAHP. U modelu je definisan skup kriterijuma po kojima se radi ocena svakog potencijalnog snabdevača. Rad je, pored uvoda i zaključka, organizovan u tri poglavlja. U drugoj poglavlju su opisani identifikovani kriterijumi za izbor snabdevača. U trećem poglavlju je opisan model za izbor snabdevača. Četvrto poglavlje predstavlja numerički primer primene razvijenog modela.

2. KRITERIJUMI ZA IZBOR SNABDEVAČA

U današnjim uslovima poslovanja kompanije su prinuđene da neprekidno upravljaju lancima snabdevanja kako bi obezbedile što bolju uslugu (bolji proizvod) korisnicima ostvarujući što veći profit uz što manje troškove. Međutim, poslovanje kompanija se ne može posmatrati samo sa ekonomskog aspekta. Za kompanije je od značaja stabilno poslovanje, mogućnost prilagođavanja zahtevima tržišta, minimizacija rizika u lancima snabdevanja, zadovoljstvo i lojalnost kupaca.

Jedan od najvažnijih zadataka u kompanijama i upravljaju lancima snabdevanja je izbor odgovarajućeg snabdevača [9]. Adekvatno doneta odluka o izboru utiče na troškove i efikasnost poslovanja, stabilnost i održivost lanaca snabdevanja, zadovoljstvo kupaca i konkurentnost kompanije. Cilj svake kompanije je da izabere najboljeg snabdevača jer pogrešan izbor utiče na povećanje troškova, loše poslovanje, nezadovoljstvo korisnika i lošu reputaciju na tržištu. Donošenje odluke o izboru snabdevača predstavlja problem višekriterijumskog rangiranja koji obuhvata različite kvantitativne i kvalitativne kriterijume. Kriterijumi izbora mogu biti različiti i zavise od vrste robe (usluge), oblasti rada kompanije, partnerskih

odnosa i saradnje sa snabdevačima, konkretnih uslova nabavke itd. U literaturi postoje brojni radovi u kojima su se istraživači bavili izborom najboljeg snabdevača. Ovaj problem je rešavan sa različitih aspekata, definisani su različiti kvantitativni i kvalitativni kriterijumi i primenjene različite metode.

Hosseini i Al Khaled [4] su razvili model za izbor snabdevača sa aspekta fleksibilnosti u lancu snabdevanja. Kriterijumi izbora su apsorptivni, adaptivni i restorativni kapacitet. Apsorptivni kapacitet se odnosi na sposobnost snabdevača da izdrži ometajuće faktore u lancu snabdevanja, dok adaptivni i restorativni podrazumevaju sposobnost snabdevača da opstane na tržištu nakon poremećaja i njegov oporavak. Autori su koristili više metoda kako bi dobili ocenu fleksibilnosti međunarodnih snabdevača plastičnih sirovina za američke proizvođače.

Dweiri i ostali [3] su predložili model za izbor snabdevača u automobilskoj industriji, koji se zasniva na AHP metodi. Autori su identifikovali četiri glavna kriterijuma (cena, kvalitet, isporuka i usluga) i njihove podkriterijume. De Felice i ostali [2] su primenili AHP metodu za ocenu snabdevača u Švedskoj i Iranu prema definisanim kriterijumima i podkriterijumima. Hruška i ostali [5] su razvili model za izbor snabdevača zasnovan na AHP metodi, koji omogućava brži proces donošenja odluka i ocenjivanje alternativnih snabdevača.

Awasthi i ostali [1] su primenom kombinacije metoda FAHP i fazi VIKOR razvili model za ocenu održivosti pri izboru snabdevača koji preuzima rizik. Kriterijumi održivosti su kvalitet, životna sredina, finansije, socijalni i globalni rizik. Rezultati modela su pokazali da kriterijum finansije ima najveću težinu, a globalni rizik najmanju, što ukazuje na to da globalni rizici se još uvek ne smatraju glavnim kriterijumom za izbor snabdevača.

Secundo i ostali [9] su razvili opšti model za izbor provajdera softverskih usluga koji je zasnovan na kombinaciji metoda AHP i FAHP. Luzon i El-Sayegh [6] su primenili kombinaciju metoda AHP i Delphi za ocenu važnosti kriterijuma za izbor snabdevača nafte i gasa u Ujedinjenim Arapskim Emiratima. Definisali su dve grupe kriterijuma. Prvu grupu čine kvalitet, cena, isporuka, usluge, garancija i potraživanja, a drugu grupu čine tehnička sposobnost, proizvodni kapacitet, finansijska stabilnost, performanse i geografska lokacija. Rezultati pokazuju da su najvažniji kriterijumi kvalitet i cena i da su kriterijumi iz prve grupe važniji od kriterijuma iz druge.

Taherdoost i Brard [10] su predstavili proces izbora snabdevača i analizirali različita istraživanja i radove u ovoj oblasti. Autori su identifikovali kriterijume koji se često koriste za izbor snabdevača: kvalitet, isporuka, performanse, garancije, politike potraživanja, proizvodni kapacitet, cena, tehnologije, uzajamno poverenje, laka komunikacija, reputacija, profil snabdevača, usluga servisa, faktor rizika, upravljanje organizacijom, komercijalni planovi, saradnja između zaposlenih, geografska lokacija, pouzdanost itd. Različite metode koje se najčešće koriste za izbor snabdevača pripadaju kategorijama statističkih metoda, višeatributivnog odlučivanja, matematičkog programiranja, veštačke inteligencije i kombinacije više metoda.

U ovom radu, na osnovu pregleda literature, za ocenu izbora snabdevača izabrani su sledeći kriterijumi:

- Kvalitet isporuke,
- Ukupna cena,
- Lokacija,
- Reputacija,
- Profesionalizam.

Kvalitet isporuke se ocenjuje kroz vremensku tačnost isporuke, kvalitet robe, primenu informacionih i komunikacionih tehnologija, jednostavnu i brzu komunikaciju. Ukupna cena predstavlja sumu cene robe i troškove distribucije, i obuhvata uslove plaćanja, popuste, poreze, troškove nastale zbog eventualnih propuštenih prilika u proizvodnji i isporuci robe. Lokacija se odnosi na udaljenost snabdevača i ogleda se kroz troškove distribucije i vreme isporuke robe. Reputacija se odnosi na kredibilitet i brend snabdevača u pogledu obima prodaje u poređenju sa konkurentima. Profesionalizam predstavlja sposobnosti i veštine snabdevača koje se ispoljavaju u odnosu sa kupcima [10].

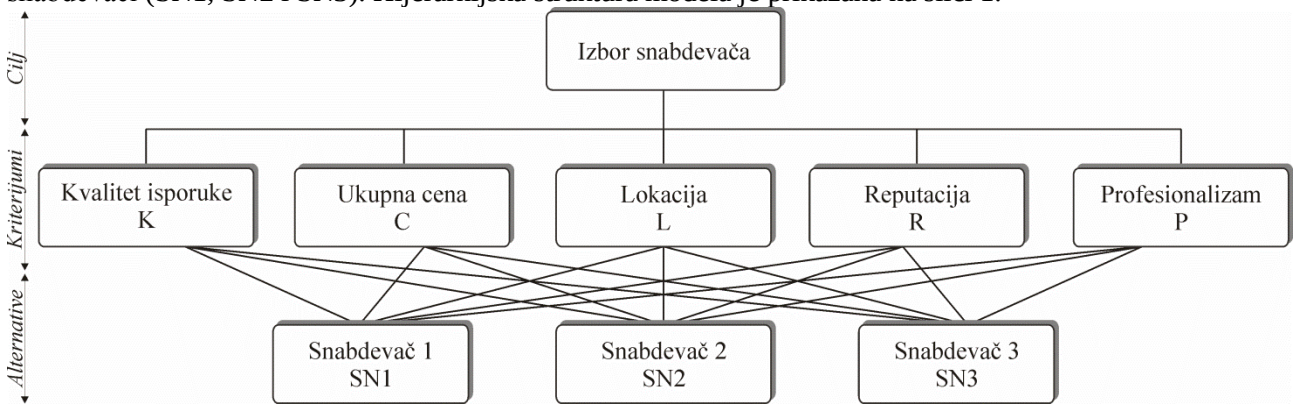
3. MODEL ZA IZBOR SNABDEVAČA

U ovom radu je razvijen model za izbor snabdevača koji se zasniva na primeni metoda AHP i FAHP. Primena ovih metoda omogućava da se u model ugradi ekspertsko znanje i iskustvo koji se koriste za rešavanje ovakvih problema u konkretnim uslovima u kompaniji.

Model obuhvata tri dela:

1. Razvoj hijerarhijske strukture problema,
2. Primena AHP metode i
3. Primena FAHP metode.

Razvoj hijerarhijske strukture problema obuhvata analizu problema i razlaganje na skup elemenata koji su organizovani po nivoima. Osnovni elementi su cilj, kriterijumi, podkriterijumi i alternative. U ovom delu se definiše cilj modela, nivoi problema, kriterijumi i mogući ishodi odlučivanja. Model obuhvata tri nivoa: cilj, kriterijumi i alternative. Cilj modela je izbor snabdevača. Kriterijumi za izbor snabdevača su: kvalitet isporuke (K), ukupna cena (C), lokacija (L), reputacija (R) i profesionalizam (P). Alternative su potencijalni snabdevači (SN1, SN2 i SN3). Hijerarhijska struktura modela je prikazana na slici 1.



Slika 1: Hijerarhijska struktura kriterijuma i alternativa

Analitički hijerarhijski proces – AHP je metoda višekriterijumskog rangiranja koja se primenjuje za rešavanje složenih problema na osnovu ekspertskih ocena, znanja i iskustva donosilaca odluka. AHP se zasniva na hijerarhijskoj strukturi problema. Na svakom nivou se radi poređenje i vrednovanje parova elemenata u odnosu na viši nivo. AHP omogućava parcijalno rešavanje na svakom nivou hijerarhije i objedinjavanje parcijalnih rešenja u funkciji dobijanja konačnog rešenja problema. Detaljan opis i matematička formulacija AHP metode su dati u Saaty-evim radovima [7, 8].

Postupak primene se može opisati kroz sledeće korake:

- Formiranje matrice $A = (a_{ij})$ poređenjem parova elemenata i i j na svakom nivou hijerarhije u odnosu na elemente višeg nivoa primenom Saaty-eve skale od 1 do 9. Vrednosti a_{ij} predstavljaju relativni značaj elementa i prema elementu j u odnosu na elemente višeg nivoa. U modelu se radi poređenje kriterijuma (n) u odnosu na cilj i poređenje alternativa (m) u odnosu na svaki kriterijum.
- Određivanje lokalnih prioriteta svakog elementa u odnosu na viši nivo hijerarhije. Kvalitet lokalnih prioriteta se proverava preko indeksa konzistentnosti CI koji mora biti manji od 0.1. U modelu se određuje prioritet c_j svakog kriterijuma j u odnosu na cilj i prioritet w_{ij} svake alternative i u odnosu na svaki kriterijum j.
- Sinteza lokalnih prioriteta kako bi se dobio globalni prioritet svake alternative u odnosu na cilj. Prioritet alternative i se određuje preko relacije $W_i = \sum_{j=1}^{n} c_j \cdot w_{ij}$.

Fazi analitički hijerarhijski proces – FAHP se zasniva na primeni AHP metode i fazi skupova [11]. Fazi skupovi omogućavaju kvalitetno modeliranje ekspertskih ocena koje su često nejasne i neprecizne. U ovoj metodi se ekspertske ocene poređenja elemenata hijerarhijskog modela opisuju fazi brojevima koji odgovaraju Saaty-evoj skali od 1 do 9. Ulazni podaci su matrica poređenja $\tilde{B} = (\tilde{b}_{ij})$, gde je $\tilde{b}_{ij}$ trouglasti fazi broj (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}). Koraci u primeni FAHP metode isti kao i kod AHP metode, s tim što se svi proračuni rade prema pravilima fazi aritmetike. Izlazni rezultat je vektor $W = (w_1, \dots, w_m)$ koji sadrži globalne prioritete svih alternativa.

4. NUMERIČKI PRIMER

Predloženi model za izbor snabdevača je testiran na konkretnom primeru koji obuhvata $n = 5$ kriterijuma i $m = 3$ alternative. Kriterijumi su: K, C, L, R i P. Alternative su potencijalni snabdevači koje treba izabrati za kompaniju: SN1, SN2 i SN3. Za predloženi model je razvijena softverska aplikacija u MS Excel VBA okruženju. Ulazni podaci – poređenje parova elemenata, su dobijeni anketiranjem eksperata koji su u kompaniji zaduženi za proces nabavke.

U tabeli 1 je prikazana matrica poređenja kriterijuma i izračunati vektor prioriteta W za svaki kriterijum. Vektor prioriteta je sopstveni vektor matrice i pokazuje relativni značaj svakog kriterijuma i. U tabeli su prikazane vrednosti λ, CI i CR. Vrednost CR je manja od 10% što znači da se može prihvatiti vektor prioriteta W. U tabeli 2 su prikazane matrice poređenja snabdevača u odnosu na kriterijume i vrednosti

lokalnih prioriteta w za svaki kriterijum. Na osnovu dobijenih vrednosti lokalnih prioriteta izračunavaju se globalni prioriteti za svakog snabdevača. U tabeli 3 su prikazani lokalni i globalni prioriteti za svakog snabdevača. Snabdevač SN1 ima najveći prioritet od 44.68%. Najveći uticaj na izbor snabdevača ima kriterijum kvalitet (K) sa 39.16% a najmanji uticaj ima lokacija (L) sa 6.03%.

Tabela 1: Matrica poređenja i težinski faktori kriterijuma – AHP

	K	**C**	**L**	**R**	**P**	**W**
K	1	3	5	3	2	0.3916
C	1/3	1	3	2	3	0.2397
L	1/5	1/3	1	1/3	1/3	0.0603
R	1/3	1/2	3	1	1/3	0.1109
P	1/2	1/3	3	3	1	0.1894
	$\lambda_{max} = 5.3854$		$CI = 0.0964$		$CR = 0.0868$	

Tabela 2: Matrica poređenja i težinski faktori snabdevača – AHP

		SN1	**SN2**	**SN3**	**W**
K	SN1	1	2	2	0.4905
	SN2	1/2	1	2	0.3119
	SN3	1/2	1/2	1	0.1976
	$\lambda_{max} = 3.0537$ $CI = 0.0269$ $CR = 0.0240$				
C	SN1	1	2	3	0.5390
	SN2	1/2	1	2	0.2973
	SN3	1/3	1/2	1	0.1638
	$\lambda_{max} = 3.0092$ $CI = 0.0046$ $CR = 0.0041$				
L	SN1	1	1	1	0.3278
	SN2	1	1	2	0.4111
	SN3	1	1/2	1	0.2611
	$\lambda_{max} = 3.0537$ $CI = 0.0268$ $CR = 0.0240$				
R	SN1	1	1	1/2	0.2409
	SN2	1	1	1/3	0.2106
	SN3	2	3	1	0.5485
	$\lambda_{max} = 3.0183$ $CI = 0.0092$ $CR = 0.0082$				
P	SN1	1	2	1	0.4071
	SN2	1/2	1	2	0.3286
	SN3	1	1/2	1	0.2643
	$\lambda_{max} = 3.2179$ $CI = 0.1089$ $CR = 0.0973$				

Tabla 3: Lokalni i globalni prioriteti kriterijuma i alternativa – AHP

	K	**C**	**L**	**R**	**P**	
	0.3916	0.2397	0.0603	0.1190	0.1894	← W ↓
SN1	0.4905	0.5390	0.3278	0.2409	0.4071	0.4468
SN2	0.3119	0.2973	0.4111	0.2106	0.3286	0.3055
SN3	0.1976	0.1638	0.2611	0.5485	0.2643	0.2477

Ulazni podaci za FAHP metodu su ekspertske ocene izražene fazi brojevima. U tabeli 4 je prikazana matrica poređenja i izračunate vrednosti vektora prioriteta za svaki kriterijum. Najveći značaj ima kriterijum kvalitet (K) od 28.31% a najmanji značaj je za kriterijum lokacija (L) od 7.91%.

Tabla 4: Matrica fazi poređenja i težinski faktori kriterijuma – FAHP

	K	**C**	**L**	**R**	**P**	**W**
K	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)	(1, 2, 4)	0.2831
C	(1/5, 1/3, 1)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(1, 2, 4)	(1, 3, 5)	0.2429
L	(1/7, 1/5, 1/3)	(1/5, 1/3, 1)	(1, 1, 1)	(1/5, 1/3, 1)	(1/5, 1/3, 1)	0.0791
R	(1/5, 1/3, 1)	(1/4, 1/2, 1)	(1, 3, 5)	(1, 1, 1)	(1/5, 1/3, 1)	0.1736
P	(1/4, 1/2, 1)	(1/5, 1/3, 1)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	(1, 1, 1)	0.2213

Ekspertska procena međusobnog odnosa snabdevača u odnosu na svaki kriterijum se izražava fazi brojevima. U tabeli 5 su prikazane matrice poređenja snabdevača i vektori lokalnih prioriteta u odnosu na sve kriterijume. Lokalni i globalni prioriteti snabdevača su prikazani u tabeli 6. Prema ovim podacima najveći prioritet ima snabdevač SN1 sa 40.07%.

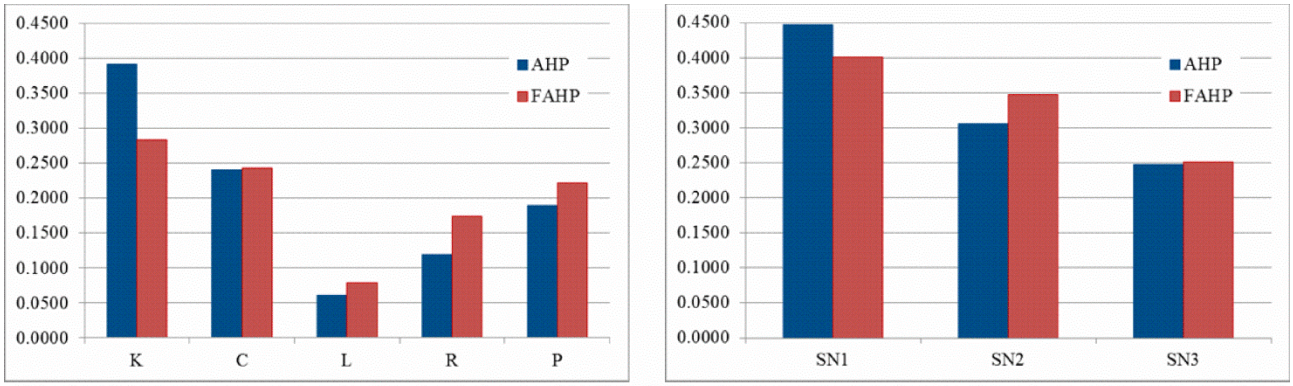
Tabla 5: Matrica fazi poređenja i težinski faktori snabdevača – FAHP

		SN1	**SN2**	**SN3**	**W**
K	SN1	(1, 1, 1)	(1, 2, 4)	(1, 2, 4)	0.4296
	SN2	(1/4, 1/2, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 4)	0.3586
	SN3	(1/4, 1/2, 1)	(1/4, 1/2, 1)	(1, 1, 1)	0.2118
C	SN1	(1, 1, 1)	(1, 2, 4)	(1, 3, 5)	0.4524
	SN2	(1/4, 1/2, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 4)	0.3482
	SN3	(1/5, 1/3, 1)	(1/4, 1/2, 1)	(1, 1, 1)	0.1994
L	SN1	(1, 1, 1)	(1, 1, 3)	(1, 1, 3)	0.3646
	SN2	(1, 1, 3)	(1, 1, 1)	(1, 2, 4)	0.3646
	SN3	(1, 1, 3)	(1/4, 1/2, 1)	(1, 1, 1)	0.2708
R	SN1	(1, 1, 1)	(1, 1, 3)	(1/4, 1/2, 1)	0.3363
	SN2	(1, 1, 3)	(1, 1, 1)	(1/5, 1/3, 1)	0.3273
	SN3	(1, 2, 4)	(1, 3, 5)	(1, 1, 1)	0.3363
P	SN1	(1, 1, 1)	(1, 2, 4)	(1, 1, 3)	0.3704
	SN2	(1/4, 1/2, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 4)	0.3436
	SN3	(1, 1, 3)	(1/4, 1/2, 1)	(1, 1, 1)	0.2860

Tabla 6: Lokalni i globalni prioriteti kriterijuma i alternativa – FAHP

	K	**C**	**L**	**R**	**P**	
	0.2831	0.2429	0.0791	0.1736	0.2213	← **W** ↓
SN1	0.4296	0.4524	0.3646	0.3363	0.3704	0.4007
SN2	0.3586	0.3482	0.3646	0.3273	0.3436	0.3478
SN3	0.2118	0.1994	0.2708	0.3363	0.2860	0.2515

Poređenje rezultata dobijenih AHP i FAHP metodama obuhvata poređenje po (a) kriterijumima i (b) alternativama (slika 2).



(a) Poređenje kriterijuma (b) Poređenje snabdevača

Slika 2: Poređenje rezultata AHP i FAHP metoda

Prioriteti dobijeni ovim metodama imaju veliku sličnost. Odstupanja su prihvatljiva i posledica su činjenice da fazi ocene u većoj meri uvažavaju subjektivnost eksperata pri poređenju kriterijuma i alternativa. Analiza rezultata ukazuje na sledeće zaključke:

- Rangiranje kriterijuma po značaju je K, C, P, R i L.
- Kriterijum koji ima najveći značaj je K – kvalitet (39.16%, 28.31%) a najmanji značaj ima L – lokacija snabdevača (6.03%, 7.91%).
- Rangiranje snabdevača po značaju je SN1, SN2 i SN3.
- Snabdevač SN1 je najbolji (44.68%, 40.07%) tj. u najvećoj meri ispunjava izabrane kriterijume.

5. ZAKLJUČAK

Uspešan izbor snabdevača omogućava kompanijama konkurentsku prednost na tržištu pružajući visok kvalitet isporuke, niske troškove i veće zadovoljstvo kupaca. U ovom radu je razvijen model za izbor snabdevača primenom metoda AHP i FAHP. Model se zasniva na hijerarhijskoj strukturi sa tri nivoa (cilj, kriterijumi i alternative). Dobijeni rezultati u numeričkom primeru pokazuju da je najvažniji kriterijum kvalitet isporuke, zatim ukupna cena, profesionalizam, reputacija i na kraju lokacija snabdevača. Prema ovim kriterijumima, snabdevač SN1 je najbolja alternativa.

Model se zasniva na ekspertskim ocenama i iskustvu stručnjaka koji se ovim problemom bave u kompanijama. Najveća prednost modela je mogućnost primene u konkretnim uslovima. Nedostatak ovog modela je relativno mali broj kriterijuma. Za veći broj kriterijuma i alternativa je teško obezbediti konzistentnost ulaznih podataka. Drugim rečima, eksperti ocenjuju međusobni značaj svaka dva elementa i za veće dimenzije problema dolazi do odstupanja u ekspertskim ocenama. Buduća istraživanja se mogu odnositi na proširenje modela većim brojem kriterijuma i podkriterijuma i povezivanje sa drugim metodama i pristupima veštačke inteligencije.

NAPOMENA

Ovaj rad je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru projekata TR 36005 i TR 36006 za period 2011-2021.

LITERATURA

[1] Awasthi, A., Govindan, K., & Gold, S. (2018). Multi-tier sustainable global supplier selection using a fuzzy AHP-VIKOR based approach. International Journal of Production Economics, 195, 106-117.

[2] De Felice, F., Deldoost, M.H., Faizollahi, M., & Petrillo, A. (2015). Performance Measurement Model for the Supplier Selection Based on AHP. International Journal of Engineering Business Management, 7, 1-13.

[3] Dweiri, F., Kumar, S., Khan, S.A., Jain, V. (2016). Designing an integrated AHP based decision support system for supplier selection in automotive industry. Expert Systems With Applications, 62, 273-283.

[4] Hosseini, S., & Al Khaled, A. (2016). A hybrid ensemble and AHP approach for resilient supplier selection. Journal of Intelligent Manufacturing, 1-22.

[5] Hruška, R., Pruša, P., & Babić, D. (2014). The use of AHP method for selection of supplier. Taylor & Francis Group, 29 (2), 195-203.

[6] Luzon, B., & El-Sayegh, S.M. (2016). Evaluating supplier selection criteria for oil and gas projects in the UAE using AHP and Delphi. International Journal of Construction Management, 16 (2), 175-183.

[7] Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of Mathematical Psychology, 15 (3), 234-281.

[8] Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill.

[9] Secundo, G., Magarielli, D., Esposito, E., & Passiante, G. (2016). Supporting decision-making in service supplier selection using a hybrid fuzzy extended AHP approach A case study. Business Process Management Journal, 23 (1), 196-222.

[10] Taherdoost H., & Brard A. (2019). Analyzing the Process of Supplier Selection Criteria and Methods, Procedia Manufacturing 32, 1024–1034.

[11] van Laarhoven, P.J.M., & Pedrycz, W. (1983). A fuzzy extension of Saaty's priority theory. Fuzzy Sets and Systems, 11 (1-3), 229-241.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

LOCIRANJE OBJEKATA ZA TRETMAN INFEKTIVNOG MEDICINSKOG OTPADA

FACILITY LOCATION FOR INFECTIOUS HEALTHCARE WASTE TREATMENT

BRANISLAVA RATKOVIĆ[1], BRANKA DIMITRIJEVIĆ[1], LAZAR MARKOVIĆ[1]

[1] Saobraćajni fakultet, Beograd, b.ratkovic@sf.bg.ac.rs, b.dimitrijevic@sf.bg.ac.rs, l.markovic.sf@gmail.com

---

Rezime: *Medicinski otpad predstavlja heterogenu mešavinu opasnog i neopasnog otpada generisanog u zdravstvenim ustanovama i ordinacijama. Najveći udeo u opasnom medicinskom otpadu čini infektivni medicinski otpad, koji ukoliko nije adekvatno tretiran, predstavlja rizik i po ljudsko zdravlje i po životnu sredinu. U ovom radu je predložen pristup za projektovanje logističke mreže za infektivni medicinski otpad. Cilj predloženog modela je određivanje lokacija lokalnog i centralnog mesta tretmana infektivnog medicinskog otpada na primeru grada Beograda.*

Ključne reči: *medicinski otpad, lokacija objekata, mešovito celobrojno linearno programiranje.*

Abstract: *Medical waste represents a heterogeneous mixture of hazardous and non-hazardous waste generated in healthcare facilities. The largest share in hazardous medical waste is infectious medical waste, which, if not adequately treated, poses a risk to both human health and the environment. In this paper, an approach for designing a logistics network for infectious medical waste is proposed. The aim of the proposed model is to determine the locations of local and central places of treatment of infectious medical waste.The proposed model was tested on the example of the city of Belgrade.*

Keywords: *healthcare waste, facility location, mixed integer linear programing.*

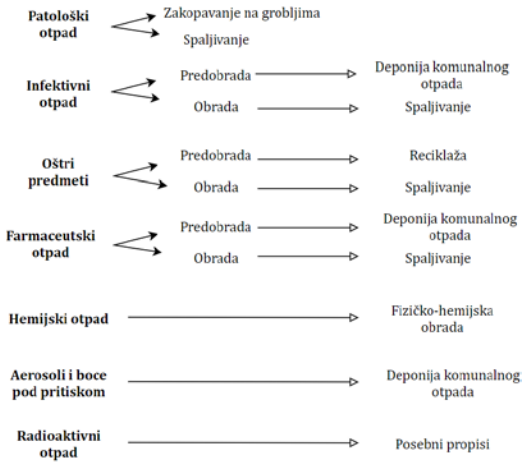
1. UVOD

Medicinski otpad je sav otpad nastao u zdravstvenim ustanovama i ordinacijama pri pružanju zdravstvenih usluga, bez obzira na njegov sastav, osobine i poreklo [1]. Neopasan medicinski otpad čini oko 85% medicinskog otpada koji nastaje prilikom obavljanja aktivnosti poput održavanja zdravstvenih ustanova, administrativnih aktivnosti, otpad nastao od pakovanja itd. [8]. Kategorija opasnog medicinskog otpada, preostalih 15% generisanih količina medicinskog otpada, se deli na: infektivni, patoanatomski, farmaceutski i laboratorijski otpad, oštre predmete, radioaktivni, hemijski otpad i genotoksični otpad [1]. Najveći procenat u opasnom medicinskom otpadu čini infektivni medicinski otpad (IMO) oko 80% , dok je udeo drugih vrsta otpada značajno manji [1]. Iako količine generisanog medicinskog otpada nisu velike u poređenju sa količinama komunalnog otpada, opasna frakcija medicinskog otpada kao i svaki drugi opasan otpad zahteva posebne postupke tretmana. Naime, neadekvatno upravljanje opasnim medicinskim otpadom predstavlja rizik po sve učesnike u sistemu zbrinjavanja medicinskog otpada, tako da je neophodno uspostaviti sistem za pravilno upravljanje i tretiranje opasnog medicinskog otpada.

Tretman opasnog medicinskog otpada zavisi od njegovih karakteristika i generisanih količina (slika 1).. Izbor tretmana za medicinski otpad zavisi od nekoliko faktora: raspoloživih resursa, relevantnog nacionalnog zakonodavstva, količina i karakteristika generisanog otpada itd. [8]. Neke kategorije opasnog medicinskog otpada mogu se adekvatno odložiti i na deponiji, ali mogućnosti odlaganja opasnog medicinskog otpada na deponiji su često ograničene [7]. U tom smislu je neophodno projektovati adekvatnu logističku mrežu za upravljanje opasnim medicinskim otpadom.

U radu [3] autori su predložili model mešovitog celobrojnog programiranja za donošenje lokacijsko-alokacijskih odluka po pitanju transporta, sakupljanja i odlaganja medicnskog otpada sa ciljem minimizacije troškova. Predloženi model je testiran na primeru Turske. U radu [5] autori su predložili nelinearni lokacijski – ruting matematički sa ciljem minimizacije ukupnih troškova sistema za upravljanje medicinskim otpadom. Predloženi model je testiran na primeru Grčke. U radu [9] autori su predložili višekriterijumski model mešovitog celobrojnog programiranja za projektovanje povratno logističke mreže u slučaju izbijanja epidemije. Cilj modela je određivanje lokacija privremenih objekata za skladištenje medicinskog otpada i

definisanje transportnih strategija za efektivno upravljanje medicinskim otpadom. Predloženi model je primenjen i testiran kao studija slučaja baziran na pandemiji korona virusa (COVID-19) u Vuhanu, Kina.



Slika 1: Šema mogućeg upravljanja medicinskim otpadom [6]

Predmet ovog rada je infektivni medicinski otpad i njegovo zbrinjavanje, koji kako je već navedeno, čini najveći deo opasnog MO. Cilj ovog rada je projektovanje logističke mreže za tretman IMO na primeru grada Beograda, odnosno određivanje lokacija za lokalno mesto tretmana (LMT) i centralno mesto tretmana (CMT) za IMO.

U nastavku rad je organizovan na sledeći način. U tački 2 je dat opis i matematička formulacija problema, dok su u tački 3 predstavljeni numerički rezultati testiranja predloženog modela. Zaključna razmatranja su data u tački 4.

2. OPIS I MATEMATIČKA FORMULACIJA PROBLEMA

Predloženi pristup projektovanja mreže za upravljanje IMO se bazira na modifikovanom modelu objavljenom u radu [4]. Naime, posmatrani problem projektovanja mreže za IMO se sastoji u određivanju definisanog broja lokacija za LMT i CMT za generisane količine IMO. Predloženi model obuhvata dve strategije sakupljanja IMO. Prva strategija omogućava direktan transport IMO sa lokacije generatora do CMT, dok druga strategija sakupljanja podrazumeva realizaciju transporta IMO od lokacije generatora do CMT preko LMT. Ukupna količina generisanog IMO se transportuje vozilima koji poseduju kapacitet kojima se zahtev zadovoljava. Parametar α, slično kao u hub lokacijskim modelima, predstavlja pokazatelj umanjenja transportnih troškova od LMT do CMT u poređenju sa transportnim troškovima od generatora IMO do CMT ili LMT. Razlog uvođenja ovog parametra se objašnjava činjenicom da se transport od generatora do CMT ili LMT realizuje vozilima manjeg kapaciteta, dok se transport od LMT do CMT realizuje vozilima većeg kapaciteta. U nastavku su dati parametri modela, kao i matematička formulacija modela.

Parametri i promenljive odlučivanja

X_{ij} – tok IMO koji se transportuje od lokacije generatora *i* do lokacije CMT *j*
X_{ikj} – tok IMO koji se transportuje od lokacije generator *i* preko LMT *k* do CMT *j*
w_i – količina generisanog IMO na lokaciji *i*
d_{ij} – rastojanje između lokacije generatora IMO *i* i lokacije CMT *j*
d_{ik} – rastojanje između lokacije korisnika *i* i lokacije LMT *k*
d_{kj} –rastojanje između lokacije LMT *k* i lokacije CMT *j*
p – broj lokacija CMT koje je potrebno locirati
q – broj lokacija LMT koje je potrebno licirati
α – parametar redukcije transportnih troškova
F_j – fiksni troškovi otvaranja CMT
F_k – fiksni troškovi otvaranja LMT
c_{ij} – transportni troškovi otpreme IMO od lokacije generatora *i* do lokacije CMT *j*
c_{kj-} transportni troškovi otpreme IMO od lokacije LMT *k* do lokacije CMT *j*
c_{ik-} transportni troškovi otpreme IMO od lokacije generatora *i* do lokacije LMT *k*

$$Yj = \begin{cases} 1, \text{ako je lokacija } j \text{ izabrana za lokaciju CMT} \\ 0, \text{u suprotnom} \end{cases}$$

$$Zk = \begin{cases} 1, \text{ako je lokacija } k \text{ izabrana za lokaciju LMT} \\ 0, \text{u suprotnom} \end{cases}$$

Matematička formulacija modela

$$\min Z = \sum_I \sum_J W_i\, c_{ij} d_{ij} X_{ij} + \sum_I \sum_K \sum_J W_i \left(c_{ik} d_{ik} + \alpha c_{kj} d_{kj}\right) X_{ikj} + \sum_J F_j Y_j + \sum_K F_k Z_k \quad (1)$$

pri ograničenjima

$$\sum_J Y_j = p \quad (2)$$

$$\sum_k Z_k = q \quad (3)$$

$$\sum_J \left(X_{ij} + \sum_k X_{ikj}\right) = 1 \qquad \forall i \quad (4)$$

$$\sum_j X_{ikj} \le Z_k \qquad \forall i, k \quad (5)$$

$$X_{ij} + \sum_k X_{ikj} \le Y_j \qquad \forall i, j \quad (6)$$

$$X_{ij}, X_{ikj} \ge 0 \qquad \forall i, j, k \quad (7)$$

$$Y_j = 0 \text{ V } 1 \ \forall j, \qquad Z_k = 0 \text{ V } 1 \ \forall k \quad (8)$$

Funkcija cilja (1) teži da minimizira ukupne troškove uspostavljanja sistema upravljanja medicinskim otpadom. Prvi član funkcije cilja se odnosi na minimizaciju pređenog rastojanja kada se radi o direktnom transportu od lokacije generatora ***i*** do lokacije CMT *j*. Drugi član funkcije cilja predstavlja zbir transportnih troškova od lokacije generatora *i* do lokacije CMT *j* preko lokacije LMT *k*. U ovom članu funkcije cilja, javlja se i parametar α kojim se određuje značaj korišćenja većih vozila od LMT do CMT zbog smanjenja troškova. Treći i četvrti član funkcije cilja predstavljaju fiksne troškove otvaranja LMT i CMT. Ograničenja (2) i (3) obezbeđuju da se locira tačno *p* lokacija CMT i tačno *q* lokacija LMT. Ograničenje (4) obezbeđuje da se sav IMO transportuje od lokacije *i* do CMT *j* bilo direktno ili iz lokacije LMT *k*. Ograničenja (5) i (6) obezbeđuju da se IMO transportuje samo do lokacija koje su odabrane kao CMT, odnosno LMT. Ograničenja (7) i (8) definišu prirodu promenljivih odlučivanja.

3. NUMERIČKI PRIMER

Predloženi model je testiran za dve varijante ulaznih podataka koje se tiču generisanih količina IMO i za tri vrednosti parametra α. Za određivanje količina generisanog medicinskog otpada, kao prvi pristup korišćen je podatak o broju bolničkih postelja i njihovoj zauzetosti. Naime procenjena prosečna količina generisanog otpada je oko 1.8 kg po krevetu na dnevnom nivou [7]. Ovo je slučaj za medicinske objekte sa stacionarom gde spadaju bolnice, klinički centri, pojedini instituti, određeni rehabilitacioni centri itd. Ove ustanove su uglavnom locirane u centralnim delovima Beograda (opština Savski venac). Prosečna zauzetost bolničkih postelja u Srbiji, prema podacima Nacionalnog instituta za javno zdravlje, iznosi 73,5 %. Drugi pristup proceni količina MO je baziran na prosečnoj količini generisanog MO otpada po stanovniku na godišnjem nivou, a koja iznosi 4.2 kg [2]. Podaci o generisanim količinama MO za oba pristupa su predstavljeni u tabeli 1.

Tabela 1: Generisane količine IMO

r. br.	Opština	Količine IMO prema broju stanovnika (kg)	Količine IMO prema broju bolničkih postelja (kg)
1.	Barajevo	37.35	0.00
2.	Čukarica	250.19	0.00
3.	Grocka	115.48	0.00
4.	Lazarevac	80.91	4.76
5.	Mladenovac	73.31	49.53
6.	Novi Beograd	296.31	63.50
7.	Obrenovac	100.05	0.00

8.	Palilula	239.36	19.05
9.	Rakovica	149.85	0.00
10.	Savski venac	54.16	1164.98
11.	Sopot	28.08	0.00
12.	Stari Grad	60.29	0.00
13.	Surčin	67.10	0.00
14.	Voždovac	218.39	0.00
15	Vračar	77.90	3.18
16.	Zemun	231.63	166.70
17.	Zvezdara	209.25	63.50

Za vrednosti parametra su uzete vrednosti 0,3, 0,5 i 0,7. Kao potencijalne lokacije za lociranje LMT-a su izabrane opštine Barajevo, Palilula, Rakovica, Sopot i Surčin. Od potencijalnih pet lokacija potrebno je locirati 3 objekta za LMT Kao potencijalne lokacije za lociranje CMT-a izabrane su tri lokacije: Palilula, Rakovica i Sopot, a potrebno je locirati jedan objekat. Za potencijalne lokacije LMT i CMT izabrane su uglavnom prigradske opštine grada Beograda, usled većih prostornih mogućnosti za izgradnju ove vrste objekata i manje gustine stanovništva. Fiksni troškovi otvaranja LMT i CMT iznose 100€ i 300€ dnevno. Za transportne troškove cij, cik i ckj uzeta je vrednost 0,8 €. Model je razvijen u Python 3.6 programskom jeziku, a rešavan primenom opensource softvera LP Solve. Rešenja modela za definisane ulazne podatke su predstavljena tabelama 2 i 3.

Tabela 2: Rezultati testiranja modela

Količine IMO prema broju postelja			**Količine IMO prema broju stanovnika**		
α =0.3	α =0.5	α =0.7	α =0.3	α =0.5	α =0.7
Vrednost funkcije cilja	*Vrednost funkcije cilja*	*Vrednost funkcije cilja*	*Vrednost funkcije cilja*	*Vrednost funkcije cilja*	*Vrednost funkcije cilja*
8781.093	8781.093	8781.093	23516.02	24914.01	26133.06
CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula
LMT Rakovica	LMT Rakovica	LMT Rakovica	LMT Rakovica	LMT Barajevo	LMT Barajevo
LMT Sopot	LMT Sopot	LMT Sopot	LMT Sopot	LMT Rakovica	LMT Rakovica
LMT Surčin	LMT Surčin	LMT Surčin	LMT Surčin	LMT Sopot	LMT Sopot

Tabela 3: Alokacija tokova

Generator IMO	**Količine IMO prema broju bolničkih postelja**			**Količine IMO prema broju stanovnika**		
	α =0.3	α =0.5	α =0.7	α =0.3	α =0.5	α =0.7
Barajevo	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	LMT Rakovica-CMT Palilula	LMT Barajevo-CMT Palilula	LMT Barajevo-CMT Palilula
Čukarica	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	LMT Rakovica-CMT Palilula	LMT Barajevo-CMT Palilula	LMT Barajevo-CMT Palilula
Grocka	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula
Lazarevac	LMT Sopot-CMT Palilula	LMT Sopot-CMT Palilula	LMT Sopot-CMT Palilula	LMT Sopot-CMT Palilula	LMT Barajevo -CMT Palilula	LMT Barajevo-CMT Palilula
Mladenovac	LMT Sopot-CMT Palilula	LMT Sopot-CMT Palilula	LMT Sopot-CMT Palilula	LMT Sopot - CMT Palilula	LMT Sopot-CMT Palilula	LMT Sopot - CMT Palilula
Novi Beograd	LMT Surčin-CMT	LMT Surčin-CMT	LMT Surčin-CMT	LMT Surčin-CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula

	Palilula	Palilula	Palilula			
Obrenovac	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	LMT Surčin-CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula
Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula
Rakovica	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	LMT Rakovica-CMT Palilula	LMT Rakovica -CMT Palilula	LMT Rakovica-CMT Palilula
Savski venac	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula
Sopot	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	LMT Sopot-CMT Palilula	LMT Sopot-CMT Palilula	LMT Sopot-CMT Palilula
Stari Grad	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula
Surčin	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	LMT Surčin-CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula
Voždovac	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula
Vračar	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula
Zemun	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula
Zvezdara	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula	CMT Palilula

U prvoj varijanti testiranja modela, kada se količine IMO određuju na osnovu broja bolničkih postelja, za sve vrednosti parametra α, ne dolazi do promena u strukturi mreže. Ovaj rezultat se može objasniti činjenicom da se bolničke postelje ne nalaze u svim opštinama kao generatorima IMO, brojem i izborom potencijalnih lokacija za LMT i CMT, kao i definisanim parametrima p i q u matematičkom modelu. U slučaju testiranja modela za određivanje količina IMO na osnovu broja stanovnika, dolazi do promena u strukturi mreže, kao i otvorenim lokacijama za LMT. U obe varijante modela i za sve vrednosti parametra α, kao CMT izabrana je lokacija na Paliluli.

ZAHVALNOST

Ova rad je podržan projektom TR 36006 Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

4. ZAKLJUČAK

Upravljanje medicinskim otpadom je postalo veoma značajno, kako sa ekonomskog tako i sa aspekta zaštite životne sredine i svih učesnika u postupku zbrinjavanja medicinskog otpada. Opasna frakcija medicinskog otpada zahteva posebne postupke tretmana, sakupljanja i transporta. U radu je predložen mogući pristup projektovanju logističke mreže za IMO koji je testiran na primeru grada Beograda. Kako su količine medicinskog otpada jedan od ključnih ulaznih parametara modela, u radu su primenjena dva pristupa za njihovo određivanje. Rezultati testiranja su pokazali da se struktura mreže za IMO ne menja, kada se primeni pristup određivanja generisanih količina IMO na osnovu broja bolničkih postelja. Međutim, kada se količine IMO određuju na bazi broja stanovnika, dolazi do promena u alokaciji generatora IMO ka otvorenim lokacijama LMT i CMT. Budući pravci razvoja modela mogu uključiti ograničenja kapaciteta LMT i CMT, razvoj modela za određivanje generisanih količina IMO koje odlikuje i tretiranje neizvesnosti prisutne u dobijanju ovih podataka i slično.

LITERATURA

[1] Agencija za zaštitu životne sredine R. Srbije, http://www.sepa.gov.rs/index.php?menu=9&id=6002&akcija=showAll. Pristupano 10.06.2021. god.

[2] Bera, M., Mihajlov, A., Hodolič, J., & Agarski, B. (2008). Analiza stanja opasnog otpada iz medicinskih ustanova u Srbiji i u svetu, Festival kvaliteta života, 3. Konferencija o kvalitetu života, Kragujevac, 13.-15. maj 2008.

[3] Budak, A., & Ustundag, A. (2017). Reverse logistics optimisation for waste collection and disposal in health institutions: The case of Turkey. International Journal of Logistics Research and Applications, 20, 322–341.

[4] Eiselt, H. A. (2007). Locating landfills—Optimization vs. Reality. European Journal of Operational Research 179, 1040–1049.

[5] Mantzaras, G. &Voudrias, E.A. (2017). An optimization model for collection, haul, transfer, treatment and disposal of infectious medical waste: Application to a Greek region.Waste Management, 69, 518-534.

[6] Marinković, N., Vitale, K., Janev Holcer, N., & Džakula, A. (2006). Zbrinjavanje medicinskog otpada – zakonodavstvo i njegova provedba. Arhiv za higijenu rada i toksikologiju, Vol. 57, No. 3, 339-345.

[7] Ministarstvo zdravlja Republike Srbije (2008). Nacionalni vodič za bezbedno upravljanje medicinskim otpadom. http://www.kbs.co.rs/pdf/vodic_medicinski_otpad,.pdf. Pristupano 21.06.2021.god.

[8] World Health Organization. (2017). Safe management of wastes from health-care activities: a summary. World Health Organization. https://apps.who.int/iris/handle/10665/259491. Pristupano 10.06.2021. god.

[9] Yu, H., Sun, X., Solvang., W.D., & Zhao, X. (2020). Reverse Logistics Network Design for Effective Management of Medical Waste in Epidemic Outbreaks: Insights from the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Outbreak in Wuhan (China). International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(5):1770.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

DETERMINING DELIVERY DURATION IN URBAN AREAS USING FUZZY SYSTEM

SNEŽANA TADIĆ[1], MLADEN KRSTIĆ[2], MILOŠ VELJOVIĆ[3]

University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade,
[1] s.tadic@sf.bg.ac.rs, [2] m.krstic@sf.bg.ac.rs, [3] m.veljovic@sf.bg.ac.rs

Abstract: *Goods deliveries to trade, hospitality, service and other facilities in urban areas differ from deliveries to typical, dedicated logistics systems, such as logistics centers, distribution centers, freight terminals, company warehouses, etc. These differences also affect the delivery duration. Apart from factors that usually affect the delivery duration (size of delivery, number of items, number of workers/handling equipment, place of stopping delivery vehicle), the delivery duration in urban areas depends on specific, variable and inhomogeneous logistical demands and surrounding conditions (infrastructure characteristics, intensity of pedestrian and customer flows, weather conditions, etc.). Since the influence of these factors cannot be simply and precisely quantified, a suitable solution is the application of fuzzy systems, i.e. systems based on fuzzy sets. These systems allow imprecision in defining the values of input variables, which is their main advantage over similar systems based on the theory of classical sets. This paper defines the fuzzy system for determining duration of delivery in urban areas, thus achieving the basic goal and contribution of the paper to the research of the fuzzy system application in the field of city logistics.*

Keywords: *delivery duration, urban areas, city logistics, fuzzy systems*

1. INTRODUCTION

Urban areas are the places of concentration of different functions, which require the performance of logistical flows [13]. City logistics flows are very diverse, and they are performed in the dynamic-stochastic conditions of the environment [8]. Logistics flows are generated by typical logistics systems (TLS) (logistics, distribution centers, freight terminals, company warehouses etc.), industrial systems, households and other generators of city logistics (OGCL) (trade, hospitality, crafts, services etc.) [7].

Unlike TLS, logistics demands of OGCL are more variable and inhomogeneous, and much less deterministic. In addition, OGCL are not intended primarily for performing logistics activities and processes, therefore ussualy they are not sufficiently adapted to their performance. Deliveries and collection of goods, i.e. materials to/from these facilities is largely dependent, conditioned and limited by various external and internal factors and influences, which do not exist in TLS, have minor importance or can be controlled [7].

One of the key parameters of the delivery to OGCL is the delivery duration and implies the time from the arrival of the delivery vehicle to the delivery place until its departure. Delivery duration influences decision-making at the operational and tactical levels of goods distribution planning. Based on the delivery duration, suppliers perform operational distribution planning and vehicle routing, as well as dimensioning of the transport system (fleet, workforce, etc.). Delivery duration depends on a number of factors and attributes that describe the generators of logistics flows: delivery time, core business and size of the generator, frequency and size of deliveries, location, structure of goods, supply system, etc. [14]. It can be divided into: time before unloading, time of unloading, time of goods control and delivery confirmation and other time.

The time before unloading includes the time of looking for a place to stop, parking and possible waiting for unloading (e.g. due to the unpreparedness of the recipient to receive the goods, deliveries by the other suppliers etc.). This time is influenced by numerous factors: facility location, generators density in the delivery area, delivery time, supply system, delivery size and frequency etc. This part of the delivery duration will not be analyzed in more detail in this paper.

Unloading of goods is a central activity and significantly affects the total delivery duration. Unloading time in this paper implies the time required for: preparation (opening of the vehicle cargo space, preparation of handcarts, etc.), taking over the goods from the vehicle, transfer of goods to the place of disposal and final operation (disposal of handcarts, closing of cargo space etc.). Unloading time depends on numerous factors, dominant of which are: delivery size, form of goods, vehicle stopping place, i.e. distance from the facility, number of unloading workers (and handling equipment), unloading complexity and surrounding conditions.

During the delivery, the quantity, structure and quality of the goods is controled, the validity of the documentation is checked and the delivery is confirmed according to the purchase order. The time for performing these activities depends primarily on the delivery size and the structure of goods, i.e. the number of delivered items.

Other activities can be performed in the delivery, such as taking over the logistics units from the previous or current delivery, workers' rest, vehicle parking etc. These activities also affect the delivery duration, but will not be discussed in more detail in this paper.

The influence of some factors (unloading complexity, surrounding conditions) on the delivery duration cannot be easily and precisely quantified. On the other hand, precise quantification of the influence of some other factors, i.e. parameters (delivery size, distance of unloading place, number of items) is somewhat simpler, but it is not always justified, considering the time and costs it requires.

Therefore, the application of the fuzzy system appears as a suitable solution for determining the delivery duration on the basis of the defined factors, i.e. input variables. These are systems in which the states of variables (all or some) are represented by fuzzy sets, which allows inaccuracy in defining their values.

Fuzzy set theory has been applied in many papers in the field of city logistics. Different methods of multi-criteria decision-making in the fuzzy environment have been applied in the literature for the assessment of city logistics initiatives [1], selection of city logistics concept [11], selection of city logistics terminal location [4, 9, 10], ranking of the logistics system scenarios of the central business district [12] etc. In some papers, fuzzy clustering has been applied [5, 6], but the application of fuzzy systems in the field of city logistics is very limited. They have been applied in combination with neural networks for vehicle routing [2] and planning the location of the city logistics centers [3].

This paper proposes a model for determining the delivery duration in urban areas, based on fuzzy systems. The main goal and contribution of the paper is to create a model based on fuzzy systems, which determines the delivery duration, taking into account factors that usually appear in similar models for determining delivery duration, but also specific, variable and inhomogeneous logistical demands and surrounding conditions in urban areas.

The paper is organized as follows. After the introduction, the problem of deliveries in urban areas and the factors that affect their duration are described. After that, a model for determining the delivery duration in urban areas based on fuzzy systems was defined and an example of the procedure of its application was presented. Finally, concluding remarks and directions of future research are given.

2. DEFINING THE PROBLEM

The frequency of goods delivery to OGCL is usually high (from once a week to several times a day), while their volume is mostly small, for several reasons (architecture, construction and traffic characteristics, regulations, vehicle capacity limits, small storage space, variability and diversity of demand etc.) [7] The duration of delivery to OGCL is generally much shorter than in TLS, where vehicles with higher capacity carry larger quantities of goods. Also, due to the smaller size of goods delivery to OGCL, typical logistics units and handling equipment (pallets and forklifts) are used much less [7]. Even in cases when they are used, these units are rarely delivered to the user. They are used only for transporting goods to several facilities in one tour, after which they remain in the possession of the supplier. Miniload units, standardized crates for drinks, fruits, pharmaceuticals, etc., which are unloaded manually, are also being used. However, in most cases, the goods are delivered to the customer in boxes, bags and other handling units, without further consolidation. In these situations, unloading is usually done by one worker, manually (without any equipment) or using handcarts.

The delivery duration primarily depends on the unloading time and the time of goods control and delivery confirmation. The main factors influencing the unloading time are delivery size, the place of stopping the delivery vehicle, i.e. the distance of the unloading place from the facility, the number of workers/handling equipment performing the unloading, the complexity of unloading and surrounding conditions, while the time required to control goods and confirm delivery depends primarily on delivery size and item number. Each of these factors will be analyzed below.

Delivery size is one of the main attributes of delivery, which directly affects the duration of unloading, goods control and delivery confirmation. It can be expressed in terms of quantity, weight or volume of goods, and depends on a number of other generator attributes (activity, delivery frequency, size of the facility, supply system, etc.) [14].

Structure of goods/number of items ordered by the generator also depends on other generator attributes: activity, facility size, variety of goods and (or) services that facility offers, delivery frequency, etc. Thus,

large retail facilities, which offer a wide range of products and have frequent deliveries, most often generate deliveries with a large number of items.

Distance of the unloading place, i.e. the distance covered during the unloading process, is usually unchangeable for the TLS, having in mind that positions of stopping the vehicle and disposing of the unloaded goods are usually fixed. On the other side, although it is possible for the OGCL to provide a fixed stop position for a delivery vehicle (e.g. a parking space owned by the facility), in many cases it depends on a number of surrounding and facility factors, and may be on the road, sidewalks or parking spaces, which are at different distances from the facility.

Number of workers/handling equipment performing unloading, together with the delivery size and distances covered when taking over and transferring the goods, is one of the dominant factors influencing the time of unloading/loading. Through the field research of the authors of this paper it is determined that during deliveries in the central business district, one worker usually performs unloading. Hiring of one worker is in most cases justified, considering that these are usually deliveries of smaller volume, and large frequencies.

In TLS, unloading is most often performed in controlled conditions. It takes place on a flat surface, adapted to the unloading operation, indoors, covered or in a space that is otherwise protected from atmospheric influences, without obstacles and disturbances caused by the performance of other processes. The impact of ***surrounding conditions*** is therefore not considered in this case when calculating the unloading time. On the other hand, these factors have a significant impact on unloading times in the deliveries to the OGCL. Namely, urban areas are characterized by the variability of surrounding conditions and infrastructure in space and time. Logistics processes and activities are performed mostly in the open space, depending on the characteristics of infrastructure, traffic, pedestrian and user flows in facilities, weather conditions, etc. The influence of these factors on the unloading time will be described below.

Infrastructure characteristics include the characteristics, quality and adaptation of the infrastructure used for the unloading, i.e. taking over and transfer of goods from the vehicles to the place of goods storage (roads, sidewalks, surfaces in facility etc.). The most favorable characteristics of the infrastructure include flat terrain, without slopes, narrow passages and obstacles, while the least desirable surroundings in terms of infrastructure is uneven terrain, with holes, damage, thresholds, steps, narrow gates, etc.

Pedestrian and user flows in front of, or in the facility, can affect the delivery performance by disrupting, slowing down or violating the safety of goods. The intensity and impact of pedestrian and user flows on the delivery performance depends on the activity, size, location, delivery time, place of stopping the delivery vehicle, the way of access to the place of goods storage and other factors. Based on these factors, the impact of pedestrian and user flows on the delivery performance can be assessed. Some facilities have a dedicated parking space for delivery vehicles, at the back entrance of the facility, and the goods are stored with direct access to the storage space, which is physically separated from the customer service area (sales, catering space, etc.), therefore the movement of pedestrians or users has less or none impact on the unloading of goods. On the other side, the unloading from vehicles parked on the road, sidewalk or non-purpose parking spaces is most often hindered by the movement of pedestrians, while the disposal of goods in the customer service area is hindered by their movement in the facility.

Weather conditions can also negatively affect the goods unloading. They can be good (pleasant temperature, no wind and precipitation), normal (moderately high or moderately low temperature, medium intensity wind) or bad (extremely high or extremely low temperature, very strong wind, heavy snow, rain, hail, ice etc.). Surrounding conditions in terms of temperature, wind, humidity, precipitation can be estimated with considerable accuracy based on the season, short-term and long-term weather forecasts, delivery time, or time of the day, etc. When assessing the surrounding conditions from the aspect of weather, possible interventions should be taken into account in order to protect against unfavorable weather conditions (installation of canopies, wind shelters, removal of snow and ice, etc.).

Unloading complexity is influenced by specific (dangerous, bulky, easily breakable goods, etc.) and inhomogeneous logistic demands of goods (different shapes, dimensions, weight, unit of consolidation, etc.), compactness of consolidation, application of handling equipment (e.g. handcarts), vehicle characteristics (height from which the goods are picked up, vehicle equipment for unloading, complexity of vehicle preparation for unloading, etc.). There are also differences between TLS and OGCL regarding this surroundings factor. Namely, in TLS there is a significantly higher degree of standardization in terms of: units (boxes, pallets, etc.) and the procedure of goods consolidation, characteristics of transport and handling equipment [7], which allows the reduction of the unloading complexity.

Due to the aforementioned differences, accurate determination of delivery duration for OGCL is significantly more difficult than in TLS and is not always justified or cost-effective. Therefore, it is convenient to use a fuzzy system to determine some segments of delivery duration for OGCL.

Factors that affect the time before unloading and other time will not be analyzed in more detail, but estimations of their duration will be adopted. In addition, it is important to note that there are other factors that affect the delivery duration, such as the ability and motivation of the delivery workers, but they will be neglected in this paper.

3. MODEL FOR DETERMINING DELIVERY DURATION

Delivery duration consist of: time before unloading (t_1), time of unloading (t_2), time of goods control and delivery confirmation (t_3) and other time (t_4) (Figure 1). Estimations are adopted for the values of t_1 and t_4, while the values of t_2 and t_3 are determined by the fuzzy systems. Estimations and fuzzy systems (input and output variables, the scale of their values, the rules of inference) are defined on the basis of field research by the authors, monitoring of the deliveries to the flows generators in the central city zone of Belgrade and identification of various factors that affect the delivery duration.

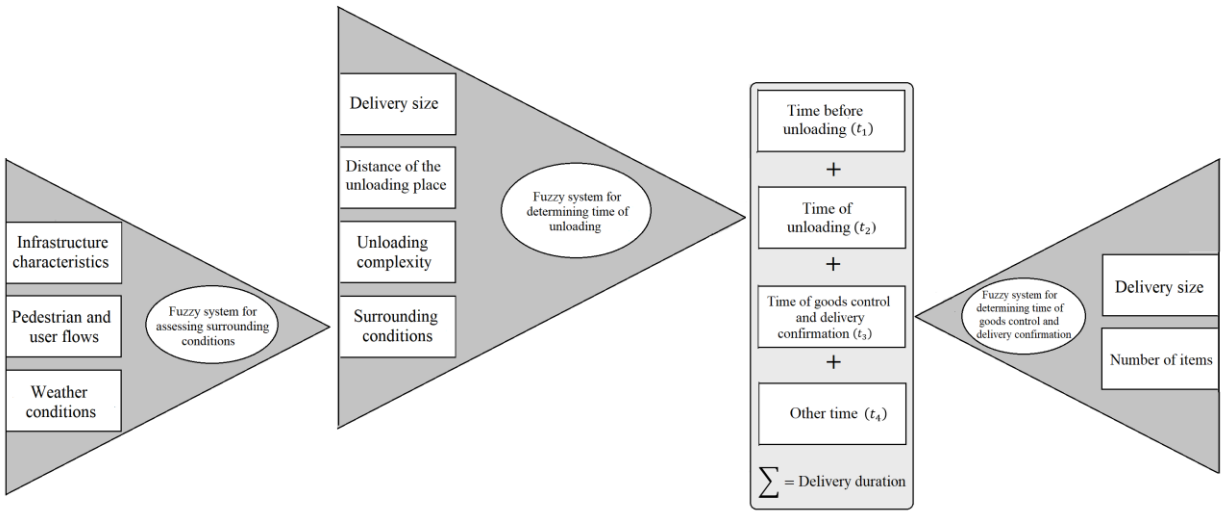


Figure 1: Model for determining delivery duration

According to the research, the time before unloading (t_1) in most deliveries (84%) is very short (<2 min), but in some cases it can be significantly longer, especially due to search for a place to stop the vehicle or waiting for deliveries from other suppliers to finish. Therefore, based on the research, the value of 6.2 min will be adopted for t_1 as the average duration of operations before unloading. For the other time (t_4), the value of 1.5 min will be adopted, also based on the conclusions from the field research.

In the following, the fuzzy systems for determining time of unloading and time of goods control and delivery confirmation will be defined, which based on the values of input variables, i.e. factors defined in the previous chapter, determine crisp, defuzzified output values of these segments of delivery duration.

The input variables of fuzzy system for determining time of unloading are: *delivery size*, *distance of the unloading place*, *unloading complexity and surrounding conditions*. The number of workers/handling equipment, which was marked as a significant factor influencing the time of unloading in the previous section, was neglected in defining fuzzy system, assuming that the delivery is performed by one worker, which is based on field research conclusions. To assess the surrounding conditions, a fuzzy system is also defined, whose input values are *infrastructure characteristics*, *intensity of pedestrian/user flows* and *weather conditions*. In this way, the output from the fuzzy system for assessing surrounding conditions was used as the input for the fuzzy system for determining time of unloading.

The parameters of the membership function of the input (I) and output (O) variables in the fuzzy system for assessing surrounding conditions are shown in Table 1. The variables can take values from the interval [0,10], where the value 0 indicates the most favorable (e.g. very good infrastructure characteristics), and the value 10 is the most unfavorable influence of the input variable on the surrounding conditions (e.g. very high intensity of pedestrian/user flows). Also, an output value of 0 represents the best and a value of 10 the worst assessment of surrounding conditions.

After fuzzy sets have been defined, depending on the values of input and output variables with a certain degree of belonging to theme, the rules on the basis of which the inference machine will function are defined [12]. One of the rules e.g. reads: if *infrastructure characteristics* are good, *intensity of pedestrian/user flows*

- medium and *weather conditions* - normal, then the *surrounding conditions* are normal. Other rules are defined in the same way.

Table 1: Membership function parameters for assessing surrounding conditions

Variable		Ling. estimate	Fuzzy set	Variable		Ling. estimate	Fuzzy set
I1	Infrastructure characteristics	Good	(0,0,4)	I3	Weather conditions	Good	(0,0,4)
		Normal	(1,5,9)			Normal	(1,5,9)
		Bad	(6,10,10)			Bad	(6,10,10)
I2	Intensity of pedestrian/ user flows	Low	(0,0,4)	O	Surrounding conditions	Good	(0,0,4)
		Medium	(1,5,9)			Normal	(1,5,9)
		High	(6,10,10)			Bad	(6,10,10)

The defined fuzzy system for determining time of unloading is presented in the following. Linguistic estimates, i.e. fuzzy sets, which may to some extent belong to the values of input and output variables in this fuzzy system are given in Table 2. *Delivery size*, *distance of the unloading place* and *time of unloading* are expressed in the appropriate units shown in Table 2, while the interval estimates [0,10] are used for *unloading complexity* and *surrounding conditions*. Inference rules are defined in the same way as for the fuzzy system for assessing surrounding conditions.

Table 2: Membership function parameters for determining time of unloading

Variable		Ling. estimate	Fuzzy set	Variable		Ling. estimate	Fuzzy set
I1	Delivery size (m^3)	Low	(0, 0, 0.8)	I4	Surrounding conditions	Good	(0,0,4)
		Medium	(0.4, 1, 1.6)			Normal	(1,5,9)
		High	(1.2, 2, 2)			Bad	(6,10,10)
I2	Distance of the unloading place (m)	Short	(0, 0, 10)	O	Time of unloading (min)	Very short	(0, 0, 3.6)
		Medium	(5, 15, 25)			Short	(1.8, 5.4, 9)
		Long	(20, 30, 30)			Medium	(5.4, 9, 12.6)
I3	Unloading complexity	Low	(0,0,4)			Long	(9, 12.6, 16.2)
		Medium	(1,5,9)			Very long	(14.4, 18, 18)
		High	(6,10,10)				

The fuzzy system for determining time of goods control and delivery confirmation is presented in the following. The input variables in the fuzzy system are: *delivery size* and *number of items*. The parameters of the membership functions of the input and output variables in the fuzzy system are shown in Table 3, and the inference rules are defined in the same way as for the previous two fuzzy systems.

Table 3: Membership function parameters for determining time of goods control and delivery confirmation

Variable		Ling. estimate	Fuzzy set	Variable		Ling. estimate	Fuzzy set
I1	Delivery size (m^3)	Low	(0, 0, 0.8)	O	Time of goods control and delivery confirmation (min)	Very short	(0, 0, 1)
		Medium	(0.4, 1, 1.6)			Short	(0.5, 1.5, 2.5)
		High	(1.2, 2, 2)			Medium	(1.5, 2.5, 3.5)
I2	Number of items	Small	(0, 0, 15)			Long	(2.5, 3.5, 4.5)
		Medium	(10, 20, 30)			Very long	(4, 5, 5)
		Large	(25, 40, 40)				

The applicability of the defined model is demonstrated on the example of estimating the delivery duration for the following values of input variables. *Infrastructure characteristics* were rated at 1.5 (Good or Normal), *intensity of pedestrian/user flows* at 5.1 (Medium) and *weather conditions* at 7.4 (Bad or Normal). The value of the output variable obtained by applying the fuzzy system for assessing surrounding conditions is 4.4 (Good or Normal). This value is taken by the input variable *surrounding conditions* in the fuzzy system for determining time of unloading. Other input variables in fuzzy system for determining time of unloading take the following values: *delivery size* - 0.8 m^3 (Low or Medium), *distance of the unloading place* - 24.9 m (Medium or Long) and *unloading complexity* - 3.5 (Low or Medium). The defuzzified value of the output variable, i.e. the *time of unloading* in this case is 11.8 min (Medium or Long). The values taken by the input variables of *delivery size* and *number of items* in the fuzzy system for determining time of goods control and delivery confirmation are 0.8 m^3 (Medium) and 27 (Medium or Large). Defuzzified value of the

output variable, i.e. the *time of goods control and delivery confirmation* in this case is 2.8 min (Medium or Long). Total delivery duration is equal to 6.2 + 11.8 + 2.8 + 1.5 = 22.3 min.

4. CONCLUSION

This paper defines a model for determining delivery duration for trade, hospitality, craft, service and other facilities in urban areas. In addition to the variables commonly used in the calculation of delivery duration (delivery size/quantity of goods, number of items, number of workers/handling equipment, place of stopping the delivery vehicle), the defined model takes into account specific, variable and inhomogeneous logistical demands, unloading complexity and surrounding conditions in urban areas, which distinguish them from typical logistics systems. Determining delivery duration using the fuzzy system enables inaccuracy in defining the values of the mentioned variables, which is its main advantage in relation to similar systems based on classical mathematical theory.

The disadvantages of the defined model are the assumptions and limitations, which narrow the range of application. The characteristics and manner of delivery in urban areas can differ significantly in relation to the defined assumptions regarding the quantities of goods, the use of logistic units, but also the factors that affect delivery duration and their importance. It is these aspects that may be an area for future research.

REFERENCES

[1] Awasthi, A., & Chauhan, S. S. (2012). A hybrid approach integrating Affinity Diagram, AHP and fuzzy TOPSIS for sustainable city logistics planning. Applied Mathematical Modelling, 36(2), 573–584.

[2] Ćirović, G., Pamučar, D., Božanić, D. (2014). Green logistic vehicle routing problem: Routing light delivery vehicles in urban areas using a neuro-fuzzy model. Expert Systems with Applications, 41(9), 4245-4258.

[3] Pamučar, D., Vasin, L., Atanasković, P., & Miličić, M. (2016). Planning the City Logistics Terminal Location by Applying the Greenp-Median Model and Type-2 Neurofuzzy Network. Computational Intelligence and Neuroscience, 2016, 1–15.

[4] Rao, C., Goh, M., Zhao, Y., & Zheng, J. (2015). Location selection of city logistics centers under sustainability. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 36, 29–44.

[5] Ren Y., Xing T., Quan Q., & Zhao G. (2010). Fuzzy Cluster Analysis of Regional City Multi-level Logistics Distribution Center Location Plan. In Cao B., Wang G., Chen S., Guo S. (Eds.), Quantitative Logic and Soft Computing 2010. Advances in Intelligent and Soft Computing, vol 82. Berlin, Heidelberg: Springer

[6] Sheu, J. B. (2006). A novel dynamic resource allocation model for demand-responsive city logistics distribution operations. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 42 (6), 445–472.

[7] Tadić, S., & Veljović, M. (2021). Differences between typical logistics systems and other city logistics generators. Tehnika (In press)

[8] Tadić, S., & Zečević, S. (2016). Modelling city logistics concepts (in Serbian). Belgrade: Faculty of transport and Traffic Engineering, University of Belgrade.

[9] Tadić, S., Zečević, S., & Krstić, M. (2012). City logistics terminal location selection using combined fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS analysis. Proceedings of the 1st International conference on traffic and transport engineering, ICTTE, Scientific Research Center Ltd. Belgrade, Belgrade, Serbia, 345-358.

[10] Tadić, S., Zečević, S., & Krstić, M. (2013). Locating city logistics terminal using fuzzy AHP analysis: Case of Belgrade. Tehnika, 68(4), 707-716.

[11] Tadić, S., Zečević, S., & Krstić, M. (2014). A novel hybrid MCDM model based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy VIKOR for city logistics concept selection. Expert Systems with Applications, 41(18), 8112–8128.

[12] Tadić, S., Zečević, S., & Krstić, M. (2015). Ranking of logistics system scenarios using combined fuzzy AHP-VIKOR model. International Journal for Traffic and Transport Engineering, 5(1), 54 – 63.

[13] Zadeh, L. A. (1973). Outline of a new approach to the analysis complex systems and decision processes. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernatics (SMC-3), 28–44.

[14] Zečević, S., & Tadić, S. (2006). City logistics (in Serbian). Belgrade: Faculty of transport and Traffic Engineering, University of Belgrade.

XLVIII Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23. September 2021.
MATΦ University of Belgrade Faculty of Mathematics
Mathematical Institute SANU

MULTI LEVEL FACILITY LOCATION MODEL AND SUCCESSIVE SET COVERING AND P-MEDIAN HEURISTICS APPLICATION TO ESTABLISH RECYCLING NETWORK

MILORAD VIDOVIĆ[1], SLAĐANA JOVANOVIĆ[1]

[1] University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade mvidovic@sf.bg.ac.rs, sladjanajovanovicbb@gmail.com

Abstract: *The paper presents a comparison of two modeling approaches which could be used for designing recycling networks through defining optimal locations of collection and treatment of plastic waste. The modeling approaches were tested on the case study of two Belgrade municipalities, New Belgrade and Zemun, and a few randomly generated networks.*

Keywords: *recycling network, set covering, p-median, multi level facility location model*

1. INTRODUCTION

In the XXI century, environmental concerns, legislative measures and growing public awareness about the environmental consequences of waste disposal and extraction of natural resources have led to an increase in recycling and reuse efforts. Particularly, growing concern about the end of life products has favored the development of reverse logistics systems where the key element is the acquisition of discarded used products, its sorting, testing and then value recovering.

Collection is the first and crucial activity in recycling networks which triggers other activities, such as processing the collected recyclables, manufacturing and, in the end, purchasing recycled-content products. After it's collected, the waste has to be transported to the treatment centers where it will be treated depending on the material it is made of. It has to be sorted and cleaned and then sent to different processes for recovering its value. Depending on the material, the processing of the recyclables implies breaking them down, shredding, crushing, melting or liquefying. After getting the raw material from waste, it is used for making new products either directly or by combining it with virgin resources. To close the recycling loop, new products made of recycled materials need to be promoted and put on the shelves in stores so they can be purchased by consumers.

Last two or three decades a significant amount of work has been focused on the design and optimization of reverse logistics and recycling networks. Some papers deal with collection issues in reverse logistics, some are focused on location, vehicle routing or other problems in this wide area. The more detailed insight in those problems can be found in [4]. On the strategic level, defining optimal locations of facilities in reverse logistics and recycling networks is of crucial importance. Since the second half of the last century, there have been introduced numerous modeling approaches to solving different types of location problems. An excellent review of variety of different facility location problems is given in [5].

Focus of the research presented here is in analysis of possible approaches to solving a problem of locating facilities for recyclables collection and treatment, which can be usually considered as two-level network. Multi level location problems, also known as a multi echelon and hierarchical facility location models, aim to determine the locations so that facilities in higher level serve facilities on lower levels in the most efficient way, accordingly to defined objective function. Different types of multi level optimization models and solving approaches with various applications exist in literature ([3], [6], [9]). In this research our idea was to make a comparison between modeling approaches based on heuristics, which include successive application of set covering and p-median, and optimization model, based on single flow multi level facility location problem.

Having on mind the objective, the remainder of the paper is organized as follows. Section two describes the problem, briefly introducing structure of the recycling network considered in this paper. Section three presents the modelling approaches that can be used in recycling network establishing, while the section four gives some computational results from the numerical examples used here with the idea of making comparison of heuristics and optimization approaches. Concluding remarks are given in section five.

2. PROBLEM DESCRIPTION

The design of multi level network for collection, transport and treatment of discarded recyclable materials is the strategic level decision, and like other similar network design decisions, it includes determining numbers, locations, and flow intensities between facilities located at different levels.

The reason of designing this kind of network lies in fact that the most of reverse logistics networks are multi level in its nature. The lowest network level (level 0 in the **Figure 1**) corresponds to clients, the last owners of recyclables, which should be considered as network source. Clients should be provided with the ability of disposing recyclables to the second level (level 1 in the **Figure 1**) which is collection point. Then, collected materials are transported to the treatment facilities of a certain type (level 2 in the **Figure 1**).

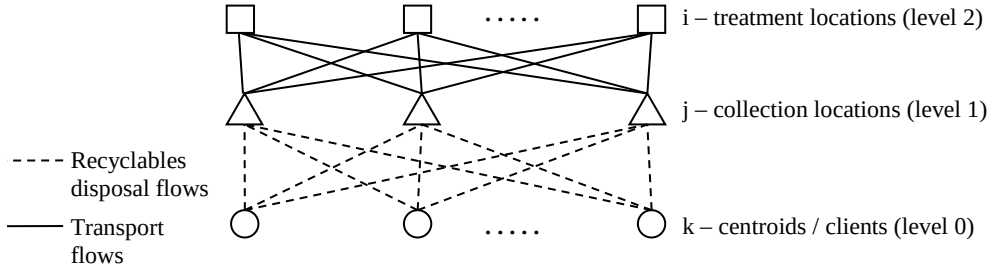


Figure 1: Recycling network

A number of different systems are used to collect recyclables. The two main collection systems are "curbside collection", and "drop-off centers". The “curbside collection” is the concept where the collection points are located close to single-family as well as multi-family houses. Drop-off collection centers require the client to carry the recyclables to a collection station. That concept is implemented in the recycling network considered in this research, particularly network for plastic recyclables collection – mostly bottles, although the concept is not limited only to this application. In this concept, after recyclables are collected at collection facilities, they are shipped to the next level of reverse logistics network, treatment facility, which could be sorting, baling, transfer, or even recycling plant. In plastic recycling networks, treatment locations could be places for sorting and then compacting materials, usually by baling or grinding, because of the higher price of the processed material. For example, price per kilogram of sorted, balled transparent plastic bottles, is 34 RSD, while for non-balled is 20 RSD [8]. One important characteristic of drop-off collection systems is also that quantity collected significantly depends on distances between end users and collection points. The farther away from the client the collection point is, collected quantities are smaller. Therefore, certain acceptable distance between clients and on the other side, increase of transportation distances between collection and treatment point directly increases costs, as in other logistics networks.

The design of multi level plastic recycling network includes, in one hand, defining the number and locations of plastic waste collection and treatment facilities, and in the other, the minimization of the transportation costs between the collection and treatment points. As it is mentioned before, to solve the problem numerous location models and approaches are available. To locate collection points (level 1), because of need of providing acceptable distance from clients (level 0) which bring recyclables to those places, set covering approach seems as an obvious choice, which is also analysed in [1]. To locate treatment facilities (level 2) that process materials received from the collection points (level 1), an logical choice is P-median [7] formulated with the idea of minimizing total transportation costs between those two network levels. However, both mathematical models, the set covering and p-median, consider multi level plastic recycling network only partially, but not as a whole. Therefore, sequential approach, where the first phase assumes application of the set covering model, and the second phase, with application of p-median model, can be considered only as a heuristics. Another possible approach is to solve the problem as the multi level network location problem, here as a two-level facility location problem. This approach is holistic, and could give optimal solution to the problem. To solve two-level facility location problem, of designing plastic recycling network, we used the assignment-based formulation given in [9], but modified with set covering constraints in order to adapt the model to recyclables collection on the level 1. Modification was based on the idea given in [2], where the transportation distance between the collection and treatment locations, in the objective function, is increased to Big M, when the distance between a client and collection point is greater than covering radius R.

To analyse application performances of the mentioned heuristic and optimization approach we perform tests on several randomly generated recycling networks, and more realistic case study of New Belgrade and Zemun municipalities’ recyclables collection network. Instead of using individual clients, which is

practically impossible in recycling networks since every citizen in a certain area is potential waste generator, as a demand locations we consider local communities represented by its centroids.

3. MODELING APPROACH

To solve the problem of designing two-level network for collection, transport and treatment of discarded recyclable materials we used heuristic based on sequential application of the set covering and p-median model, and optimization approach based on multi-level location model.

The minimal set covering approach was based on well known Toregas binary integer formulation [10]. It finds the smallest number of facilities (and their locations) such that each demand is no farther than a pre-specified distance away from its closest facility, while it is required that each demand is covered at least once. The minimal set covering formulation is shown below, where j is a collection facility (level 1) from the set of potential locations $j \in J$, k is a centroid from a set of centroids of local communities $k \in K$, a_{jk} is covering index, y_j is binary decision variable and R maximal allowable covering distance. Also, let $J^* \subseteq J$ be set of locations $j \in J^*$ which are the solutions of the set covering model application.

$$\min \sum_{j \in J} y_j \tag{1}$$

s.t.

$$\sum_{j \in J} a_{jk} y_j \geq 1 \quad j \in J \tag{2}$$

$$y_j = \begin{cases} 1, \textit{if location } j \textit{ is selected} \\ 0, \textit{otherwise} \end{cases} \quad \forall j \in J \tag{3}$$

$$a_{jk} = \begin{cases} 1, \textit{if centroid } k \textit{ can be served from } j \ (d_{jk} < R) \\ 0, \textit{otherwise} \end{cases} \tag{4}$$

Objective function (1) seeks to minimize total number of collection locations. Constraint (2) forces each centroid to be covered. Expressions (3) and (4) define nature of variables and covering indexes.

The p-median problem was formulated by Hakimi [2]. It finds a set of locations which provide minimal total weighted distance when serving the set of all demand nodes, where each is served from its closest location. The p-median model formulation is shown below.

$$\min \quad \sum_{i \in I} \sum_{j \in J^*} q_j^k d_{ij} y_{ij} \tag{5}$$

s.t.

$$\sum_{j} y_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \tag{6}$$

$$\sum_{i \in I} x_i \leq q \tag{7}$$

$$y_{ij} \leq x_i \quad \forall i \in I \quad \forall j \in J^* \tag{8}$$

$$x_i = \begin{cases} 1, \textit{if treatment is at location } i \\ 0, \textit{otherwise} \end{cases} \quad \forall i \in I \tag{9}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, \textit{if collection point } j \textit{ is served from location } i \\ 0, \textit{otherwise} \end{cases} \quad \forall i \in I \quad \forall j \in J^* \tag{10}$$

In addition to the previous notation, q_j^k is the quantity of recyclables originating from the centroid k, received at collection point $j \in J^*$, x_i and y_{ij} are the decision variables, q is the number of available potential locations for treatment of recyclables and d_{ij} are transport distances between collection and treatment locations at levels 1, and 2 respectively.

The objective function (5) tries to minimize the total weighted distance of assignments y_{ij}. The first constraint (6) ensures that each collection point must be assigned to exactly one treatment facility.

Constraints (7) restrict the placement of more than q treatment facilities. Constraint (8) force assignment of collection points only to opened treatment locations. Constraints (9) and (10) define variable domains.

Solving the two-level location problem by heuristics that include sequential application of set covering and p-median model should be performed in following way.

- Based on solution of the model (1)-(4) make the set $J^* \subseteq J$ whose elements $j \in J^*$ are the results of the set covering model application.
- Based on assignments of centroids $k \in K$ to collection facilities $j \in J^*$, which are results of the model (1)-(4) application, define quantities of recyclables q_j^k originating from the centroid $k \in K$, received at collection point $j \in J^*$, so that $\sum_{k \in K} q_j^k = q_k \quad \forall j \in J^*$
- Add opened collection locations $j \in J^*$ and quantities of recyclables q_j^k as input values, and solve the model (5)-(10)

To solve two-level location problem to optimality we used adapted assignment-based formulation given in [9]. The model adaptation was based on the idea given in [2], where the transportation distance between the collection and treatment locations is changed according to the expression (11), where M is large positive number. Also, unlike the original model, transport distances d_{ij}, between collection and treatment locations (level 1 and level 2) are weighted by quantities of recyclables q_k.

$$d'_{jk} = \begin{cases} d_{jk} \ if \ d_{jk} \le R \\ M \ if \ d_{jk} > R \end{cases} \tag{11}$$

Assignment-based two-level location model is shown below.

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} z_{ijk} (q_k d_{ij} + d'_{jk}) \tag{12}$$

$$\sum_{j \in J} y_j \le p \tag{13}$$

$$\sum_{i \in I} x_i \le q \tag{14}$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} z_{ijk} = 1 \quad \forall k \in K \tag{15}$$

$$z_{ijk} \le y_j \quad \forall i \in I \quad \forall j \in J \quad \forall k \in K \tag{16}$$

$$z_{ijk} \le x_i \quad \forall i \in I \quad \forall j \in J \quad \forall k \in K \tag{17}$$

$$z_{ijk}, x_i, y_j \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad \forall j \in J \quad \forall k \in K \tag{18}$$

In addition to the previous notation, z_{ijk} are decision variables given by expression (19), while p is the number of available potential locations of collection locations.

$$z_{ijk} = \begin{cases} 1, \textit{if centroid k is assigned to treatment facility i via collection facility j} \\ 0, \textit{otherwise} \end{cases} \quad \forall i \in I \quad j \in J \quad k \in K \tag{19}$$

The objective function (12) minimizes the total transportation costs from centroids to level 1 facilities, and between facilities at level 1 and 2. Constraints (13) and (14) guarantee the number of opened facilities on levels 1 and 2. Constraints (15) ensure that each demand is assigned at least to one pair of level 1 and 2 facilities, while constraints (16) and (17) allow the assignment to occur only through open facilities on level 1 and 2, respectively. Note that use of distances d'_{jk} together with constraints (15), corresponds to the set covering problem, where facilities at level 1 should cover clients at level 0.

4. NUMERICAL RESULTS

In order to analyse performances and make comparison between presented heuristic and optimization approach to solving the problem of designing two-level recyclables network we used 10 randomly generated test instances (Inst_1 to Inst_10) and one more realistic test network where it is considered New Belgrade and Zemun municipalities' recyclables collection network, denoted in analysis as the Case_study.

For randomly generated instances we used following parameters. All random instances are based on the network with 38 centroids, 90 potential collection points locations and 8 potential locations for treatment facilities, the same as real in New Belgrade and Zemun municipalities'. However, coordinates of all network nodes i.e. centroid, collection and treatment facilities locations, are uniformly distributed in rectangle x~U(1,11), y~(1,12), which is approximately equal to the teritory of New Belgrade and Zemun municipalities. Quantities of recyclables in centroides in case of randomly generated instances were uniformly distributed q_k~U(100,6000). Expected average quantity of plastic waste in each service area for the case of New Belgrade and Zemun were based on residents' number in local communities, and a daily quantity of plastic waste generated (**0.162** kg/resident in Serbian cities), which gives approximately 47152 kg of recyclables daily. Covering distance was R=0.8 for all problem instances, both random and realistic.

All problem instances are solved using the LPSolve IDE 5.5.2.5, while the parameters calculation and preparation of the MILP models was made in MSExcel VBA. Solving times were very short, mostly less than 5s, on Fujitsu lifebook e554, x64, Intel core i7 2.3GHz, with 12Gb RAM.

Results of solving test instances are shown in **Table 1** and **Table 2**, for values of BigM= 1100000 and BigM= 110, respectively.

Table 1: Comparison of the heuristics and optimization approaches results – BigM= 1100000

Instances	Objective		No. of the 1st level locations opened			No. of the 2nd level locations opened		
	Heur.	Opt.	Heur.	Opt.	No. of the same locations	Heur.	Opt.	No. of the same locations
Inst_1	238330.061	176880.399	26	36	14	7	7	7
Inst_2	266489.699	189626.323	25	34	14	8	8	8
Inst_3	252238.109	163930.325	25	36	17	8	8	8
Inst_4	236510.432	174534.203	24	33	15	7	8	7
Inst_5	274139.926	183830.691	25	33	17	8	8	8
Inst_6	401161.144	263307.253	24	33	15	7	7	7
Inst_7	305577.572	193984.467	26	37	17	8	8	8
Inst_8	200817.534	154408.191	25	36	14	7	8	7
Inst_9	177188.427	130674.757	28	35	16	8	8	8
Inst_10	201024.918	156298.262	29	34	17	8	8	8
Case_study	142422.645	44185.149	26	35	15	8	8	8

Table 2: Comparison of the heuristics and optimization approaches results – BigM= 110

Instances	Objective		No. of the 1st level locations opened			No. of the 2nd level locations opened		
	Heur.	Opt.	Heur.	Opt.	No. of the same locations	Heur.	Opt.	No. of the same locations
Inst_1	238330.061	21847.550	26	2	0	7	1	1
Inst_2	266489.699	17486.162	25	1	1	8	1	1
Inst_3	252238.109	9093.010	25	1	0	8	1	1
Inst_4	236510.432	59469.022	24	2	1	7	2	1
Inst_5	274139.926	24266.257	25	1	0	8	1	1
Inst_6	401161.144	30202.071	24	1	0	7	1	1
Inst_7	305577.572	27578.324	26	3	2	8	2	2
Inst_8	200817.534	26574.799	25	2	2	7	2	2
Inst_9	177188.427	19327.493	28	2	1	8	2	2
Inst_10	201024.918	24034.047	29	2	0	8	2	2
Case_study	142422.645	12027,492	26	5	1	8	3	3

Obviously, heuristic and the optimization model behave very well, delivering close results for large values of BigM (**Table 1**). However, for small values of BigM (**Table 2**) results obtained from heuristic and optimization approach differ dramatically which arises question where the optimum is? Heuristics approach for the first level, based on set covering model, could exactly define minimal number of recyclables collection locations which are on required distance from centroides. On the other side, opening collection locations based on two-level location model is a result of application of some kind of penalty function, where penalties depends of the value of BigM. For the second level, both modeling approaches locate treatment facilities with respect to the locations choosen at the first level. Again, two-level optimization model used the same penalty function, while p-median use sum of weighted transport distances which introduce certain differences which depend on BigM value.

It is clear that, in practice popular, based on successive application of set-covering and p-median could give acceptable results, but from the theoretical point of view there is a space for improvements and analysing other possible approaches.

5. CONCLUSION

The problem of defining the right locations for recycling activities is a decision at the strategic level, where companies need to find the best solution in order to have greater profit and be competitive in the market.

It has been demonstrated that even though the sequential approach gives acceptable results, it is necessary to perform additional analysis which could include other formulations to more exactly determine quality of the sequential heuristic approach. In the same time, proposed additional analysis should also include impact of the BigM values on the multi-level facility location model that was applied in this research.

ACKNOWLEDGMENT

This research was partially supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Government of Serbia through the grant No.36006 – institutional financing, and through the project of bilateral cooperation between Republic of Serbia and Slovakia, grant 337-00-107/2019-09/06, 2019-2021.

REFERENCES

[1] J. Bautista, J.Pereira. (2006). "Modeling the problem of locating collection areas for urban waste management. An application to the metropolitan area of Barcelona", Omega 34, 617 – 629.

[2] R.L.Church, C.S.ReVelle, (1976). Theoretical and computational links between the p-Median, location set-covering, and the maximal covering location problem. Geographical analzsis, Vol. 8, 406-415.

[3] J.N. de Figueiredo, Mayerle S.F. (2008). Designing minimum-cost recycling collection networks with required throughput. Transportation Research Part E, 44. 731–752

[4] R. Dekker, M. Fleischmann, K. Inderfurth, L. van Wassenhove, (2004). Quantitative Models for Reverse Logistics Decision Making. Chapter 2 in book: Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chains, Editors: Rommert Dekker, Moritz Fleischmann, Karl Inderfurth, Luk van Wassenhove, 3-27.

[5] Z. Drezner, H.W. Hamacher. (2002). Facility Location: Applications and Theory. Springer, Berlin

[6] R.Z Farahani, M.Hekmatfar, B.Fahimnia,N.Kazemzadeh. (2014). Hierarchical facility location problem: Models, classifications, techniques, and applications. Computers & Industrial Engineering 68, 104–117.

[7] S. Hakimi, (1964). "Optimum Location of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graph", Operations Research, 12, 450-459.

[8] http://www.petreciklaza.com/cene-pet-ambalaze.htm

[9] G. Sahin, H. Sural. (2007). A review of hierarchical facility location models. Computers & Operations Research, 2310–2331.

[10] C.Toregas, R.Swain, C.ReVelle, L.Bergman, (1971). The Location of Emergency Service Facilities. Operations Research 19(6),1363-1373.

Matematičko programiranje

Mathematical Programming

XLVIII Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23. September 2021.
MATΦ University of Belgrade Faculty of Mathematics
Mathematical Institute SANU

SUFFICIENCY CRITERIA IN CONTINUOUS-TIME PROGRAMMING PROBLEMS OF VECTOR OPTIMIZATION

ALEKSANDAR JOVIĆ[1]

[1] Department of Numerical Mathematics and Optimization, Faculty of Mathematics, University of Belgrade, Studentski trg 16, Belgrade, Serbia, ajovic@matf.bg.ac.rs

Abstract: *In this paper, vector continuous-time programming problems with inequality constraints are considered. The sufficient optimality conditions under generalized convexity assumption are established. The results were formulated using differentiability.*

Keywords: *Continuous-time programming, Vector problems, Optimality conditions, Properly efficient solution*

1. INTRODUCTION AND STATEMENT OF PROBLEM

In this work, we consider the following vector continuous-time problem:

$$\begin{aligned} &J(u) = \int_0^T \phi(\tau, u(\tau))d\tau \to \inf; \\ &\text{subject to } u \in \Omega = \{u \in D : \varphi(\tau, u(\tau)) \leq 0 \text{ a.e. in } [0,T]\}, \end{aligned} \tag{VCTPI}$$

where D is a nonempty open subset of the Banach space $L_\infty^n[0,T]$, and let $\phi(\tau, u(\tau)) = \nu(u)(\tau)$, $\nu : D \to L_1^k[0,T]$, $\varphi(\tau, u(\tau)) = \mu(u)(\tau)$, $\mu : D \to L_1^m[0,T]$ be given functions. Here, by $L_\infty^n[0,T]$ we denote the space of all n-dimensional Lebesgue measurable essentially bounded functions defined on the compact interval $[0,T] \subset \mathbb{R}$ with the corresponding norm $\|\cdot\|_\infty$ defined by

$$\|u\|_\infty = \max_{1 \leq i \leq n} \operatorname{ess\,sup}\{|u_i(\tau)|, \tau \in [0,T]\},$$

and $L_1^n[0,T]$ denote the space of all n-dimensional essentially bounded and Lebesgue integrable functions defined on the compact interval $[0,T]$ with corresponding norm $\|\cdot\|_1$ defined by

$$\|u\|_1 = \max_{1 \leq i \leq n} \int_0^T |u_i(\tau)|d\tau.$$

Let

$$J_j(u) = \int_0^T \phi_j(\tau, u(\tau))d\tau,\ u \in D,\ j \in K = \{1, \ldots, k\},$$

where $\phi_j(\tau, u(\tau))$ denotes the j-th component of $\phi(\tau, u(\tau)) \in \mathbb{R}^k$. Here for each $\tau \in [0,T]$, $u_i(\tau)$ is the ith component of $u(\tau) \in \mathbb{R}^n$. Further, Ω is the feasible set of (VCTPI). Also, all vectors in our paper are column vectors. We use ' to denote transposition. Inequality signs between vectors should be read componentwise. Let $C \subset \mathbb{R}^n$ be an open convex subset containing the set $\{u(\tau) \in \mathbb{R}^n : u \in D,\ \tau \in [0,T]\}$. Let us denote the index sets of the inequality constraints as $I = \{1, \ldots, m\}$. Thus, ϕ_j, φ_i, $j \in K$, $i \in I$ are real-valued functions defined on $C \times [0,T]$. Let $U = \{u(\tau) \in \mathbb{R}^n : u \in \Omega \text{ a.e. in } [0,T]\}$. The minimization in the initial problem is in the sense of properly efficient solution.

► **Definition 1.** A point $\hat{u} \in \Omega$ is said to be an efficient solution for (VCTPI) if there is no $u \in \Omega$ such that $J_j(u) \leq J_j(\hat{u}),\ j \in K$, with at least one strict inequality.

► **Definition 2.** A point $\hat{u} \in \Omega$ is said to be a properly efficient solution for (VCTPI) if it is efficient and if there exists a scalar $M > 0$ such that, for each i, we have

$$\frac{J_i(\hat{u}) - J_i(u)}{J_j(u) - J_j(\hat{u})} \leq M$$

for some j such that $J_j(u) > J_j(\hat{u})$ when $u \in \Omega$, and $J_i(u) < J_i(\hat{u})$.

First, it should be noted, that in throughout the paper it is assumed that the functions $\tau \to \nabla\phi_j(\tau,\hat{u}(\tau))$, $j \in K$, $\tau \to \nabla\varphi_i'(\tau,\hat{u}(\tau))h(\tau) \equiv D\mu_i(\hat{u})(h)(\tau)$, $i \in I$ are Lebesgue integrable on $[0,T]$ for all $h \in L_\infty^n[0,T]$. Further, $D\mu_i(\hat{u})(h)(\tau)$ denotes the Fréchet derivatives of the ith component μ_i of μ at $\hat{u}$ evaluated at $h(\tau)$.

This problem was studied in [1, 2, 3, 4, 5]. Unfortunately, it should be noted that the validity of some results in the field of scalar and vector continuous-time programming was questioned in [6]. In the aforementioned paper, a transposition theorem in the infinite-dimensional spaces is developed under a suitable regularity condition. It is well established, that many papers in this field, as their fundamental tool, use Gordan's Transposition Theorem given in [7]. In [6], the authors indicate that such a result is incorrect.

In this paper, we consider vector continuous-time programming problems with inequality constraints. The sufficient optimality conditions are obtained under generalized convexity assumption. We assume that the definitions of generalized convex functions are known to the reader. For more information the reader is referred to [8]. The following results do not appear in the literature, when a vector continuous-time problem is defined in $L_\infty^n[0,T]$.

2. MAIN RESULTS

Let $\Lambda = \{\lambda \in \mathbb{R}^k \quad | \quad \lambda > 0, \quad \lambda' e = 1, \quad e = (1,...,1) \in \mathbb{R}^k\}$. We consider the following scalar minimization problem:

$$\lambda' J(u) = \int_0^T \sum_{j=1}^k \lambda_j \phi_j(\tau, u(\tau)) d\tau \to \inf;$$
$$\text{subject to } u \in \Omega,\ \lambda \in \Lambda. \tag{SCP$_\lambda$}$$

► **Definition 3.** Let $\lambda \in \Lambda$. A feasible solution $\hat{u}$ is an optimal solution of the scalar problem (SCP$_\lambda$) if

$$\lambda' J(\hat{u}) \le \lambda' J(u) \quad \forall u \in \Omega.$$

► **Lemma 4.** *Let $\lambda \in \Lambda$. If $\hat{u} \in \Omega$ is an optimal solution of* (SCP$_\lambda$)*, then $\hat{u}$ is a properly efficient solution of* (VCTPI).

Proof. Let $\hat{u}$ be an optimal solution of (SCP$_\lambda$) with $\lambda > 0$. Let us assume that $\hat{u}$ is not efficient solution of (VCTPI). Then there exist some point $\bar{u} \in \Omega$ such that $J_i(\bar{u}) \le J_i(\hat{u})$ for all $i \in K$, and for at least one index j is $J_j(\bar{u}) < J_j(\hat{u})$. Since $\hat{\lambda} \in \Lambda$, we have $\hat{\lambda}' J(\bar{u}) < \hat{\lambda}' J(\hat{u})$, which contradicts the optimality of $\hat{u}$ in (SCP$_\lambda$). Therefore $\hat{u}$ is an efficient solution of (VCTPI). Assume that $\hat{u}$ is no properly efficient solution. Let $K = \{1,\dots,k\}$. Then we choose

$$M = (k-1)\max_{i,j \in K} \frac{\lambda_j}{\lambda_i}, \text{ for } k \ge 2,$$

and we have for some $i \in K$ and some $u \in \Omega$ with $J_i(u) < J_i(\hat{u})$

$$\frac{J_i(\hat{u}) - J_i(u)}{J_j(u) - J_j(\hat{u})} > M \quad \forall j \in K, \text{ with } J_j(u) > J_j(\hat{u}).$$

It follows that

$$J_i(\hat{u}) - J_i(u) > M(J_j(u) - J_j(\hat{u})) \ge (k-1)\frac{\lambda_j}{\lambda_i}(J_j(u) - J_j(\hat{u})) \quad \forall j \ne i,$$

i.e.

$$\frac{\lambda_i}{k-1}(J_i(\hat{u}) - J_i(u)) > \lambda_j (J_j(u) - J_j(\hat{u})) \quad \forall j \ne i.$$

Summing over $j \ne i$, we have

$$\lambda_i (J_i(\hat{u}) - J_j(u)) > \sum_{\substack{j=1 \\ j \ne i}}^k \lambda_j (J_j(u) - J_j(\hat{u})),$$

so that

$$\sum_{j=1}^k \lambda_j (J_j(u) - J_j(\hat{u})) < 0,$$

which contradicts the optimality of $\hat{u}$ in (SCP$_\lambda$). Thus, $\hat{u}$ is a properly efficient solution of (VCTPI). ◄

For any feasible solution $\hat{u} \in \Omega$ let $A(\hat{u}) = \{i \in I \mid \varphi_i(\tau, \hat{u}(\tau)) = 0 \text{ a.e. in } [0,T]\}$ denote the index set of all the binding inequality constraints at $\hat{u}$. To simplify, for a given $\hat{u} \in \Omega$, we write $A = A(\hat{u})$ and $N = I \setminus A$. Let φ_A denote the vector having components φ_i with $i \in A$. For any $\hat{u} \in \Omega$, according to the preceding notations we have that $\varphi(\tau, \hat{u}(\tau)) = (\varphi_A(\tau, \hat{u}(\tau)), \varphi_N(t, \hat{u}(\tau)))$. Let $V = \{v \in L_\infty^m([0,T] : v(\tau) \geq 0 \text{ a.e. in } [0,T]\}$.

► **Theorem 5.** *Let $\hat{u}$ be a feasible solution of* (VCTPI). *Assume that $\phi(\tau,\cdot)$ and $\varphi(\tau,\cdot)$ are continuously differentiable with respect to their second arguments at $\hat{u}(\tau)$ throughout $[0,T]$. Further, assume that for each $i \in A$, $\varphi_i(\tau,\cdot)$ is quasiconvex in its second argument at $\hat{u}(\tau)$ (with respect to U) throughout $[0,T]$. If there exists a $(\hat{\lambda}, \hat{v}) \in \Lambda \times V$ such that $(\hat{u}, \hat{\lambda}, \hat{v})$ satisfies the following conditions:*

$$\int_0^T \left(\sum_{j=1}^k \hat{\lambda}_j \nabla \phi_j(\tau, \hat{u}(\tau)) + \sum_{i=1}^m \hat{v}_i(\tau) \nabla \varphi_i(\tau, \hat{u}(\tau)) \right)' h(\tau) d\tau = 0, \forall h \in L_\infty^n[0,T], \tag{1}$$

$$\hat{v}_i(\tau) = 0, \ i \in N, \ \text{a.e in } [0,T], \tag{2}$$

and if the function $\hat{\lambda}' J(\cdot)$ is pseudoconvex at $\hat{u}$ (with respect to Ω), then $\hat{u}$ is a properly efficient solution of (VCTPI).

Proof. For any feasible u, $\varphi_A(\tau, u(\tau)) \leq \varphi_A(\tau, \hat{u}(\tau)) = 0$, a.e. in $[0,T]$. By the quasiconvexity φ_A at $\hat{u}(\tau)$, we have

$$\sum_{i \in A} \nabla \varphi_i(\tau, \hat{u}(\tau))(u(\tau) - \hat{u}(\tau)) \leq 0, \quad \text{a.e. in } [0,T].$$

Since $\hat{v}(\tau) \in V$, we have

$$\int_0^T \left(\sum_{i \in A} \nabla \hat{v}_i(\tau) \varphi_i(\tau, \hat{u}(\tau))'(u(\tau) - \hat{u}(\tau)) \right) d\tau \leq 0, \ \ \forall u \in \Omega. \tag{3}$$

From (1) and (3),with $h = u - \hat{u}$ we have

$$\int_0^T \sum_{j=1}^k \hat{\lambda}_j \nabla \phi_j(\tau, \hat{u}(\tau))'(u(\tau) - \hat{u}(\tau)) d\tau \geq 0, \ \ \forall u \in \Omega. \tag{4}$$

Since $\hat{\lambda}' J(\cdot)$ is pseudoconvex at $\hat{u}$ (with respect Ω), we obtain

$$\hat{\lambda}' J(\hat{u}) = \int_0^T \sum_{j=1}^k \hat{\lambda}_j \phi_j(\tau, \hat{u}(\tau)) d\tau \leq \int_0^T \sum_{j=1}^k \hat{\lambda}_j \phi_j(\tau, u(\tau)) d\tau = \hat{\lambda}' J(u), \ \ \forall u \in \Omega,$$

Therefeore, $\hat{u}$ is an optimal solution of (SCP_λ). From Lemma 4 we know that $\hat{u}$ is a properly efficient solution of (VCTPI). ◄

► **Theorem 6.** *Let $\hat{u}$ be a feasible solution of* (VCTPI). *Assume that $\phi(\tau,\cdot)$ and $\varphi(\tau,\cdot)$ are continuously differentiable with respect to their second arguments at $\hat{u}(\tau)$ throughout $[0,T]$, and there exists $(\hat{\lambda}, \hat{v}) \in \Lambda \times V$ such that $(\hat{u}, \hat{\lambda}, \hat{v})$ satisfies the following conditions:*

$$\int_0^T \left(\sum_{i=1}^k \hat{\lambda}_j \nabla \phi_j(\tau, \hat{u}(\tau)) + \sum_{i=1}^m \hat{v}_i(\tau) \nabla \varphi_i(\tau, \hat{u}(\tau)) \right)' h(\tau) d\tau = 0, \ \forall h \in L_\infty^n[0,T], \tag{5}$$

$$\hat{v}_i(\tau) \varphi_i(\tau, \hat{u}(\tau)) = 0, \ i \in I \text{ a.e. in } [0,T]. \tag{6}$$

If the function $\hat{\lambda}' J(\cdot)$ is pseudoconvex at $\hat{u}$ (with respect to Ω) and if the function $\sum_{i \in I} \hat{v}_i(\tau) \varphi_i(\tau,\cdot)$ is quasiconvex in its second argument at $\hat{u}(\tau)$ (with respect to U) throughout $[0,T]$, then $\hat{u}$ is a properly efficient solution for (VCTPI).

Proof. From (6), we have $\hat{v}_i(\tau) \varphi_i(\tau, u(\tau)) \leq \hat{v}_i(\tau) \varphi_i(\tau, \hat{u}(\tau)) = 0, \ \ i \in I, \ \ \forall u \in \Omega$ a.e. in $[0,T]$, i.e.

$$\sum_{i \in I} \hat{v}_i(\tau) \varphi_i(\tau, u(\tau)) \leq \sum_{i \in I} \hat{v}_i(\tau) \varphi_i(\tau, \hat{u}(\tau)), \ \ \forall u \in \Omega \text{ a.e. in } [0,T]. \tag{7}$$

Since $\sum_{i \in I} \hat{v}_i(\tau) \varphi_i(\tau,\cdot)$ is quasiconvex at $u(\tau) = \hat{u}(\tau)$ (with respect U) throughout $[0,T]$, (7) yields

$$\sum_{i \in I} \hat{v}_i(\tau) \nabla \varphi_i(\tau, \hat{u}(\tau))'(u(\tau) - \hat{u}(\tau)) \leq 0, \ \ \forall u \in \Omega, \text{ a.e. in } [0,T],$$

i.e.,

$$\int_0^T \sum_{i\in I} \hat{v}_i(\tau)\nabla\varphi_i(\tau,\hat{u}(\tau))'(u(\tau)-\hat{u}(\tau))d\tau \le 0, \ \ \forall u\in\Omega. \tag{8}$$

From (5) and (8), we obtain

$$\int_0^T \sum_{j\in K} \hat{\lambda}_j\nabla\phi_j(\tau,\hat{u}(\tau))'(u(\tau)-\hat{u}(\tau))\,d\tau \ge 0, \ \ \forall u\in\Omega.$$

Since $\hat{\lambda}'J(\cdot)$ is pseudoconvex at $\hat{u}$ (with respect Ω),

$$\hat{\lambda}'J(u)=\int_0^T \sum_{j\in K}\hat{\lambda}_j\phi_j(\tau,u(\tau))\,d\tau \ge \int_0^T \sum_{j\in K}\hat{\lambda}_j\phi_j(\tau,\hat{u}(\tau))\,d\tau=\hat{\lambda}'J(\hat{u}), \ \ \forall u\in\Omega.$$

Therefeore, $\hat{u}$ is an optimal solution of (SCP_λ). From Lemma 4 we know that $\hat{u}$ is a properly efficient solution of (VCTPI). ◀

▶ **Theorem 7.** *Let $\hat{u}$ be a feasible solution of* (VCTPI) *and assume that $\phi(\tau,\cdot)$ and $\varphi(\tau,\cdot)$ are continuously differentiable with respect to their second arguments at $\hat{u}(\tau)$ throughout $[0,T]$. Further, assume that there exists $(\hat{\lambda},\hat{v})\in\Lambda\times V$ such that $(\hat{u},\hat{\lambda},\hat{v})$ satisfies* (5)-(6) *and $\hat{\lambda}'J(\cdot)$ is quasiconvex at $\hat{u}$ (with respect to Ω). If the function $\sum_{i\in I}\hat{v}_i(\tau)\varphi_i(\tau,\cdot)$ is strictly pseudoconvex in its second argument at $\hat{u}(\tau)$ (with respect to U) throughout $[0,T]$, then $\hat{u}$ is a properly efficient solution for* (VCTPI).

Proof. Similarly, as in the proof Theorem 6, from (6) we have

$$\sum_{i\in I}\hat{v}_i(\tau)\varphi_i(\tau,u(\tau)) \le \sum_{i\in I}\hat{v}_i(\tau)\varphi_i(\tau,\hat{u}(\tau)), \ \ \forall u\in\Omega \text{ a.e. in } [0,T]. \tag{9}$$

Since $\sum_{i\in I}\hat{v}_i(\tau)\varphi_i(\tau,\cdot)$ is strictly pseudoconvex at $u(\tau)=\hat{u}(\tau)$ a.e. in $[0,T]$, (9) yields

$$\sum_{i\in I}\hat{v}_i(\tau)\nabla\varphi_i(\tau,\hat{u}(\tau))'(u(\tau)-\hat{u}(\tau))<0, \ \ \forall u\in\Omega, \ \text{ such that } \ u(\tau)\ne\hat{u}(\tau) \ \text{ a.e. in } \ [0,T], \ \text{ i.e.,} \tag{10}$$

$$\int_0^T \sum_{i\in I}\hat{v}_i(\tau)\nabla\varphi_i(\tau,\hat{u}(\tau))'(u(\tau)-\hat{u}(\tau))\,d\tau<0, \ \ \forall u\in\Omega. \tag{11}$$

From (5) and (10), we obtain

$$\int_0^T \sum_{j\in K}\hat{\lambda}_j(\tau)\nabla\phi_j(\tau,\hat{u}(\tau))'(u(\tau)-\hat{u}(\tau))\,d\tau>0, \ \ \forall u\in\Omega \ \text{ such that , } u\ne\hat{u}.$$

Since $\hat{\lambda}'J(\cdot)$ is quasiconvex at $\hat{u}$ (with respect to Ω),

$$\int_0^T \sum_{j\in K}\hat{\lambda}_j\phi_j(\tau,\hat{u}(\tau))\,d\tau<\sum_{j\in K}\hat{\lambda}_j\phi_j(\tau,u(\tau))\,d\tau, \ \ \forall u\in\Omega, \text{ such that } u\ne\hat{u}.$$

Therefore, we have

$$\int_0^T \sum_{j\in K}\hat{\lambda}_j\phi_j(\tau,\hat{u}(\tau))\,d\tau\le\int_0^T \sum_{j\in K}\hat{\lambda}_j\phi_j(\tau,u(\tau))\,d\tau, \ \ \forall u\in\Omega.$$

So, as in the proof of Theorem 6, we conclude that $\hat{u}$ is a properly efficient solution for (VCTPI). ◀

Let the scalar Lagrangian-type function $\mathcal{L}: D\times\mathbb{R}\times L_\infty^m[0,T]\to\mathbb{R}$ be defined by

$$\mathcal{L}(u,\hat{\lambda},\hat{v})=\int_0^T\left(\sum_{j=1}^k\hat{\lambda}_j\phi_j(\tau,u(\tau))+\sum_{i=1}^m\hat{v}_i(\tau)\varphi_i(\tau,u(\tau))\right)d\tau.$$

► **Theorem 8.** *Let $\hat{u}$ be a feasible solution of* (VCTPI) *and suppose that $\phi(\tau,\cdot)$ and $\varphi(\tau,\cdot)$ are continuously differentiable with respect to their second arguments at $\hat{u}(\tau)$ throughout $[0,T]$. If there exists $(\hat{\lambda},\hat{v}) \in \Lambda \times V$ such that $(\hat{u},\hat{\lambda},\hat{v})$ satisfies* (5)-(6)*, and if the function $\mathcal{L}(\cdot,\hat{\lambda},\hat{v})$ is pseudoconvex at $\hat{u}$ (with respect to Ω), then $\hat{u}$ is a properly efficient solution for* (VCTPI)*.*

Proof. From (5), we have the Frechet derivative of $\mathcal{L}(\cdot,\hat{\lambda},\hat{v})$ at $h = u - \hat{u}$ is

$$D(\mathcal{L};u-\hat{u}) = \int_0^T \left(\sum_{j=1}^{k} \hat{\lambda}_j \nabla \phi_j(\tau,u(\tau)) + \sum_{i=1}^{m} \hat{v}_i(\tau) \nabla \varphi_i(\tau,u(\tau)) \right)' (u(\tau)-\hat{u}(\tau))\, d\tau = 0,\ \forall u \in \Omega.$$

By the pseudoconvexity of $\mathcal{L}(\cdot,\lambda,v)$ at $\hat{u}$ (with respect to Ω), for all $u \in \Omega$ we obtain

$$\int_0^T \left(\sum_{j=1}^{k} \hat{\lambda}_j \phi_j(\tau,\hat{u}(\tau)) + \sum_{i=1}^{m} \hat{v}_i(\tau) \varphi_i(\tau,\hat{u}(\tau)) \right) d\tau \leq \int_0^T \left(\sum_{j=1}^{k} \hat{\lambda}_j \phi_j(\tau,u(\tau)) + \sum_{i=1}^{m} \hat{v}_i(\tau) \varphi_i(\tau,u(\tau)) \right) d\tau. \tag{12}$$

Condition (6) and (12) imply

$$\int_0^T \left(\sum_{j=1}^{k} \hat{\lambda}_j \phi_j(\tau,\hat{u}(\tau)) \right) d\tau \leq \int_0^T \left(\sum_{j=1}^{k} \hat{\lambda}_j \phi_j(\tau,u(\tau)) \right) d\tau,\ \forall u \in \Omega. \tag{13}$$

Hence, $\hat{u}$ is a properly efficient solution of (VCTPI). ◄

REFERENCES

[**1**] S. Nobakhtian and M. R. Pouryayevali, "Optimality criteria for nonsmooth continuous-time problems of multiobjective optimization," *J. Optim. Theory Appl.*, vol. 136, pp. 69–76, 2008.

[**2**] C. Singh, "Continuous-time multiobjective duality theory," *J. Inform. Optim. Sci.*, vol. 10, pp. 153–164, 1989.

[**3**] S. Nobakhtian, "Nonsmooth multiobjective continuous-time problems with generalized invexity," *J. Global Optim.*, vol. 43, pp. 593–606, 2009.

[**4**] S. Nobakhtian and M. R. Pouryayevali, "Duality for nonsmooth continuous-time problems of vector optimization," *J. Optim. Theory Appl.*, vol. 136, pp. 77–85, 2008.

[**5**] G. Ruiz Garzon, R. Osuna Gomez, A. Rufian Lizana, and B. Hernandez-Jimenez, "Optimality in continuous-time multiobjective optimization and vector variational-like inequalities," *TOP*, vol. 23, pp. 198–219, 2015.

[**6**] A. V. Arutyunov, S. E. Zhukovskiy, and B. Marinkovic, "Theorems of the alternative for systems of convex inequalities," *Set-Valued and Variational Analysis*, vol. 27, pp. 51–70, 2019.

[**7**] G. Zalmai, "A continuous time generalization of Gordan's Transposition Theorem," *J. Math. Anal. Appl.*, vol. 110, pp. 130–140, 1985.

[**8**] O. Mangasarian, *Nonlinear programming*. New York: McGraw-Hil, 1969.

XLVIII Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23. September 2021.
MATΦ University of Belgrade Faculty of Mathematics
Mathematical Institute SANU

SOLVING A REAL WORLD NON-CONVEX QUADRATIC ASSIGNMENT PROBLEM

BADRI TOPPUR[1]

[1] Rajalakshmi School of Business, Kuthambakkam Post, Chembarambakkam,India, badri.toppur@rsb.edu.in

Abstract: *A cellular facility layout problem for 20 parts machined at 12 work centers, was formulated as a quadratic assignment problem (QAP). A single feasible layout was selected, and the problem was solved using the Generalized Reduced Gradient (GRG) solver available as an add-in with Microsoft Excel. In this paper, we solve the same problem using the Gurobi optimizer, and obtain the global optimum, which is confirmed with a zero duality gap. Information about various cutting planes used in the branch-and-bound solution throw light on the structure of this class of problem. In addition a second feasible layout is also explored.*

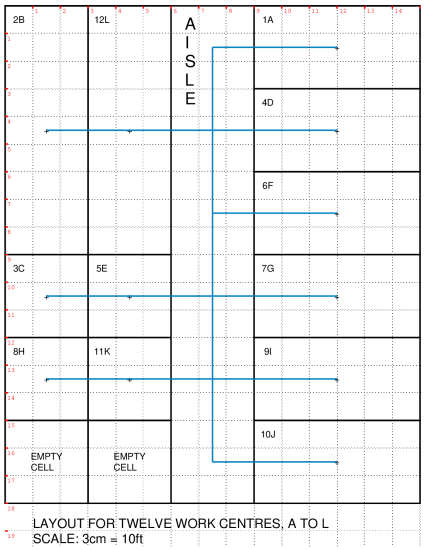
Keywords: *Facility Location, Quadratic Assignment Problem, Global Optimum, Non-Convex Objective Function*

1. INTRODUCTION

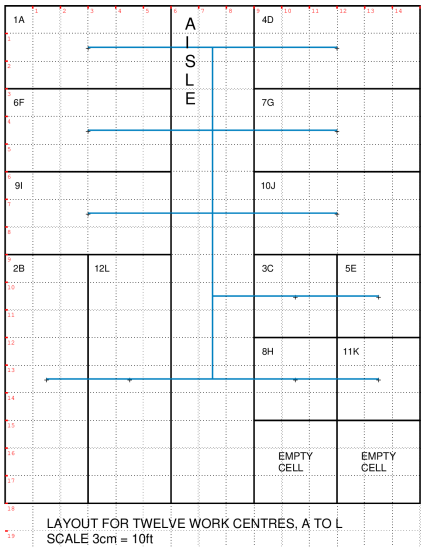
Convexity of the objective function in the Quadratic assignment problem is an issue that should not be overlooked. This is because one may obtain a local minimum, inspite of solving with multiple starting solutions to the algorithm. The eigenvalues of the matrix Q in the quadratic term x^tQx indicate whether the matrix is positive definite (PD) or positive semi-definite PSD). Also the constraint set may contain only equality constraints or may have non-linear constraints too. These factors suggest which non-linear solver is best suited for obtaining the solution. If some of the eigenvalues for the Q matrix are complex numbers, as we discover in this instance, it implies that the matrix is neither PD or PSD. This means that the objective function is not strictly convex, and that the solution that is found by an algorithm may not be the global minimum. One way to determine if a solution to a non-linear problem is the global minimum, is to solve the Lagrangian dual problem, and check if there is a duality gap. Since the matrix Q is not PSD, one cannot form *Dorn's* dual quadratic program or similar Lagrangian dual and solve it. Moreover, since the variables are binary valued for this QAP, the dual integer program is hard to interpret. A cutting plane method that is used successfully for QAPs with non-convex objective functions is the reformulation-linearization/convexification technique (RLT). The Gurobi solver uses RLT along with various other cutting plane techniques to solve the primal QAP, and also a dual formulation. Furthermore, one can observe the duality gap reduce to zero, confirming a global optimal solution.

The 12 work centres occupy area, that are given in Table 1:. The area of these work centres, are either $100ft^2$, $200ft^2$ or $300ft^2$. The overall structure of the shop-floor is two-column, and multi-row, with each column having a width of 20ft. as shown in Figure 1. There is an aisle between the two columns that is 10ft wide. Thus the workspace in the two columns can be seen as a grid of $10ft \times 10ft$ cells. One constraint that we are enforcing to model the system, is that the $100ft^2$ facilities occupy one of these $10ft \times 10ft$ cells, the $200ft^2$ facilities occupy two $10ft \times 10ft$ cells, and the $300ft^2$ facilities occupy three $10ft \times 10ft$ cells. This rules out the possibility that a part of cell being occupied by a $200ft^2$ facility that has been dimensioned as $40ft \times 50ft$ or $25ft \times 8ft$. We can easily obtain a compact layout that accommodates these 12 work centres within $2200ft^2$. The minimum vertical length required for the two columns is 60ft. Figure 1 shows two feasible layouts for the twelve work centres. The work centres have been numbered, and labelled according to the specification in Table 1:. For example, the two work centres 1 and 2, that are $300ft^2$ are labelled "2B" and "12L" on the diagram, are represented vertically, since if placed horizontally, they would obstruct the movement in the aisle. The six work centres, that are $200ft^2$ in area, (A, D, F, G, I, J), have been placed horizontally, in the second column, and they are labelled, "1A", "4D", "6F", "7G", "9I", and "10J",in the diagram. The four work centres that are $100ft^2$ (C, E, H, K), have been place below the two work centres B and L, and are labelled, "3C", "5E", "8H", and "11K". There are other placements possible, with the twelve given, work centres, but we have only considered two so far. Since our focus is more on facility location, then on facility layout, we have not shown all possible layouts. Indeed all feasible layouts for the existing plot, could be listed and searched.

Rectilinear distances between the work centres can be calculated from the centroids of the work centres. This is the more appropriate metric, compared to the Euclidean norm, since there may be automatic vehicles and robots, that move along straight lines such as along the aisle, and turn into the work centres at right angles to the aisle. In the distance matrix, the distance to the centre of the aisle, from the centroid of the cell, and also the distance along the aisle, has been added. We are also assuming that all material handling, and movement is within the



(a) Layout A for Work Centres



(b) Layout B for Work Centres

Figure 1 Two Layouts

confines of the factory perimeter, and do not allow parts to be conveyed outside a work centre and brought in again from the outside into another work centre. There are 20 parts that need to be machined at one or more of the 12 facilities. The sequence of jobs among the 12 facilities is given in Table 2:.

Table 1: Work Centre Area

Number	Work Centre	Area(Sq. ft.)
1	A	200
2	B	300
3	C	100
4	D	200
5	E	100
6	F	200
7	G	200
8	H	100
9	I	200
10	J	200
11	K	100
12	L	300

2. LITERATURE REVIEW

Rockafeller is a pioneer in Convex Analysis [2]; his classification of the objective function and constraints as convex, pseudoconvex, or quasi-convex or as strictly convex, strictly pseudo convex, or strictly quasiconvex, has helped in structuring the space of non-linear programs, with a goal of developing a methodology for solving them. This codification means that one can determine which algorithm is suitable for a certain class of problems and which will not be. According to Bazaraa, Sherali and Shetty, "the reduced gradient method was developed by Wolfe, to solve a nonlinear programming problem having linear constraints. the method was later generalized by Abadie and Carpentier to handle nonlinear constraints" [10, 14]. The recent literature for facility location problems and solution approaches are listed in the references section of the previous paper and are not repeated here [12].

Table 2: Production Sequence and Load

Product	Sequence	Load	Product	Sequence	Load
a	1–2–6–7–8–10–12	40	k	1–6–8–5–4–7–12	55
b	1–2–6–5–4–11–12	100	l	1–4–5–10–11–12	35
c	1–3–4–5–6–12	25	m	1–2–5–6–4–7–12	65
d	1–2–3–6–7–9–12	50	n	1–9–10–7–8–12	95
e	1–3–5–4–8–11–12	90	o	1–8–6–7–11–5–12	150
f	1–3–5–4–7–10–12	30	p	1–4–6–10–8–12	20
g	1–5–3–6–7–8–12	45	q	1–8–11–10–7–9–12	35
h	1–8–6–5–4–10–12	60	r	1–9–6–5–4–10–12	45
i	1–4–5–9–11–12	75	s	1–2–3–4–5–6–11–12	50
j	1–8–3–6–7–9–12	40	t	1–2–6–8–10–11–12	40

3. GENERAL QUADRATIC ASSIGNMENT MODEL

In the model mapping the facility location to the QAP, we only describe how the matrix in the quadratic objective function is formed. In the formulas below, f_{ir} is the fixed cost of locating facility i in work-centre r. Since, it was not given for the problem instance, it is assumed to be a constant for each r. The matrix element u_{ij} is the work-flow from work-centre i to work-centre j. The matrix element d_{rs} is the rectilinear distance between work-centre r and work-centre s. This is a matrix of dimension $n^2 \times n^2$ for a problem involving n facilities. The elements of the matrix are obtained from the following formulae:

$$A_{ij} = (A_{rs}^{ij}) \; (r = 1,2,\ldots,n; s = 1,2,\ldots,n) \tag{1}$$

where if $i = j$, then

$$A_{rs}^{ij} = \begin{cases} f_{ir} & if,\ r = s \\ 0 & if,\ r \neq s \end{cases} \tag{2}$$

and if $i \neq j$, then

$$A_{rs}^{ij} = \begin{cases} 0 & if,\ r = s \\ u_{ij}d_{rs} & if,\ r \neq s \end{cases} \tag{3}$$

The partitioned matrix A has the structure as given below:

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & \ldots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & \ldots & A_{2n} \\ \ldots & & & & \\ A_{n1} & A_{n2} & A_{n3} & \ldots & A_{nn} \end{bmatrix} \tag{4}$$

Let e_n be a $n \times 1$ vector of ones and let I_n be the $n \times n$ identity matrix. Furthermore, let C be the $2n \times n^2$ assignment matrix:

$$C = \begin{bmatrix} e_n^t & & & & \\ & e_n^t & & & \\ & & e_n^t & & \\ & & & \ddots & \\ & & & & e_n^t \\ I_n & I_n & I_n & \cdots & I_n \end{bmatrix} \tag{5}$$

The location problem, or Quadratic Assignment Problem is:

minimize $x^t Ax$
subject to Cx = e_{2n}
x binary

3.1. Concrete Instance

The flow matrix given in Table 3: is obtained by summing all the flows between facilities, across all the twelve parts. For example, between facilities 1 and 2, we note 40 parts of product 'a', 100 parts of product 'b', and 50 parts of product 'd', 65 parts of product 'm', 50 parts of product 's', and 40 parts of product 't', giving a total of 345 parts. We can thus calculate the aggregated flow between any two facilities. For a few facility pairs, the index of the receiving facility, is lower than the index of the sending facility, and these instances must also be Table 4: gives the rectilinear distance between the work centres, based upon the diagram in Figure 1 for the first

Table 3: Flow Matrix for Parts

Fac.	Fac.1	Fac.2	Fac.3	Fac.4	Fac.5	Fac.6	Fac.7	Fac.8	Fac.9	Fac.10	Fac.11	Fac.12
1	0	345	145	130	45	55	0	285	140	0	0	0
2	0	0	100	0	65	180	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	75	120	135	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	185	20	150	90	0	105	100	0
5	0	0	0	380	0	140	0	0	75	35	0	0
6	0	0	0	65	205	0	325	95	0	20	50	25
7	0	0	0	0	0	0	0	180	125	30	150	120
8	0	0	40	0	55	210	0	0	0	80	90	160
9	0	0	0	0	0	45	0	0	0	95	75	125
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	175
11	0	0	0	0	150	0	0	0	0	35	0	390
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

layout. Table 5: gives similar distances for the second layout.

Table 4: Rectilinear Distance between Work Centres in First Layout (in feet)

D_{ij}	WC1	WC2	WC3	WC4	WC5	WC6	WC7	WC8	WC9	WC10	WC11	WC12
WC1	-	45	65	40	55	50	60	75	70	80	65	35
WC2		-	60	35	50	45	55	70	65	70	60	10
WC3			-	55	10	45	35	50	45	55	40	50
WC4				-	45	40	50	65	60	70	55	25
WC5					-	35	25	40	35	45	30	40
WC6						-	40	55	50	60	45	35
WC7							-	45	40	50	35	45
WC8								-	35	45	10	60
WC9									-	40	25	55
WC10										-	35	75
WC11											-	50
WC12												-

4. COMPUTATIONAL RESULTS

The computer used, was a Lenovo, and had an i5 processor of 1GHz speed, with four cores, and 16GB RAM. The Gurobi optimizer used was version 9.1.1. For the first layout, the solver obtained a global optimum solution of 221,903. A total of 9,710,415 nodes were explored in 1358.68 seconds. The primal solution converges to the optimal solution much earlier than the dual solution, in fact when the duality gap is as high as 91.9%. This solution is much better than the minimum obtained from an origin start with the GRG solver, which was 268,178. We get additional information from the Gurobi execution, about the cutting planes used and the number of times they were used; implied bound:8, MIR:55, Flow Cover:135, RLT:2, and Relax-and-lift:6. This indirectly reveals the structure of the branch and bound problem. The mapping of machines (m) to workcenters (wc) was (1-10,2-12,3-4,4-9,5-5,6-7,7-6,8-2,9-8,10-3,11-1,12-11), with the notation (m-wc) meaning that the machine m is placed in workcenter wc. For the second layout, the solver obtained a global optimum solution of 226,003

Table 5: Rectilinear Distance between Work Centres in Second Layout (in feet)

D_{ij}	WC1	WC2	WC3	WC4	WC5	WC6	WC7	WC8	WC9	WC10	WC11	WC12
WC1	-	75	55	30	65	40	40	65	50	50	75	65
WC2		-	40	75	50	65	65	30	55	55	40	10
WC3			-	55	10	45	45	30	35	35	40	30
WC4				-	65	40	40	65	50	50	75	65
WC5					-	55	55	40	55	45	50	40
WC6						-	30	55	40	40	65	55
WC7							-	55	40	50	65	55
WC8								-	45	45	10	20
WC9									-	30	55	45
WC10										-	55	45
WC11											-	30
WC12												-

```
Gurobi Optimizer version 9.1.1 build v9.1.1rc0 (win64)
Thread count: 4 physical cores, 8 logical processors, using up to 8 threads
Optimize a model with 24 rows, 144 columns and 288 nonzeros
Model fingerprint: 0x772ae76a
Model has 6084 quadratic objective terms
Variable types: 0 continuous, 144 integer (144 binary)
Coefficient statistics:
  Matrix range     [1e+00, 1e+00]
  Objective range  [0e+00, 0e+00]
  QObjective range [2e+00, 9e+04]
  Bounds range     [0e+00, 0e+00]
  RHS range        [1e+00, 1e+00]
Found heuristic solution: objective 299228.00000
Presolve time: 0.04s
Presolved: 24 rows, 144 columns, 288 nonzeros
Presolved model has 6084 quadratic objective terms
Variable types: 0 continuous, 144 integer (144 binary)
```

Figure 2 Using Gurobi from RStudio

which is just a little higher than for the first layout. This solution explored 16,553,034 nodes in 1184.17 seconds. The primal converges to the optimal solution when the duality gap is 79.2%. This solution is also better than the corresponding minimum obtained from the GRG solver with an origin start, of 241,203 but by only 6.7%. The additional information that we obtain, about the number of cutting planes used is, Gomory:1, Implied bound:2, MIR:1, StrongCG:1, Flow Cover:24 and RLT:1. The mapping of the machines to work-centers is as follows (1-10,2-3,3-5,4-9,5-4,6-11,7-12,8-1,9-7,10-8,11-2,12-6).

5. CONCLUSION

Solving industrial problems using systems modelling and quantitative techniques is very complex. The modelling of the system mathematically itself is a difficult task, and requires ingenuity. In this case, mapping the facility location problem, to the quadratic assignment structure is no small feat. The next part of solving it is equally difficult. Another conclusion one may draw is that one can get a good solution with a generic solver, but if one uses the appropriate nonlinear solver for the mathematical model, the savings can be substantially better. Optimizing with a generic solver reduced the material handling cost by over 19% compared to the worst case location for both layouts; optimizing with the suitable solver reduces the cost obtained by the generic solver with an origin start by over 20% for the first layout and over 6% for the second layout. The main advantage of the Gurobi optimizer over the GRG solver implementation, is that we are sure that the solution is the global optimum.

Acknowledgment

I thank a participant of SYMOPIS-2020 for recommending the use of Gurobi optimizer. Also professor Margaret Wiecek-Walkowiak from Clemson University, USA for helpful references on the non-convexity issue.

REFERENCES

[**1**] Tari, Farhad Ghassemi & Ahadi, Khatereh. (2019). Cellular Layout Design Using Tabu Search, A Case Study. RAIRO-Oper. Res. 53, 1475–1488.

[**2**] Rockafeller, R. Tyrell. (1970). Convex Analysis, Princeton University Press.

[**3**] Lawler, Eugene L. (1963). The Quadratic Assignment Problem. Management Science, 9(4),586–599.

[**4**] Lasdon, L. S., *et al.*. (1978). Design and Testing of a Generalized Reduced Gradient Code for Non-linear Programming. ACM Transactions on Mathematical Software, 4(1), 34–50.

[**5**] Hariprasad, N., Rajyalakshmi G., & Sreenivasulu Reddy A. (2014). A Typical Manufacturing Plant Layout Design Using CRAFT algorithm. Procedia Engineering, 97, 1808–1814.

[**6**] Garey, M. R., D. S. Johnson, & R. Sethi. (1976). The complexity of the flow shop and job shop scheduling. Math. Operation Research, 1, 117–129.

[**7**] Drira, Amine, Henri Pierreval, & Sonia Hajri-Gabouj. (2006). Facility Layout Problems: A Literature Analysis, IFAC Papers Online.

[**8**] Burkard, Rainer, Mauro Dell'Amico, & Silvano Martello. (2012). Assignment Problems - Revised Reprint, Chapter 7, SIAM, Philadelphia.

[**9**] Bazaraa, Mokhtar S. (1975). The Quadratic Set Covering (Assignment) Problem: Applications and Computation. Report to NSF on Grant, GK-38337, 6–11.

[**10**] Bazaraa, Mokhtar S., H. D. Sherali, & C. M. Shetty. (2006). Nonlinear Programming - Theory and Algorithms, Wiley-Interscience, p. 602

[**11**] Balakrishnan J., & C. H. Cheng. (1998). Dynamic layout algorithms: a state-of-the-art survey. Omega The International Journal of Management Science, 26(4), 507—521.

[**12**] Toppur, Badri & S. Bharadwaj. (2020). Facility Location using a Quadratic Assignment Model, Conference proceedings of the XLVII Symposium on Operational Research, Kraljevo, Serbia.

[**13**] Adams, Warren & Waddell, Lucas. (2014). Linear programming insights into solvable cases of the quadratic assignment problem. Discrete Optimization, 14, 46–60.

[**14**] Abadie, J. (1978). Un Nouvel algorithme pour la programmation non-linéarire, R.A.I.R.O Recherche Opérationnelle,12(2) pp. 233–238, 1978b.

Meko računarstvo

Soft Computing

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

GENERIČKI ALGORITAM KLASTEROVANJA ZASNOVAN NA OPTIMIZACIJI ROJEM ČESTICA

GENERIC CLUSTER ALGORITHM BASED ON PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

DENIS ALIČIĆ[1], FILIP VIDOJEVIĆ[1], DUŠAN DŽAMIĆ[2], MIROSLAV MARIĆ[1]

[1] Matematički fakultet, Studentski trg 16, Beograd, Srbija
{denis_alicic, filip_vidojevic, maricm}@matf.bg.ac.rs

[2] Fakultet organizacionih nauka, Jova Ilića 154, Beograd, Srbija, dusan.dzamic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *U ovom radu je predložen algoritam za rešavanje problema klasterovanja zasnovan na optimaciji rojem čestica. Osnovna ideja algoritma, kao i kod algoritma K sredina, je centroid. Najvažniji parametar algoritma je funkcija kvaliteta klasterovanja koja se optimizuje i time određuje tip klastera. Jedna čestica predstavlja niz centroida dužine k, zadate kao maksimalan broj klastera. U svakoj iteraciji algoritma svakoj instanci iz skupa podataka se dodeljuje klaster na osnovu najbližeg centroida. Funkcija udaljenosti se takođe prosleđuje algoritmu i od nje zavisi oblik klastera. Zatim se primenjuje funkcija kvaliteta i na osnovu pozicije najbolje čestice i najbolje pozicije trenutne čestice vrši pomeranje centroida svakoj čestici. Prikazani su eksperimenti na nekim od najpoznatijih skupova podataka. Predloženi algoritam je nadmašio algoritam K sredina.*

Ključne reči: *klasterovanje, optimizacija, optimizacija rojem čestica, k-sredina*

Abstract: *In this paper, an algorithm for solving clustering problems based on particle swarm optimization is proposed. The basic idea of the algorithm, as with the K mean algorithm, is centroid. The most important parameter of the algorithm is the cluster quality function which is optimized and thus determines the type of cluster. One particle represents a series of centroids of length k, given as the maximum number of clusters. In each iteration of the algorithm, each instance in the data set is assigned a cluster based on the nearest centroid. The distance function is also passed to the algorithm and the shape of the cluster depends on it. Then the quality function is applied and based on the position of the best particle and the best position of the current particle, the centroid particle is moving. Experiments on some of the most well-known data sets are presented. The proposed algorithm surpassed the K mean algorithm.*

Keywords: *clustering, optimization, particle swarm optimization, k-means*

1. Uvod

Klasterovanje je jedan od najpopularnijih problema nenadgledanog učenja. Predstavlja identifikaciju i grupisanje sličnih instanci u datom skupu podataka. Primene ovog metoda su vrlo široke. Od zamene grupa njihovim predstavnicima zarad smanjenja broja instanci u skupu podataka, do detekcije raznorodnih tkiva na medicinskim snimcima i identifikaciji sličnih grupa korisnika društvenih mreža u svrhu oglašavanja.

Obzirom da za mnoge primene nije moguće jednoznačno odrediti šta je dobro klasterovanje, razvijene su različite metode klasterovanja [2]. Postojeći algoritmi se mogu svrstati u nekoliko kategorija u odnosu na vrstu i broj klastera koji su njihov rezultat. Nekim metodama se zadaje ciljni broj klastera, dok drugi kao izlaz mogu dati različit broj klastera. S druge strane, što se tiče vrste klastera koje daju kao izlaz razlikujemo: Globularne, dobro razdvojene, gustinske, hirejarhijske itd. Za više detalja pogledati [8].

Predloženi metod može u zavisnosti od njegovih parametara: funkcije sličnosti i funkcije kvaliteta, koje će biti opisane kasnije, da generiše različite vrste klastera, dok mu se kao poseban parametar zadaje maksimalan broj klastera. Algoritam je primarno zasnovan na centroidama. Centroid jednoznačno određuje jedan klaster. Pripadnost klasteru jedne instance se određuje na osnovu najbližeg centroida. Centroida ima koliko i klastera.

2. Klasterovanje kao optimizacioni problem

Kod problema klasifikacije, koji je vid nadgledanog učenja, postoje dobro definisane funkcije koje nam mogu reći kakav je kvalitet dobijenog modela. To su pre svega tačnost i preciznost, mada postoje još neke poput F mere i odziva (eng. *recall*) [11].

Klasterovanje je problem nenadgledanog učenja, tako da za konkretno grupisanje ne postoje jednoznačne funkcije koje nam sa sigurnošću mogu reći koliko je ono dobro. Ipak, postoje neke funkcije, definisane tokom vremena od raznih istraživača, koje nam mogu dati ocenu kvaliteta klasterovanja [6][5][1].

Zanimljivo je primetiti, da iako na prvi pogled ne deluje tako, algoritam K sredina se takođe može posmatrati kao optimizacioni algoritam. Funkcija koju taj algoritam optimizuje je:

$$\sum_{i=1}^{k} \sum_{x \in C_i} d(x, c_i)^2, \tag{1}$$

gde je d rastojanje, najčešće euklidsko, ali može biti i neko drugo, a c_i centroida i-tog klastera.

2.1. Funkcije evaluacije

Slično metrikama koje se koriste za evaluaciju klasifikacionih modela, postoje funkcije koje koriste informaciju o stvarnim klasama da bi ocenile kvalitet klasterovanja. Neke od njih su:

- Rand indeks,
- Homogenost,
- V-mera.

U realnim primenama stvarne klase nisu dostupne, tako da ove funkcije nisu korišćene niti prilikom implementacije algoritma, niti prilikom evaluacije, te ni u radu neće biti dalje razmatrane.
Funkcije koje su korišćene prilikom implementacija i eksperimenata su Davies-Bouldin indeks 2.1.1. i Calinski-Harabasz indeks 2.1.2. Za izračunavanje ovih funkcija potrebna je informacija o centroidima klastera i dodeli klastera svakoj instanci iz skupa podataka.

2.1.1. Davies-Bouldin indeks

Davies-Bouldin predložen u [6] definisan je kao:

$$DB = \frac{1}{c} \sum_{i=1}^{c} \max_{i \neq j} \left(\frac{\sigma_i + \sigma_j}{d(C_i, C_j)} \right), \tag{2}$$

gde je c broj klastera, σ prosečno rastojanje svih instanci unutar jednog klastera od njegovog centroida, d rastojanje (najčešće euklidsko) i C_i centroid i-tog klastera.

Minimizacijom ove funkcije po C_i dobijamo grupe koje imaju malo rastojanje unutar istog klastera, a veliko rastojanje između različitih klastera [6]. Generalno, to je ideja većine ovih funkcija zasnovanih na centroidama, s tim što na različite načine kvantifikuju rastojanja unutar klastera i između različitih klastera.
Minimalna vrednost ove funkcije je 0. Treba biti obazriv sa minimizacijom ove funkcije, jer metode sa mogućnošću povećavanja broja klastera, prilikom optimizacije ove mere teže tome da svaka tačka bude pojedinačni klaster.
U situaciji da postoji beskonačno instanci, samim tim i beskonačno klastera jer je svaka instanca poseban klaster, deo funkcije $\frac{1}{c}$ teži ka nuli, a onda i cela funkcija teži minimalnoj vrednosti.

2.1.2. Calinski-Harabasz indeks

Calinski-Harabasz indeks [5] je nešto složeniji za izračunavanje i interpretaciju. Za dati skup podataka E, veličine n_E, koji se klasteruje u k klastera, vrednost indeksa je definisana formulom:

$$s = \frac{tr(B_k)}{tr(W_k)} \times \frac{n_E - k}{k - 1}, \tag{3}$$

gde je $tr(B_k)$ trag matrice disperzije centroida klastera i $tr(W_k)$ trag matrice disperzije unutar pojedinačnog klastera.

Matrice se izračunavaju po formulama:

$$B_k = \sum_{q=1}^{k} n_q (c_q - c_E)(c_q - c_E)^T, \tag{4}$$

$$W_k = \sum_{q=1}^{k} \sum_{x \in C_q} (x - c_q)(x - c_q)^T, \tag{5}$$

gde je C_q skup instanci u klasteru q, c_q centroid klastera q, c_E centroida celog skupa instanci E i n_q broj instanci u klasteru q.

Što je ovaj indeks veći, to je klasterovanje bolje, centroidi su udaljeniji, a rastojanja unutar klastera manja. Zbog načina računanja disperzije klastera, koje se računa kao kvadriran zbir udaljenosti instance od centroida, ovaj indeks je generalno veći za konveksne klastere, što je za algoritam koji je predstavljen u ovom radu prednost jer očekivani izlaz algoritma jesu konveksni klasteri.

3. PSO algoritam

Optimizacioni algoritam je zasnovan na optimizaciji rojem čestica (eng. *Particle Swarm Optimization*) [4]. Pseudokod algoritma je prikazan na slici 1. Osnovu PSO algoritma čini jedna čestica roja. Čestica predstavlja

Algoritam 1: PSO algoritam klasterovanja

Rezultat: Broj klastera k, k centroida i dodeljivanje klastera svakoj instanci
Ulaz: Skup podataka, maksimalan broj klastera k, funkcija evaluacije, funkcija udaljenosti
Izlaz: Skup podataka sa pripadajucim klasterima, maksimum k centroida
inicijalizuj početni roj;
odredi najbolju česticu;
dok *nije postignut kriterijum zaustavlja* **čini**
  za svaki *česticu u roju* **čini**
    Ažuriraj brzinu čestice na osnovu pozicije najbolje čestice i najbolje pozicije trenutne čestice;
    Promeni poziciju čestice na osnovu izračunate brzine;
    Na osnovu funkcije udaljenosti odredi pripadnost svakoj instanci skupa odgovarajućem klasteru;
    Izračunaj funkciju evaluacije na osnovu dodeljenog klasterovanja;
    ako *nova pozicija bolja od prethodne najbolje pozicije čestice;*
     onda
      ažuriraj najbolju vrednost trenutne čestice;
    kraj
    ako *nova pozicija bolja od pozicije najbolje čestice;*
     onda
      ažuriraj poziciju najbolje čestice;
    kraj
  kraj
kraj
vrati *klasterovanje najbolje čestice, broj klastera i njene centroide*

jedno rešenje optimizacionog problema. Jednu česticu u algoritmu razvijenom za potrebe ovog rada predstavlja niz centroida klastera. Centroidi klastera zajedno sa funkcijom blizine predstavljaju jedinstveno određeno rešenje problema klasterovanja. Za svaku instancu skupa nad kojim se vrši klasterovanje se određuje pripadajući klaster kao najbliži centroid koristeći funkciju udaljenosti koja je prosleđena algoritmu kao parametar. Od prosleđene funkcije udaljenosti (euklidska distanca, kosinusna ili neka druga), zavisi oblik klastera. Algoritam je generički u smislu izbora funkcije udaljenosti i funkcije evaluacije koja se optimizuje.

Važan deo svakog algoritma optimizacije je njegova sposobnost pretrage širokog prostora rešenja u odnosu na postizanje lokalnog optimuma u nekoj manjoj oblasti. Kod PSO algoritma ovaj problem je rešen korišćenjem dva parametra koji se odnose na kognitivnu i sociološku komponentu. Kognitivna komponenta čestice daje značajnost njenoj najboljoj poziciji, dok se sociološka komponenta odnosi na najbolju poziciju celog roja. Menjanjem vrednosti ove dve komponente, koje su realni brojevi, balansira se izmedju nalaženja globalnog i

lokalnog optimuma.
Bitna karakteristika algoritma za rešavanje problema klasterovanja je njegova otpornost na prisustvo odudarajućih podataka. Otpornost predloženog algoritma najvećim delom zavisi od izbora funkcije evaluacije, tj. uticaja takvih podataka na njenu vrednost.

4. Eksperimentalni rezultati

Predloženi algoritam je testiran na poznatim skupovima podataka: IRIS i WINE. U eksperimentima su upoređeni rezultati algoritma K sredina sa PSO algoritmom. Eksperimenti su vršeni na računaru sa Intelovim i7 procesorom devete generacije, taktom procesora 2.60GHz i radnom memorijom od 32GB. Vrednosti prikazane u tabelama 1 i 2 predstavljaju vrednosti funkcija evaluacije klasterovanja, koje su detaljno opisane u 2.1.1. i 2.1.2.
Za optimizaciju obe funkcije evaluacije korišćenje su vrednosti kognitivne i sociološke komponente, 1 i 2 redom. Taj izbor govori da na jednu česticu više utiče ceo roj, tj. najbolja čestica roja, nego najbolja pozicija trenutne čestice. Veličina roja je 20 čestica i broj iteracija je 500 što je bio i kriterijum zaustavljanja.

4.1. Iris

Iris [7] je jedan od najpoznatijih skupova podataka. Sastoji se od 4 numerička atributa:
- dužina krunice,
- širina krunice,
- dužina čašice,
- širina čašice.

Primarno je namenjen za testiranje algoritama koji rešavaju problem klasifikacije jer sadrži i peti, kategorički atribut, koji predstavlja vrstu cveta iris. Skup podataka sadrži 3 klase od po 50 instanci. Za potrebe ovog rada iskorišćena su gore navedena četiri atributa bez informacije o pripadajućoj klasi.
Zanimljivo je primetiti da je za Davies-Bouldin index broj klastera 2. U sekciji 3. je naznačeno da se razvijenom algoritmu prosledjuje maksimalan broj klastera i da se taj broj može smanjiti tokom izvršavanja algoritma. Prilikom testiranja algoritma nad ovim skupom podataka za različite parametre kognitivne i sociološke komponente, broja čestica, broja iteracija itd. primećeno je da algoritam kao izlaz da 2 klastera. Analizom skupa podataka je utvrđeno da je jedna klasa linearno razdvojiva od druge dve, što je i navedeno u opisu skupa podataka [9]. Tako da se može opravdano pretpostaviti da je ovo jedno od validnih klasterovanja.
Očekivano je PSO algoritam nadmašio algoritam K sredina, jer je direktno optimizovao funkcije koje su prikazane u tabeli 1. Izvršavanje algoritma je trajalo 21.53 sekundi za optimizaciju Davies-Bouldin indeksa i 25.08 sekundi za Calinski-Harabasz indeks.

4.2. Wine

Skup podataka Wine [10] je takođe jedan od poznatih skupova. Sastoji se od 13 numeričkih atributa i ciljne klase. Atributi predstavljaju vrednosti različitih hemijskih supstanci do kojih se došlo hemijskom analizom 3 vrste vina koja potiču iz Italije. Skup se sastoji od 178 instanci. Kao i u prethodnom skupu podataka, ni u ovom nije korišćena informacija o klasi.
Algoritam je kao parametar prosleđen broj 5 kao maksimalan broj klastera. Prilikom optimizacije obe funkcije, skoro svaki put je algoritam smanjio broj klastera na 3, što itekako ima smisla s obzirom da u skupu podataka zaista postoje 3 klase i za taj broj klastera su funkcije bila minimalne. To takođe znači da su izabrane funkcije pogodne za rešavanje problema klasterovanja nad ovim skupom.
Skup podataka Wine se smatra za jedan od lakših primera problema klasifikacije, ali treba imati u vidu da je ovde reč o klasterovanju i da algoritam prilikom izvršavanju ni na koji način nije imao informaciju od broju klasa.
U tabeli 2 su prikazani rezultati izvršavanja PSO algoritma i algoritma K sredina. Očekivano, PSO je i u ovom slučaju nadmašio K sredina. Vreme potrebno za izvršavanje algortima je 63.44 i 84.64 sekunde za optimizaciju Calinski-Harabasz i Davies-Bouldin indeksa redom.

Algoritam	IRIS			
	DB		CZ	
	c	index	c	index
K Sredina	2	0.40	3	561.62
PSO	2	**0.28**	3	**601.05**

Tabela 1: Vrednosti funkcija evaluacije nad skupom podataka IRIS.

Algoritam	WINE			
	DB		CZ	
	c	index	c	index
K Sredina	3	0.53	3	561.81
PSO	3	**0.43**	3	**585.38**

Tabela 2: Vrednosti funkcija evaluacije nad skupom podataka WINE.

5. Zaključak

U ovom radu predložen je PSO algoritam za rešavanje problema klasterovanja i predstavljeni su rezulati nad skupovima podataka Iris i Wine. Predloženi su parametri razvijenog algoritma zasnovanog na optimizaciji rojem čestica za koje su dobijeni najbolji rezultati nad oba skupa podataka. Razvijeni algoritam je generički u smislu izbora funkcije koja je optimizuje i funkcije blizine dve instance, što omogućava da algoritam kao izlaz ima različite oblike i vrste klastera. Takođe, algoritam se može koristiti za određivanje broja klastera.
Buduća istraživanja bi bila usmerena ka hibridizaciji algoritma sa drugim poznatim heurističkim algoritmima globalne optimizacije i poređenju sa drugim poznatim algoritmima za rešavanje problema klasterovanja.

LITERATURA

[1] Kennedy, James and Eberhart, Russel (2020). A Novel Approach of Data Clustering Using An Improved Particle Swarm Optimization Based K–Means Clustering Algorithm. 2020 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECCT), 1-6.

[2] Xu, Rui and Wunsch, Donald (2005). Survey of clustering algorithms. IEEE Transactions on neural networks, 645-678 vol 16.

[3] Stuart P. Lloyd (1982). Least squares quantization in pcm. IEEE Transactions on Information Theory, 129-137 vol 28.

[4] Kennedy, J. and Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks, 1942-1948 vol.4.

[5] Harabasz, Calinski T and Karoński, M. (1974). Communications in Statistics - A dendrite method for cluster analysis, 1-27 vol. 3.

[6] David L. Davies and D. Bouldin (1979). A Cluster Separation Measure. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 224-227 vol. PAMI-1.

[7] Edgar Anderson (1936). The Species Problem in Iris. Annals of the Missouri Botanical Garden, 457-509, vol. 23.

[8] Nikolić M. and Zečević A. (2019). Mašinsko učenje. http://ml.matf.bg.ac.rs/readings/ml.pdf.

[9] UCI Machine Learning repository: Iris data. https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/iris, accessed: 2021-06-14.

[10] UCI Machine Learning repository: Wine data. https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/wine, accessed: 2021-06-14.

[11] Jones, K Sparck and Van Rijsbergen, Cornelis Joost (1976). Information retrieval test collections. Journal of documentation, MCB UP Ltd.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

PRIMENA TEHNIKA RAČUNARSKE INTELIGENCIJE ZA BEZBEDNOST NA RADNOM MESTU – PREGLED LITERATURE

COMPUTATIONAL INTELIGENCE TECHNIQUES FOR WORKPLACE SAFETY – LITERATURE REVIEW

PAVLE MILOŠEVIĆ[1], ARSO M. VUKIĆEVIĆ[2], MILOŠ MILOVANOVIĆ[1]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, {pavle.milosevic, milos.milovanovic}@fon.bg.ac.rs
[2] Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac, arso.m.vukicevic@gmail.com

Rezime: *Bezbednost na radu je multidisciplinarna oblast kojoj se u poslednje vreme sve više pridaje pažnje. U ovom radu dat je pregled skorašnjih rezultata koji se tiču primene tehnika računarske inteligencije u ovoj oblasti. Konkretno, analizirana je primena algoritama i metoda zasnovanih na fazi logici, veštačkim neuronskim mrežama i evolutivnom računarstvu. Najveći deo prikazanih radova je objavljen u poslednjih par godina, što govori u prilog aktuelnosti i značaja ove teme.*

Ključne reči: *Računarska inteligencija, Bezbednost na radu, Fazi logika, Veštačka neuronska mreža, Evolutivno računarstvo.*

Abstract: *Occupational safety/workplace safety is a multidisciplinary disciple that has been receiving more and more attention lately. This paper provides an overview of recent results regarding the application of computer intelligence techniques in this field. In particular, the application of algorithms and methods based on fuzzy logic, artificial neural networks and evolutionary computing is analyzed. Most of the papers considered in this study have been published in the last couple of years, which speaks in favor of the importance of this issue.*

Keywords: *Computational Intelligence, Workplace Safety, Fuzzy Logic, Artificial Neural Network, Evolutionary Computation.*

1. UVOD

Bezbednost na radu je multidisciplinarna oblast koja uključuje znanja iz medicine, bezbednosti, sociologije, ergonomije, inžinjerstva, i drugih nauka [10]. Poštovanje propisanih uslova u oblasti bezbednosti i zdravlja na radu je od izuzetnog značaja, dok oglušavanje o njih može dovesti do katastrofalnih posledica. Na primer, u Srbiji je 53 lica izgubilo život, a 779 lica je teško povređeno na radu tokom 2018. godine po podacima Uprave za bezbednost i zdravlje na radu Ministarstva za rad, zapošljavanje, boračka i socijalna pitanja. Ovoj temi se pridaje sve više pažnje, čemu ide u prilog da je u Srbiji 2019. godina proglašena godinom bezbednosti i zdravlja na radu.

Kao najveći problemi u oblasti bezbednosti na radu izdvajaju se definisanje i konceptualizacija kako kriterijuma bezbednosti na radnom mestu, tako i samih prediktora bezbednosti [5]. Stoga, bitan pravac istarživanja u ovoj oblasti je identifikacija najbitnijih faktora, kao i pravljenje modela za procenu rizika i ocenu bezbednosti na radnom mestu [2, 10, 22]. Sa pandemijom virusa COVID-19, pojavila se potreba za detaljnom anlizom i povećanom brigom za bezbednost radnika na radnim mestima koja se ranije nisu smatrala problematičnim. Takođe, izražena je potreba za detekcijom i proverom da li zaposleni nose adekvatnu zaštitnu opremu na odgovarajući način [11, 18]. Navedeni pravci istraživanja uključuju kvantifikaciju, automatizaciju i računsku obradu velikih količina podaka, što ide u prilog korišćenja računarskih metoda u ovu svrhu.

Cilj ovog rada je da pruži pregled novih trendova u oblasti bezbednosti na radu koji se ogledaju kroz primenu tehnika računarske inteligencije (RI). RI u ovom radu će se sagledavati u užem smislu, odnosno podrazumevaće fazi logiku (FL), veštačke neuronske mreže (VNM) i evolutivno računarstvo (ER) [7]. Ove tehnike su našle primenu u proceni bezbednosti samog radnog mesta, oceni potencijalnih rizika, identifikaciji i predupređivanju opasnih situacija ili nedostatka zaštitne opreme i slično. Odabrani radovi će biti ukratko prikazani i razvrstani po oblastima primene.

Ovaj rad je organinizovan na sledeći način. U drugom poglavlju ukratko će biti predstavljene teorijske osnove tehnika računarske inteligencije. U trećem poglavlju je dat pregled primene pomenutih metoda u oblasti bezbednosti na radnom mestu. Glavni zaključci i uočene prilike za dalji rad su ramzatrane u poslednjem poglavlju.

2. RAČUNARSKA INTELIGENCIJA

Pod pojmom računarske inteligencije podrazumeva se razvoj i primena biološki zasnovanih tehnika i algoritama radi implementacije inteligentnih računarskih sistema. Drugim rečima, RI izučava adaptnivne mehanizme koji imitiraju inteligentno ponašanje u kompleksnom i promenljivom okruženju [7].

Tri osnovna stuba računarske inteligencije čine fazi logika, veštačke neuronske mreže i evolutivni algoritmi. Pored ovih tehnika, neki autori smatraju i algoritme rojeva i veštačke imune sisteme kao zasebne paradigme u okviru RI [7], dok ih drugi svrstavaju u ER. U ovom radu pažnja će prevashodno biti posvećena trima osnovnim tehnikama.

2.1. Fazi logika

Pojmove fazi skupova i fazi logike uveo je Lofti Zade sredinom šezdesetih godina 20. veka [23]. Ova tehnika predstavlja izuzetno moćan matematički aparat za modelovanje i zaključivanje na osnovu nedostajućih, nepotpunih ili nedovoljno jasnih podataka. Za razliku od klasične dvovrednosne logike, FL omogućava finu gradaciju atributa/objekata pošto podržava rad sa svim vrednostima sa jediničnog intervala $[0,1]$. FL karakteriše i izuzetna deskriptivna moć, jer su u ovom pristupu podržani koncepti lingvističkih varijabli i računanja rečima [24]. Računanje rečima prestavlja fuziju priridnog jezika, odnosno uzročno posledičnih pravila iskazanih prirodnim jezikom, i računanja u fazi okviru. Ovaj način rezonovanja je izuzetno blizak ljudskom, te je stoga i intuitivan, jednostavan i razumljiv. Računanje rečima se najčešće primenjuje za modelovanje složenih realnih sistema u uslovima neodređenosti. Upravo u radu na ovakvim problemima pristupi zasnovani na fazi logici nadmašuju tradicionalne pristupe, npr. modelovanje pomoću ordinarnih i parcijalnih diferencijalnih jednačina.

Najznačajnije primene FL se ogledaju kroz razvoj i primenu sistema zasnovanih na fazi zaključivanju. U radu sa ovim sistemima se koristi pun potencijal fazi logike – gradacija vrednosti, lingvističke promenljive i verbalana pravila, kao i laka objašnjivost celog procesa zaključivanja. Takođe, FL je našla primenu u okviru mnogobrojnih tradicionalnih tehnika za podršku odlučivanju. Preciznije, tradicionalne tehnike poput analitičkog hijerarhijski procesa, TOPSIS-a i drugih su unapređene uvođenjem fazi skupova/vrednosti i fazi zaključivanja.

2.2. Veštačke neuronske mreže

Veštačka neuronska mreža je algoritam računarske inteligencije i mašinskog učenja koji, koristeći prethodno naučenu mrežnu strukturu, preslikava ulaz u izlaz i primenjuje se za rešavanje problema klasifikacije, prepoznavanja oblika i klasterovanja [12]. Razvoj veštačkih neuronskih mreža je inspirisan prirodnim nervnim sistemima zivi bića, odnosno VNM predstsavljaju njihovu uprošćenu imitaciju. Osnovna ideja na kojoj se VNM zasnivaju je da one na brz način izvršavaju složene zadatke pomoću velikog broja povezanih elemenata procesiranja koji paralelno obrađuju podatke. Ovi elementi se nazivaju neuroni, i predstavljaju osnovni gradivni element VNM [12]. Arhitekturu neuronske mreže čini skup neurona povezanih u određeni broj slojeva VNM. Svaki neuron karakteriše vektor težina kojim se množi ulazna vrednost, kao i funkcija (linearna ili nelinearna) koja transformiše vrednost dobijene linearne kombinacije. Upravo u velikom broju parametara (broj neurona i broj težinskih faktora po neuronu) i raznovsnim transformacionim funkcijama leži moć VNM. Glavna prednost VNM u odnosu na tradicionalne algoritme je to što one omogućavaju visoku efikasnost u modelovanju kompleksnih problema. S druge strane, njihova glavna manjkavost je to što nude slabo razumevanje načina rešavanja posmatranog problema [12].

Novi trendovi u razvoju veštačkih neuronskih mreža se pre svega ogledaju kroz modelovanje i primenu konvolutivnih, rekurentnih i grafovskih mreža u oblastima analize teksta, slika, zvučnih ili video signala.

2.3. Evolutivno računarstvo

Evolutivno računarstvo je zajednički naziv za skup optimizacionih heurističkih metoda koje oponašaju prirodnu evoluciju [8]. Evolucioni procesi su stohastički, odnosno karakteriše ih određeni nivo slučajnost pri operacijama reprodukcije, ukrštanja i uklanjanja jediniki iz populacije. Rad evolutivnih algoritama, odnosno sama brzina evolucije populacije, kontrolisana je vrednostima operatora mutacije i ukrštanja. Najčešće

korišćeni algoritmi evolutivnog računarstva su: genetski algoritmi, diferencijalna evolucija, neuro evolucija i dr. Neki autori i veštačke imune sisteme i algoritme rojeva, poput algoritama mravljih i pčelinjih kolonija, svrstavaju u evolutivno računarstvo, dok ih drugi smatraju posebnim paradigmama u okviru RI.

Algoritmi ER se koriste za rešavanje složenih optimizacionih problema, vrlo često u okviru različitih algoritama mašinskog učenja [9].

3. PRIMENA RI U BEZBEDNOSTI NA RADU

3.1. Primena fazi logika u bezbednosti na radu

Imajući u vidu da pri proceni bezbednosti na radnom mestu postoji niz faktora koji nisu u potpunosti jasni ili predvidivi, modeli zasnovani na fazi logici imaju veliku vrednost u ovoj oblasti . Radovi koji se odnose na primenu fazi logike i drugih fazi tehnika u oblasti bezbednosti na radu se ugrubo mogu podeliti na dve grupe: a) radovi koji za temu imaju procenu rizika po bezbednost na radnom mestu; b) radovi koji u prvi plan stavljaju faktore bezbednosti na radu i predlažu sisteme za evaluaciju.

U preglednom radu [10], autor daje sveobuhvatan osvrt na primenu klasičnih algoritama višekriterijumskog odlučivanja i njihovih fazi verzija u oblasti bezbednosti na radu. Posebna pažnja je posvećena fazi verzijama analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP), analitičkog mrežnog procesa (ANP), TOPSIS-a i VIKOR-a kao najkorišćenijim. U pregledu, autor se osvrće na radove objavljene između 2003. i 2017. godine, pri čemu je većina analiziranih radova objavljena 2014. godine ili kasnije.

Intergacija fazi AHP metode sa fazi zaključivanjem je predložena u [22]. Ovaj pristup koristi sve prednosti fazi logike i našao je primenu za procenu rizika u rudarskoj industriji. Sličan pristup za procenu rizika po bezbednost na radnom mestu korišćen je i u [13], sa razlikom da su korišćeni Pitagorejski fazi skupovi (PFS) u okviru fazi AHP metode. PFS predstavljaju generalizaciju klasičnih fazi skupova pošto u obzir uzimaju i pripadnost i nepripadnost elementa skupu. Stoga, pomoću ovog modela moguće je opisati širi spektar problematičnih situacija. Pristup je evaluiran na primeru procene rizika pri iskopavanju i pokazane su njegove prednosti u odnosu na tradicionalne modele. U [14], izučavano je neadekvatno ponašanje zaposlenih pomoću hibridnog fazi ANP-DEMETEL modela. Najpre je pomoću triangulacije detektovano je 19 glavnih faktora koji utiču na bezbednost, koji su zatim svrstani u 5 kategorija. Na kraju, zaključeno je da su najveći faktori rizika, između ostalih, nedostatak kontinuiranog nadgledanja, oštećena ili nedostatak opreme i nepovoljni ili teški uslovi rada.

S druge strane, problemom fazi sistema za upravljanje bezbednosti na radu su se bavili [6, 25]. Procena bezbednosti na radnom mestu pomoću fazi AHP i fazi TOPSIS metode bila je fokus rada [3]. Prednosti ovog pristupa demonstrirane su na primeru iz oblasti građevinske industrije. U [15], autori su se bavili unapređenjem bezbednosti na radu kroz vizuru interesnih strana. U tu svrhu korišćene su Delfi i TOPSIS metode zasnovane na fazi skupovima tipa 2. Ovi skupovi imaju veću deskriptivnu moć od klasičnih, pošto u razmatranje uzimaju i pojas nesigurnosti oko granica fazi skupova.

3.2. Primena veštačkih neuronskih mreža u bezbednosti na radu

Veštačke neuronske mreže se poslednjih godina koriste u obradi slike i video signala, pre svega za probleme detekcije i klasifikacije objekata. Kako je video nadzor postao praksa u mnogim preduzećima, prostor za primenu VNM u ovoj oblasti je evidentan.

Radove koji se bave primenom VNM u oblasti bezbednosti na radu možemo kategorisati u dve velike grupe: a) radovi koji za temu imaju problem detekcije da li zaposleni ima svu potrebnu zaštitnu opremu na sebi; b) radovi koji se bave problemom detekcije opasnih pokreta i stanja koja mogu dovesti do povreda na radu.

Kako je ranije naglašeno, nedostatak zaštitne opreme je jedan od najvećih faktora rizika za povrede na radu. Kako je većina rezultata na ovom polju posvećena fizički zahtevnim poslovima, autori u [19] su se bavili detektovanjem da li radnik nosi šlem, zaštitne naočare, masku i zaštitne slušalice. Svi ovi elementi se nalaze na glavi radnika, što u određenoj meri olakšava problem detekcije. Detekcija se vrši primenom konvolutivne VNM na slikama sa radnog mesta. Za trening algoritma kombinovane su slike iz 12 različitih skupova slika. Slična tematika, detekcija zaštitnog šlema i prsluka u realnom vremenu, obrađena je u [18]. Za svrhu treninga konvolutivne VNM korišćen je veći skup podataka u odnosu na [19]. Trenirana su 3 različita modela i njihove performanse su upoređene. Iz ugla prosečne tačnosti, najbolje se pokazao model treniran tako da u isto vreme detektuje i osobu i prisustvo zaštitne opreme na njoj. S druge strane, najbrži se pokazao pristup koji detektuje radnika primenom konvolutivne VNM, a zatim konvencionalnim metodama mašinskog učenja određuje da li radnik nosi opremu. U radu [21], autori se bave detekcijom šlema, zaštitnih

prsluka, maske i zaštitnih slušalica pomoću *transfer* učenja. Rezultati u ovom radu su nešto slabiji iz ugla tačnosti u odnosu na vrhunske radove u oblasti, ali paradigma *transfer* učenja izuzetno olaškava proceduru treniranja algoritma. Takođe, detekcija šlema pomoću VNM je tema u [11].

Video nadzor radnih mesta, osim što poslodavcu pruža mehanizam kontrole zaposlenih, može se koristiti i u svrhu evaluacije načina rada zaposlenih iz ugla bezbednog obavljanja poslova. Naime, algoritmi za estimaciju poze čoveka su našli svoju primenu u oblasti bezbednosti na radu već neko vreme. U radu [26], autori se bave prevencijom povreda manuelnih građevinskih radnika pomoću algoritma za procenu poza. Naime, autori pomoću konvolutivnih VNM vrše ekstrakciju karakteristika u vidu detektovanih 2-dimenzionih skeleta i kao 3-dimenzionih prikaza i uglova zglobova, kako bi se na osnovu njih zaključilo da li se izvršavaju rizični pokreti. Pokreti fizičkih radnika pomoću hibridnog modela zasnovanog na konvolutivnoj VNM i LSTM modela izučavani su u [17]. U ovom radu posebna pažnja je posvećena pozama radnika koji nose veliki teret, što se može smatrati posebno rizičnim situacijama. Sličnim problemom, sa akcentom na prevenciju povreda leđa, su se bavili i u [20]. Predložen je model zasnovan na dubokom konvolutivnom VNM koji po performansama značajno nadmašuje modele bazirane na višeslojnom perceptronu i konvolutivnom VNM. Model ne zahteva ekspertsko znanje, kao ni manuelnu ekstrakciju atributa.

Postoji čitav spektar radova koji se bave problemom predviđanja, detekcije ili kako se nositi sa nasiljem na radnom mestu. Takođe, za bezbednost na radnom mestu od izuzetnog značaja je kontrola pristupa zaposlenih koja je usko povezana sa softverima za identifikaciju lica zasnovanim na VNM. Ipak, ove problematike su van opsega ovog rada.

3.3. Primena evolutivnog računarstva u bezbednosti na radu

U radu [4], autori su se bavili problemom optimizacije pokreta pri potizanju tereta, a u cilju minimazacije povreda na radu. U tu svrhu korišćen je genetski algoritam. U skladu sa preporukama ergonoma, optimizovan je niz parametara od značaja za proceduru podizanja tereta kako bi se povećala produktivnost i bezbednost. Genetski algoritmi zajedno sa fazi rezonovanjem korišćeni su i u [1]. Ideja vodilja ovog rada je da preloženi model prevaziđe subjektivnost pri oceni bezbedonosnih parametara. U radu [16], autori postavljaju pitanje bezbednosti na radu u malim i srednjim preduzećima polazeći od toga da zaposlenih nisu jednako adekvatni za sve zadatke. Stoga, predložen je model zasnovan na algoritmu pčelinjih kolonija i TOPSIS metodi za raspoređivanje radnika na odgovarajuće zadatke, sa posebnim osvrtom na one opasne. Model je tesiran u okviru dva mala preduzeća i dobijeni su ohrabrujući rezultate za buduću primenu.

Takođe, treba istaći da se algoritmi evolutivnog računarstva primenjuju za podešavanje parametera u okviru algoritama višekriterijumskog odlučivanja, koji se koriste u oblasti bezbednosti na radu. Ovo predstavlja i jednu od najčešćih primena ovih algoritama.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu dat je pregled skorašnjih rezultata koji se tiču primene tehnika računarske inteligencije (fazi logike, veštačkih neuronskih mreža i evolutivnog računarstva) u oblasti bezbednosti na radu. Najveći deo prikazanih radova je objavljen u poslednjih par godina, što svakako govori u prilog aktuelnosti ove teme. Takođe, može se zaključiti da su radovi u kojima se primenjuje fazi logika za bezbednost na radu mahom objavljivani u vrhunskim časopisima iz oblasti računarskih nauka ili bezbednosti. U novijim radovima iz ove oblasti, klasični fazi skupovi su zamenjivani njihovim deskriptivno moćnijim generalizacijama, poput fazi skupova tipa 2 ili Pitagorejskih fazi skupova. S druge strane, radovi koji se odnose na primenu veštačkih neuronskih mreži u ovoj oblasti su većinski objavljivani na IEEE i drugim konferencijama. Svi obrađeni radovi su objavljeni u poslednje 3 godine, tako da se može reći da je ova tema u fokusu interesovanja. Dalje, algoritmi evolutivnog računarstva se u ovoj oblasti uglavno koriste kao sastavni deo algoritama višekriterijumskog odlučivanja, ali i zasebno na specifičnim problemima.

U eri kada se sve više teži multidisciplinarnosti za očekivati je da se nastavi rad u ovom smeru, kako kroz primenu hibridnih tako i pojedinačnih tehnika računarske inteligencije. Jedan od aspekata o kome posebno treba voditi računa je objašnjivost algoritama mašinskog učenja i računarske inteligencije prilikom njihove primene.

FINANSIRANJE: Ovaj rad je finansiran od strane Fonda za nauku Republike Srbije u okviru projekta Primena veštačke inteligencije za unapređenje bezbednosti na radu (AI4WorkplaceSafety, broj projekta 6524219).

LITERATURA

[1] Ahmed, S. M., Artuk, S. U., & Azhar, S. (2006). A Cognitive Casual Model with Genetic Algorithms for Construction Safety Improvement. In D. Fang, R. M. Choudhry, & J. W. Hinze (Eds.), Proceedings of CIB W99 International Conference on Global Unity for Safety & Health in Construction (378-384). Beijing: Tsinghua University Press.

[2] Arbaiy, N., Rahman, H. A., Salikon, M. Z. M., & Lin, P. C. (2018). Workplace safety risk assessment model based on fuzzy regression. Advanced Science Letters, 24(3), 1656-1659.

[3] Basahel, A., & Taylan, O. (2016). Using fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS approaches for assessing safety conditions at worksites in construction industry. International Journal of Safety and Security Engineering, 6(4), 728-745.

[4] Carnahan, B. J., & Redfern, M. S. (1998). Application of genetic algorithms to the design of lifting tasks. International Journal of Industrial Ergonomics, 21(2), 145-158.

[5] Christian, M. S., Bradley, J. C., Wallace, J. C., & Burke, M. J. (2009). Workplace safety: a meta-analysis of the roles of person and situation factors. Journal of Applied Psychology, 94(5), 1103-1127.

[6] Dağdeviren, M., & Yüksel, İ. (2008). Developing a fuzzy analytic hierarchy process (AHP) model for behavior-based safety management. Information Sciences, 178(6), 1717-1733.

[7] Engelbrecht, A. P. (2007). Computational Intelligence: an Introduction. Hoboken: John Wiley & Sons.

[8] Fogel, D. B. (2006). Evolutionary Computation: Toward a New Philosophy of Machine Intelligence. Hoboken: John Wiley & Sons.

[9] Goldberg, D. E., & Holland, J. H. (1988). Genetic algorithms and machine learning. Machine Learning, 3, 95-99.

[10] Gul, M. (2018). A review of occupational health and safety risk assessment approaches based on multi-criteria decision-making methods and their fuzzy versions. Human and Ecological Risk Assessment: an International Journal, 24(7), 1723-1760.

[11] Guo, S., Li, D., Wang, Z., & Zhou, X. (2020). Safety Helmet Detection Method Based on Faster R-CNN. In International Conference on Artificial Intelligence and Security (423-434). Springer, Singapore.

[12] Haykin, S. (1999). Neural Networks: A Comprehensive Foundation (2nd ed.). Upper Saddle River: Prentice Hall, Pearson Education.

[13] Ilbahar, E., Karaşan, A., Cebi, S., & Kahraman, C. (2018). A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system. Safety Science, 103, 124-136.

[14] Karuppiah, K., Sankaranarayanan, B., & Ali, S. M. (2020). A fuzzy ANP–DEMATEL model on faulty behavior risks: implications for improving safety in the workplace. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 1-18.

[15] Komatina, N., Djapan, M., Ristić, I., & Aleksić, A. (2021). Fulfilling External Stakeholders' Demands—Enhancement Workplace Safety Using Fuzzy MCDM. Sustainability, 13(5), 2892.

[16] Lazzerini, B., & Pistolesi, F. (2017). Artificial Bee Colony Optimization to Reallocate Personnel to Tasks Improving Workplace Safety. In International Workshop on Machine Learning, Optimization, and Big Data (pp. 210-221). Springer, Cham.

[17] Lee, H., Yang, K., Kim, N., & Ahn, C. R. (2020). A Hybrid CNN-LSTM Model for Detecting Excessive Load Carrying from Workers' Body Movements. In Construction Research Congress 2020: Computer Applications (1137-1145). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.

[18] Nath, N. D., Behzadan, A. H., & Paal, S. G. (2020). Deep learning for site safety: Real-time detection of personal protective equipment. Automation in Construction, 112, 103085.

[19] Pradana, R. D. W., Adhitya, R. Y., Syai'in, M., Sudibyo, R. M., Abiyoga, D. R. A., Jami'in, M. A., & Rochiem, N. H. (2019). MIdentification System of Personal Protective Equipment Using Convolutional Neural Network (CNN) Method. In 2019 International Symposium on Electronics and Smart Devices (1-6). IEEE.

[20] Snyder, K., Thomas, B., Lu, M. L., Jha, R., Barim, M. S., Hayden, M., & Werren, D. (2021). A deep learning approach for lower back-pain risk prediction during manual lifting. Plos One, 16(2), e0247162.

[21] Truong, T., Bhatt, A., Queiroz, L., Lai, K., & Yanushkevich, S. (2020). Instance Segmentation of Personal Protective Equipment using a Multi-stage Transfer Learning Process. In 2020 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (1181-1186). IEEE.

[22] Verma, S., & Chaudhri, S. (2014). Integration of fuzzy reasoning approach (FRA) and fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) for risk assessment in mining industry. Journal of Industrial Engineering and Management, 7(5), 1347-1367.

[23] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. Information and Control, 8, 338-353.

[24] Zadeh, L. A. (1999). Fuzzy logic = computing with words. In Computing with Words in Information/Intelligent Systems 1 (3-23). Heidelberg: Physica.

[25] Zheng, G., Zhu, N., Tian, Z., Chen, Y., & Sun, B. (2012). Application of a trapezoidal fuzzy AHP method for work safety evaluation and early warning rating of hot and humid environments. Safety Science, 50(2), 228-239.

[26] Zhang, H., Yan, X., & Li, H. (2018). Ergonomic posture recognition using 3D view-invariant features from single ordinary camera. Automation in Construction, 94, 1-10.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

PRIMENA HIBRIDNIH NEUTROSOFNIH RASPLINUTIH BROJEVA ZA MODELIRANJE NEIZVESNOSTI U ODLUČIVANJU

APPLICATION OF HYBRID NEUTROSOPHIC FUZZY NUMBERS FOR MODELING UNCERTAINTY IN DECISION MAKING

DRAGAN PAMUČAR[1], GORAN ĆIROVIĆ[2], NATAŠA POPOVIĆ-MILETĆ[3]

[1] Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija, Beograd, Srbija, dpamucar@gmail.com; dragan.pamucar@va.mod.gov.rs.
[2] Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija, cirovic@sezampro.rs; goran.cirovic@uns.ac.rs
[3]Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Banja Luka, BiH, natasa.popovic-miletic@aggf.unibl.org

---

Rezime: *U ovom radu prikazan je novi koncept za obradu neizvesnih informacija primenom neutrosofnih rasplinutih (NF) skupova. Rasplinuti (fuzzy) skupovi (FS) primenjuju se za obradu nesigurnosti pomoću stepena pripadnosti, dok se neutrosofni (neutrosophic) skupovi (NS) primenjuju za rešavanje nesigurnosti pomoću stepena pripadnosti istini, neodređenosti i netačnosti. U ovom radu, prikazan je novi koncept NF skupa (NFS) kombinovanjem FS sa NS. Na osnovu preliminarnih postavki NFS i Dombi normi predložen je operator za obradu neizvesnih informacija u modelima za donošenje odluka. Takođe, efektivnost predloženg pristupa demonstrirana je na numeričkom primeru.*

Ključne reči: *Rasplinuti skupovi, Neutrosofni skupovi, Dombi norme, Donošenje odluka, Neizvesnost.*

Abstract: *This paper presents a new concept for processing uncertain information using neutrosophic fuzzy sets. Fuzzy sets (FS) are applied to tackle the uncertainty using the membership grade, while neutrosophic sets (NS) are applied to tackle the uncertainty using the membership grade of truth, uncertainty, and inaccuracy. This paper presents a new concept of neutrosophic fuzzy set (NFS) by combining FS with NS. Based on the preliminary settings of the NFS and Dombi norms, an operator for processing uncertain information in decision-making models has been proposed. Also, the effectiveness of the proposed approach is demonstrated on a numerical example.*

Keywords: *Fuzzy sets, Neutrosophic sets, Dombi norms, Decision making, Uncertainty.*

1. UVOD

Rasplinuti skupovi [1], intuitivni rasplinuti skupovi (IFS) [2] i njihova uopštavanja obično se koriste za manipulisanje nepotpunim i nepreciznim informacijama. Širok pregled različitih rasplinutih tehnika višekriterijumskog odlučivanja (MCDM) dat je u Mardani et al. [3]. Međutim, rasplinuta teorija se ne smatra pogodnim alatom za manipulisanje sa neodređenim i nedoslednim informacijama koje često postoje u stvarnosti. Da bi prevazišao ove probleme, Smarandache [4] je predstavio formalni opšti okvir kao novu granu matematike koja se naziva neutrosofija (neutrosophy), i koja se bavi poreklom, prirodom i obimom neodređenosti u informacijama, kao i njihovom interakcijom sa različitim idejnim spektrom. Ideja neutrosofije zasniva se na konceptu koji uzima u obzir stepen istine, stepen neistine i stepen neodređenosti. Smarandache [4] je u neutrosofnoj logici eksplicitno definisao neodređenost i naglasio da je pripadnost istini, neodređenosti i netačnosti u svakom tvrđenju/informaciji nezavisna i neizostavna. Razmotrimo primer, gde deset glasača učestvuje u sistemu glasanja. U vremenu t_1, pretpostavimo da su dva glasa „da“, tri glasa „ne“ i pet neodlučnih. U neutrosofnoj teoriji ove informacije mogu da se prestave kao (0.2, 0.5, 0.3). Ako pretpostavimo da u vremenu t_2 imamo dva glasa „da“, tri glasa su „ne“, tri glasa koja su odustala i dva koja su neodlučna, tada takvu inforamciju možemo da predstavimo kao (0.2, 0.2, 0.3). Ovakve informacije ne mogu da se predstave primenom IFS-a, već samo NS. NS predstavlja generalizaciju ideje klasičnog skupa, FS [1], IFS [2], intervalnog intuitivnog rasplinutog skupa (IVIFS) [5] i tautološkog skupa [4]. Da bi prilagodili NS za primenu u naučnim i inženjerskim oblastima Wang et al. [10] definisali su jednoznačni neutrosofni skup (SVNS), čime je omogućena široka primena NS i SVNS u modliranju različitih naučnih problema.

U brojnim istraživanjima pokazano je da teorija rasplinutih skupova [1] može efikasno da se koristi za upravljanje nesigurnošću, dok neutrosofna teorija može efikasno da se koristi za upravljanje neodređenim i nedoslednim informacijama. Ali kada su informacije koje se obrađuju nesigurne i nedosledne, tada nijedna od teorija (FS i NS) ne može da se primeni samostalno. Umesto toga, može da se primeni hibridizacija FS i NS. Razmotrimo primer gde su seizmolozi uočili deset parametara kojima može da se definiše verovatnoća pojave zemljotresa. Među tim parametrima četiri parametra definisana kao pozitivna (mala mogućnost zemljotresa), dva kao negativna (velika mogućnost zemljotresa), a preostala četiri parametra variraju s vremenom, tj. nedosledna su. Među četiri nedosledna parametra, u vreme t_1, uočena su tri parametra, a u vreme t_2 uočen je jedan parametar. Ove dve situacije mogu da se izraze neutrosofnim brojevima (0.4, 0.3, 0.2), odnosno (0.4, 0.1, 0.2). Zbog nesavršenosti seizmoloških instrumenata, uslova za uzimanje uzoraka i različitih drugih razloga, niko ne može garantovati da su očitavanja parametara precizno navedena, već se možemo složiti da su greške tokom merenja svedene na najmanju moguću meru. Ovakve informacije predstavljaju suštinu povezivanja stepena pripadnosti rasplinutih skupova sa neutrosofnim brojevima [6]. U ovakvim sutuacijama nepotpunost i nepreciznost kod neutrosofnih brojeva može da se predstavi primenom rasplinutih funkcija pripadnosti. Hibridni koncept NFS koji kombinuje rasplinuti skup i neutrosofni skup podrazumeva primenu rasplinutih ocena pripadnosti za procenu stepena istinitosti, neodređenosti i netačnosti kriterijuma.
U ovom radu predložena je višekriterijumska metodologija za evaluaciju koja je zasnovana na novom NFS pristupu za predstvaljanje neizvesnosti u ljudskim percepcijama. Za višekriterijumsku evaluaciju izveden je jednoznačni neutrosofni rasplinuti Dombi otežani aritmetički operator (SVNFNDWAA). U cilju ilustrovanja efektivnosti predložene metodlogije, predstvaljena je empirijska studija slučaja u kojoj je prikazana i primenog višekriterijumskog okvira.

2. PRELIMINARNA RAZMATRANJA

2.1. Neutrosofni rasplinuti skupovi

Definicija 1 [7]. Neka je Y skup objekata i neka je $\tilde{A} = \{(y, \mu_{\tilde{A}}(y)), \mu_{\tilde{A}}(y) \in [0,1], y \in Y\}$ rasplinuti skup. Tada NFS *A* u *Y* može da se definiše kao $A = \{y, \mu_A(y), T_A(y,\mu), I_A(y,\mu), F_A(y,\mu)\}, y \in Y,$ gde je vrednost svake funkcije pripadnosti predstavljen pomoću isinitosti, neodređenosti, i netačnosti koje su respektivno predstavljene u narednom delu kao $T_A(y,\mu)$, $I_A(y,\mu)$ i $F_A(y,\mu)$. Tada sa $y \in Y, \{\mu_A(y), T_A(y), I_A(y), F_A(y)\}$, možemo da predstavimo neutrosofni rasplinuti broj (NFB).
Definicija 2 [6]. Neka je *Y* skup objekata i neka je $\hat{S} = \{(y, \mu_{\hat{S}}(y)), \mu_{\hat{S}}(y) \in [0,1], y \in Y\}$ rasplinuti skup. Tada jednoznačni neutrosofni rasplinuti skup (SVNFS) *S* u *Y* je predstavljen kao $S = \{y, \mu_S(y), T_S(y,\mu), I_S(y,\mu), F_S(y,\mu)\}, y \in Y,$ gde elementi ispunjavaju uslov da je $T_S(y,\mu), I_S(y,\mu), F_S(y,\mu) \in [0,1]$ i $0 \le T_S(y,\mu) + I_S(y,\mu) + F_S(y,\mu) \le 3.$

2.2. SVNF Dombi otežani aritmetički operator

Primenom Dombi operatora u NFS okruženju proces fuzije informacija je mnogo fleksibilniji u odnosu na tadicionalni min-max operator. Fleksibilnost je posledica generalnih parametara koji postoje u Dombi T-normi (TN) and T-conormi (TCN) [9].
Definicija 3 [8]. Neka su *p* i *q* dva realna broja. Tada Dombi *T*-norma i *T*-conorma između *p* i *q* može da se definiše na sledeći način:

$$O_D(p,q) = \frac{1}{1 + \left\{ \left(\frac{1-p}{p} \right)^{\rho} + \left(\frac{1-q}{q} \right)^{\rho} \right\}^{1/\rho}} \tag{1}$$

$$O_D^c(p,q) = 1 - \frac{1}{1 + \left\{ \left(\frac{p}{1-p} \right)^{\rho} + \left(\frac{q}{1-q} \right)^{\rho} \right\}^{1/\rho}} \tag{2}$$

gde je $\rho > 0$ i $(p,q) \in [0,1]$.
Na osnovu Dombi normi možemo da definišemo Dombi operacije sa SVNFB.

Definicija 4 [9]. Pretpostavimo da su $\xi_1 = \left\langle y, \mu_{\xi_1}(y), \left\{ T_{\xi_1}(y,\mu), I_{\xi_1}(y,\mu), F_{\xi_1}(y,\mu) \right\} \right\rangle$ i $\xi_2 = \left\langle y, \mu_{\xi_2}(y), \left\{ T_{\xi_2}(y,\mu), I_{\xi_2}(y,\mu), F_{\xi_2}(y,\mu) \right\} \right\rangle$ dva SVNF broja i ako pretpostavimo da je $\rho, \gamma > 0$. Operacije sa SVNF brojevima koji se baziraju na Dombi normama možemo da definišemo na sledeći način:

$$1)\ \xi_1 + \xi_2 = \left\langle \begin{pmatrix} 1 - \frac{1}{1 + \left\{ \left(\frac{\mu_{\xi_1}}{1-\mu_{\xi_1}} \right)^{\rho} + \left(\frac{\mu_{\xi_2}}{1-\mu_{\xi_2}} \right)^{\rho} \right\}^{1/\rho}}, 1 - \frac{1}{1 + \left\{ \left(\frac{T_{\xi_1}}{1-T_{\xi_1}} \right)^{\rho} + \left(\frac{T_{\xi_2}}{1-T_{\xi_2}} \right)^{\rho} \right\}^{1/\rho}}, \\ 1 - \frac{1}{1 + \left\{ \left(\frac{I_{\xi_1}}{1-I_{\xi_1}} \right)^{\rho} + \left(\frac{I_{\xi_2}}{1-I_{\xi_2}} \right)^{\rho} \right\}^{1/\rho}}, 1 - \frac{1}{1 + \left\{ \left(\frac{F_{\xi_1}}{1-F_{\xi_1}} \right)^{\rho} + \left(\frac{F_{\xi_2}}{1-F_{\xi_2}} \right)^{\rho} \right\}^{1/\rho}} \end{pmatrix} \right\rangle \quad (3)$$

$$2)\ \xi_1 \otimes \xi_2 = \left\langle \begin{pmatrix} \frac{1}{1 + \left\{ \left(\frac{1-\mu_{\xi_1}}{\mu_{\xi_1}} \right)^{\rho} + \left(\frac{1-\mu_{\xi_2}}{\mu_{\xi_2}} \right)^{\rho} \right\}^{1/\rho}}, \frac{1}{1 + \left\{ \left(\frac{1-T_{\xi_1}}{T_{\xi_1}} \right)^{\rho} + \left(\frac{1-T_{\xi_2}}{T_{\xi_2}} \right)^{\rho} \right\}^{1/\rho}}, \\ \frac{1}{1 + \left\{ \left(\frac{1-I_{\xi_1}}{I_{\xi_1}} \right)^{\rho} + \left(\frac{1-I_{\xi_2}}{I_{\xi_2}} \right)^{\rho} \right\}^{1/\rho}}, \frac{1}{1 + \left\{ \left(\frac{1-F_{\xi_1}}{F_{\xi_1}} \right)^{\rho} + \left(\frac{1-F_{\xi_2}}{F_{\xi_2}} \right)^{\rho} \right\}^{1/\rho}} \end{pmatrix} \right\rangle \quad (4)$$

$$3)\ \gamma\xi_1 = \left\langle \left(1 - \frac{1}{1 + \left\{ \left(\frac{\mu_{\xi_1}}{1-\mu_{\xi_1}} \right)^{\rho} \right\}^{1/\rho}}, 1 - \frac{1}{1 + \left\{ \left(\frac{T_{\xi_1}}{1-T_{\xi_1}} \right)^{\rho} \right\}^{1/\rho}}, 1 - \frac{1}{1 + \left\{ \left(\frac{I_{\xi_1}}{1-I_{\xi_1}} \right)^{\rho} \right\}^{1/\rho}}, 1 - \frac{1}{1 + \left\{ \left(\frac{F_{\xi_1}}{1-F_{\xi_1}} \right)^{\rho} \right\}^{1/\rho}} \right) \right\rangle ; \gamma > 0 \quad (5)$$

$$4)\ \xi_1^{\gamma} = \left\langle \left(\frac{1}{1 + \left\{ \left(\frac{1-\mu_{\xi_1}}{\mu_{\xi_1}} \right)^{\rho} \right\}^{1/\rho}}, \frac{1}{1 + \left\{ \left(\frac{1-T_{\xi_1}}{T_{\xi_1}} \right)^{\rho} \right\}^{1/\rho}}, \frac{1}{1 + \left\{ \left(\frac{1-I_{\xi_1}}{I_{\xi_1}} \right)^{\rho} \right\}^{1/\rho}}, \frac{1}{1 + \left\{ \left(\frac{1-F_{\xi_1}}{F_{\xi_1}} \right)^{\rho} \right\}^{1/\rho}} \right) \right\rangle ; \gamma > 0 \quad (6)$$

Na osnovu izraza (3)-(6), možemo da definišemo SVNF Dombi otežani aritmetički operator za osrednjavanje (SVNFNDWAA) na sledeći način.

Definicija 5. Neka $\xi_j = \left\langle y_j, \mu_{\xi_j}(y), \left\{ T_{\xi_j}(y,\mu), I_{\xi_j}(y,\mu), F_{\xi_j}(y,\mu) \right\} \right\rangle$ ($j = 1,2,...,n$) predstavlja *n* SVNF brojeva i neka $w_j \in [0,1]$ predstavlja težinski koeficijent od ξ_j $(j = 1,2,...,n)$, tada SVNFNDWAA operator (7) možemo da definišemo kao:

$$SVNFNDWAA(\xi_1, \xi_2, .., \xi_n) = \sum_{j=1}^{n} w_j \xi_j \quad (7)$$

Teorema 1. Neka $\xi_j = \left\langle y_j, \mu_{\xi_j}(y), \left\{ T_{\xi_j}(y,\mu), I_{\xi_j}(y,\mu), F_{\xi_j}(y,\mu) \right\} \right\rangle$ ($j = 1,2,...,n$)predstavlja *n* SVNF brojeva. Tada agregirane vrednosti koje dobijemo primenom izraza (7) predstavljaju SVNF brojeve. Agregirani SVNF broj možemo da dobijemo primenom sledećeg izraza:

$$SVNFNDWAA(\xi_1,\xi_2,..,\xi_n)=$$

$$=\left\langle 1-\frac{1}{1+\left\{\sum_{j=1}^{n}w_j\left(\frac{\mu_{\xi_j}}{1-\mu_{\xi_j}}\right)^{\rho}\right\}^{1/\rho}},1-\frac{1}{1+\left\{\sum_{j=1}^{n}w_j\left(\frac{T_{\xi_j}}{1-T_{\xi_j}}\right)^{\rho}\right\}^{1/\rho}},1-\frac{1}{1+\left\{\sum_{j=1}^{n}w_j\left(\frac{I_{\xi_j}}{1-I_{\xi_j}}\right)^{\rho}\right\}^{1/\rho}},1-\frac{1}{1+\left\{\sum_{j=1}^{n}w_j\left(\frac{F_{\xi_j}}{1-F_{\xi_j}}\right)^{\rho}\right\}^{1/\rho}}\right\rangle \quad (8)$$

gde $w_j\in[0,1]$ predstavlja težinski koefcijent od ξ_j ($j=1,2,...,n$), koji zadovoljava da je $\sum_{j=1}^{n}w_j=1$.

Dokaz za Teoremu 1: Ako je $n=2$, tada na osnovu Dombi operacija sa SVNF brojevima koje su predstavljene izrazima (3)-(6), dobijamo sledeće:

$$SVNFNDWAA(\xi_1,\xi_2)=\xi_1+\xi_2=$$

$$=\left\langle \begin{matrix} 1-\frac{1}{1+\left\{w_1\left(\frac{\mu_{\xi_1}}{1-\mu_{\xi_1}}\right)^{\rho}+w_2\left(\frac{\mu_{\xi_2}}{1-\mu_{\xi_2}}\right)^{\rho}\right\}^{1/\rho}},1-\frac{1}{1+\left\{w_1\left(\frac{T_{\xi_1}}{1-T_{\xi_1}}\right)^{\rho}+w_2\left(\frac{T_{\xi_2}}{1-T_{\xi_2}}\right)^{\rho}\right\}^{1/\rho}}, \\ 1-\frac{1}{1+\left\{w_1\left(\frac{I_{\xi_1}}{1-I_{\xi_1}}\right)^{\rho}+w_2\left(\frac{I_{\xi_2}}{1-I_{\xi_2}}\right)^{\rho}\right\}^{1/\rho}},1-\frac{1}{1+\left\{w_1\left(\frac{F_{\xi_1}}{1-F_{\xi_1}}\right)^{\rho}+w_2\left(\frac{F_{\xi_2}}{1-F_{\xi_2}}\right)^{\rho}\right\}^{1/\rho}}, \end{matrix}\right\rangle$$

Ako je $n=r$, tada na osnovu izraza (7), dobijamo sledeći izraz:

$$SVNFNDWAA(\xi_1,\xi_2,..,\xi_r)=$$

$$=\left\langle 1-\frac{1}{1+\left\{\sum_{j=1}^{r}w_j\left(\frac{\mu_{\xi_j}}{1-\mu_{\xi_j}}\right)^{\rho}\right\}^{1/\rho}},1-\frac{1}{1+\left\{\sum_{j=1}^{r}w_j\left(\frac{T_{\xi_j}}{1-T_{\xi_j}}\right)^{\rho}\right\}^{1/\rho}},1-\frac{1}{1+\left\{\sum_{j=1}^{r}w_j\left(\frac{I_{\xi_j}}{1-I_{\xi_j}}\right)^{\rho}\right\}^{1/\rho}},1-\frac{1}{1+\left\{\sum_{j=1}^{r}w_j\left(\frac{F_{\xi_j}}{1-F_{\xi_j}}\right)^{\rho}\right\}^{1/\rho}}\right\rangle$$

Ako je $n=r+1$, tada dobijamo sledeći izraz:

$$SVNFNDWAA(\xi_1,\xi_2,..,\xi_{r+1})$$

$$=\left\langle \begin{matrix} 1-\frac{1}{1+\left\{\sum_{j=1}^{r}w_j\left(\frac{\mu_{\xi_j}}{1-\mu_{\xi_j}}\right)^{\rho}\right\}^{1/\rho}},1-\frac{1}{1+\left\{\sum_{j=1}^{r}w_j\left(\frac{T_{\xi_j}}{1-T_{\xi_j}}\right)^{\rho}\right\}^{1/\rho}}, \\ 1-\frac{1}{1+\left\{\sum_{j=1}^{r}w_j\left(\frac{I_{\xi_j}}{1-I_{\xi_j}}\right)^{\rho}\right\}^{1/\rho}},1-\frac{1}{1+\left\{\sum_{j=1}^{r}w_j\left(\frac{F_{\xi_j}}{1-F_{\xi_j}}\right)^{\rho}\right\}^{1/\rho}} \end{matrix}\right\rangle + w_{r+1}\xi_{r+1}$$

$$=\left\langle 1-\frac{1}{1+\left\{\sum_{j=1}^{r+1}w_j\left(\frac{\mu_{\xi_j}}{1-\mu_{\xi_j}}\right)^{\rho}\right\}^{1/\rho}},1-\frac{1}{1+\left\{\sum_{j=1}^{r+1}w_j\left(\frac{T_{\xi_j}}{1-T_{\xi_j}}\right)^{\rho}\right\}^{1/\rho}},1-\frac{1}{1+\left\{\sum_{j=1}^{r+1}w_j\left(\frac{I_{\xi_j}}{1-I_{\xi_j}}\right)^{\rho}\right\}^{1/\rho}},1-\frac{1}{1+\left\{\sum_{j=1}^{r+1}w_j\left(\frac{F_{\xi_j}}{1-F_{\xi_j}}\right)^{\rho}\right\}^{1/\rho}}\right\rangle$$

Dakle, *Teorema 1* stoji za $n=r+1$, pa izraz (8) stoji za sve vrednsoti *n*.

3. PRIMENA JEDNOZNAČNOG NEUTROSOFNOG RASPLINUTOG MODELA

U narednom delu prikazana je primena SVNF modela na primeru iz građevinarstva. Jedan od načina izrade zidova armirano-betonske konstrukcije objekata je pomoću prenosne montažno-demontažne oplate. Izvođenje

zidova ovom oplatom se vrši u taktovima. Svaki takt obuhvata demontažu i montažu oplate, montažu armature i prve faze elektroinstalacija i betoniranje dela zidova na jednoj osnovi (spratu), upotrebom određenog broja panoa. Poznavanje tehnologije rada sa prenosnom oplatom pri izradi armirano-betonskih zidova stambenih objekata u polumontažnom sistemu gradnje, uz prethodno dobro proučavanje uticaja karakteristika oplate na mogućnost vremenski i ekonomski zadovoljavajućeg načina izrade konstrukcije, omogućava brzu procenu optimalnog rasporeda.

U ovom primeru se prikazuje primena SVNF skupova za opisivanje osnova objekata koji se grade sa stanovišta prenosne montažno - demontažne oplate. Suštinsko opredeljenje pri donošenju odluke koju oplatu koristiti prilikom izvođenja objekta. Pri tome su formulisani sledeći kriterijumi za procenu kvaliteta rešenja: C1 - Broj panoa, C2 - Broj taktova, C3 - Broj montažnih tavanica po taktu i spratu, i C4 - Količina betona koja se ugrađuje po taktu. Vrednosti atributa izražene su lingvistički.

U ovom istraživanju učestvovala su tri eksperta (e_i, $i=1,2,...,3$). Eksperti izvršili evaluaciju šest alternativa (oplata) A_i ($i=1,2,...,6$). Ekspertske preferencije predstavljene su pomoću lingvističke skale, Tabela 1.

Tabela 1. SVNF lingvistička skala

Lingvistička vrednost	SVNF broj
Ekstremno malo (EL)	$\langle 0.05,0.05,0.95,0.95\rangle$
Apsolutno malo (AL)	$\langle 0.15,0.15,0.90,0.90\rangle$
Vrlo malo (VL)	$\langle 0.25,0.25,0.85,0.80\rangle$
Malo (L)	$\langle 0.35,0.35,0.75,0.70\rangle$
Srednje malo (ML)	$\langle 0.45,0.45,0.65,0.60\rangle$
Srednje (E)	$\langle 0.50,0.50,0.50,0.50\rangle$
Srednje veliko (MH)	$\langle 0.60,0.60,0.35,0.40\rangle$
Veliko (H)	$\langle 0.75,0.75,0.25,0.30\rangle$
Veoma veliko (EH)	$\langle 0.85,0.85,0.10,0.10\rangle$
Apsolutno veliko (AH)	$\langle 0.95,0.95,0.05,0.05\rangle$

Ekspertska evaluacija alternativa prikazana je u Tabeli 2.

Tabela 2. Ekspertska evaluacija alternativa

Criteria	A1	A2	A3	A4	A5	A6
C1	VL,L,ML	H,L,MH	H,L,MH	E,EH,H	E,E,H	AH,EH,EH
C2	AL,AL,H	H,ML,MH	H,E,MH	E,L,L	EH,L,VL	EH,H,E
C3	E,E,E	L,E,ML	ML,E,ML	H,L,L	EH,EH,H	H,H,H
C4	E,E,VL	VL,E,ML	VL,E,ML	EL,EL,H	ML,E,EH	ML,H,EH

Agregiranu matrica odlučivanja dobijamo osrednjavanjem ekspertskih preferencija koje su prikazane u Tabeli 2. Elementi agregirane matrice definišu se primenom izraza (8). Prilikom agregacije elemenata agregirane matrice usvojena je vrednost $\rho=1$ i za sve eksperte je usvojena ista značajnost odnosno $w_i^{e_i}=1/3$ (e_i, $i=1,2,...,3$). Agregirana matrica prikazana je u narednom delu:

$$\begin{array}{c} \\ A1 \\ A2 \\ A3 \\ A4 \\ A5 \\ A6 \end{array}\begin{array}{c} C1 \\ \left[\begin{array}{c} \langle 0.360,0.360,0.778,0.723\rangle \\ \langle 0.627,0.627,0.563,0.533\rangle \\ \langle 0.627,0.627,0.563,0.533\rangle \\ \langle 0.763,0.763,0.325,0.339\rangle \\ \langle 0.625,0.625,0.438,0.447\rangle \\ \langle 0.910,0.91,0.084,0.084\rangle \end{array}\right. \end{array}\begin{array}{c} C2 \\ \begin{array}{c} \langle 0.528,0.528,0.859,0.860\rangle \\ \langle 0.639,0.639,0.476,0.464\rangle \\ \langle 0.647,0.647,0.384,0.411\rangle \\ \langle 0.409,0.409,0.700,0.654\rangle \\ \langle 0.685,0.685,0.745,0.682\rangle \\ \langle 0.763,0.763,0.325,0.339\rangle \end{array} \end{array}\begin{array}{c} C3 \\ \begin{array}{c} \langle 0.500,0.500,0.500,0.500\rangle \\ \langle 0.440,0.440,0.661,0.617\rangle \\ \langle 0.468,0.468,0.611,0.571\rangle \\ \langle 0.576,0.576,0.679,0.629\rangle \\ \langle 0.827,0.827,0.156,0.178\rangle \\ \langle 0.750,0.750,0.250,0.300\rangle \end{array} \end{array}\begin{array}{c} C4 \\ \left.\begin{array}{c} \langle 0.438,0.438,0.719,0.667\rangle \\ \langle 0.418,0.418,0.740,0.684\rangle \\ \langle 0.418,0.418,0.740,0.684\rangle \\ \langle 0.509,0.509,0.927,0.928\rangle \\ \langle 0.714,0.714,0.497,0.465\rangle \\ \langle 0.760,0.760,0.434,0.405\rangle \end{array}\right] \end{array}$$

Nakon definisanja agregirane matrice eksperti su konsenzusom definisali težinske koeficijente kriterijuma $w_j=(0.289,0.227,0.1978,0.2862)^T$. Primenom SVNFNDWAA proračunavaju se otežane funkcije korisnosti alternativa i definiše se rang.

$$
\begin{array}{c} \\ A1 \\ A2 \\ A3 \\ A4 \\ A5 \\ A6 \end{array}
\begin{array}{c}
SVNFNDWAA \\
\left[\begin{array}{c}
\langle 0.640, 0.723, 0.222, 0.360 \rangle \\
\langle 0.373, 0.533, 0.437, 0.627 \rangle \\
\langle 0.373, 0.533, 0.437, 0.627 \rangle \\
\langle 0.237, 0.339, 0.675, 0.763 \rangle \\
\langle 0.375, 0.447, 0.563, 0.625 \rangle \\
\langle 0.090, 0.084, 0.916, 0.910 \rangle
\end{array}\right]
\end{array}
$$

Na osnovu dobijenih rezultata možemo da definišemo sledeći rang alternativa A1>A5>A2=A3>A4>A6.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je novi koncept za tretiranje neizvesnosti i nejasnoća u ljudskom rezonovanju koji se bazira na kombinaciji FS i NS koncepta. Glavna karakteristika NFS-a je što može da se nosi sa nepreciznim, i sa nedoslednim informacijama, što je od velike pomoći upravljanje realnim sistemima u kojima su informacije često neodređene i nedosledne. NF broj je u ovom radu predstavljen pomoću četiri komponenete koje se sastoje od nejasnih procena pripadnosti istinitoj, neodređenoj i netačnoj komponenti. Na osnovu definisanih postavki NFS-a predstavljen je višekriterijumski operator koji se bazira na primeni Dombi normi. Na kraju je dat ilustrativan primer u kojem je prikazana primena predloženog višekriterijumskog okvira. Pošto se radi o obećavajućem konceptu, buduća istraživanja naučnici i istraživači mogu usmeriti ka povezivanju NS pristupa sa drugim proširenjima FS-a i analizirati mogućnosti primene takvih sistema u procesu donošenja odluka.

LITERATURA

[1] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. Inform and Control, 8, 338-353.

[2] Atanassov, K. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. Fuzzy Sets and Systems, 20, 87-96.

[3] Mardani, A., Jusoh, A., Zavadskas, E. K. (2015). Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications – Two decades review from 1994 to 2014. Expert Syst Appl, 42, 4126–4148.

[4] Smarandache, F. (1999). A unifying field in logics. Neutrosophy: Neutrosophic probability, set and logic. American Research Press, Rehoboth.

[5] Atanassov, K., Gargov, G. (1989). Interval valued intuitionistic fuzzy sets. Fuzzy Set Syst, 31(3), 343-349

[6] Pamucar, D., Ecer, F., Deveci, M. (2021). Assessment of alternative fuel vehicles for sustainable road transportation of United States using integrated fuzzy FUCOM and neutrosophic fuzzy MARCOS methodology. Science of the Total Environment. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147763.

[7] Das, S., Roy, B.K., Kar, M.B., Kar, S., Pamucar, D. (2020). Neutrosophic fuzzy set and its application in decision making. Ambient Intelligence and Humanized Computing, 11. https://doi.org/10.1007/s12652-020-01808-3.

[8] Mahmood, T., Warraich, M.S., Ali, Z., Pamucar, D. (2021). Generalized Multi Moora Method and Dombi Prioritized Weighted Aggregation Operators Based on T-Spherical Fuzzy Sets and Their Applications. International Journal of Intelligent Systems, https://doi.org/10.1002/int.22474.

[9] Pamucar, D., Deveci, M., Canitezd, F., Bozanic, D. (2020). A Fuzzy Full Consistency Method-Dombi-Bonferroni Model for Priorititizing Transportation Demand Management Measures. Applied Soft Computing, 87, pp. 105952. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105952

[10] Wang, H., Smarandache, F., Zhang, Y.Q., Sunderraman, R. (2010). Single valued neutrosophic sets. Multispace Multistruct, 4, 410–413.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

PRIMENA ALGORITMA FAZI *C*-SREDNJIH VREDNOSTI PRI SELEKCIJI ČLANOVA STUDENTSKE ORGANIZACIJE *CASE STUDY CLUB*

SELECTING CASE STUDY CLUB MEMBERS USING FUZZY *C*-MEANS ALGORITHM

ALEKSANDRA VUČIČEVIĆ[1], PAVLE MILOŠEVIĆ[2], ANA POLEDICA[2]

[1] Saga d.o.o., Beograd, aleksandra.vucicevic@saga.rs
[2] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, {pavle.milosevic, ana.poledica}@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Praćenje, evaluacija i predviđanje performansi studenata u okviru nastavnih i vannastavnih aktivnosti, kao i njihovo zaposlenje u budućnosti predstavljaju veoma aktuelne teme za istraživanje za akademsku zajednicu i za poslodavce. Osnovni cilj rada je grupisanje članova studentske organizacije Case Study Club na početku akademske godine kako bi se razumela svaka grupa i dalje odredila očekivanja i aktivnosti za svaku od njih. Na osnovu analize biografija studenata i evaluacije trenutnih sposobnosti studenata formiran je jedinstveni skup podataka. Pri selekciji članova studentske organizacije primenjen je algoritam fazi C-srednjih vrednosti i kao rezultat identifikovana su 3 klastera. Postignut je primarni cilj – da se izdvoje najbolji mlađi studenti, kako bi se na najbolji način koncipirao plan i program rada i gde najviše ulagati resurse. Pored toga, identifikovani su granični slučajevi tj. studenti koji mogu da pripadaju više klastera, kako bi se njihov rad dalje posebno pratio.*

Ključne reči: *klasterovanje, algoritam fazi C-srednjih vrednosti, selekcija, biografije studenata, studentska organizacija*

Abstract: *Tracking, evaluation and prediction of student performances including their curricular and extracurricular activities, as well as their future employment, are very popular topics for both researchers and practitioners. The the main goal of the paper is to cluster the individual members of the student organisation Case Study Club at the start of the academic year, in order to understand each group and to determine expectations and activities for each of them. By analysing students' biographies and evaluating threir current capabilities, a single dataset is collected and formatted. Fuzzy C-means algorithm was used for selecting and grouping members of the student organisation and, as a result, 3 clusters are identified. The main goal of the researh is achieved since the best young students were singled-out in order to create the most efficient plan and determine appropriate allocation of resources. Furthermore, edge cases, i.e. students that belong to more than a single cluster, were identified in order to specifically investigate their work.*

Keywords: *clustering, fuzzy C-means algorithm, selection, students' biographies, student organization*

1. UVOD

Praćenje, evaluacija i predviđanje performansi studenata, kako akademskog uspeha na fakultetu tako i u okviru različitih organizacija i drugih vannastavnih aktivnosti predstavljaju veoma aktuelne probleme za istraživanja u akademskim i naučnim krugovima. Sličan cilj postavljen je i u okviru studentske organizacije *Case Study Club*. *Case Study Club* je najveća studentska menadžment konsalting organizacija na Balkanu koja se bavi rešavanjem poslovnih studija slučaja i okuplja pretežno studente Fakultetu organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu. Za potrebe ovog istraživanja, a kako bismo odgovorili na pitanja rukovodstva studentske organizacije, analiza aktivnosti članova biće sprovedena korišćenjem tehnika računarske inteligencije.

U istraživanju [22] pristup zasnovan na mašinskom učenju primenjen je za praćenje i predikciju performansi studenata u okviru studijskih programa diplomskih studija. Za rešavanje problema ove prirode često se koriste nadgledane tehnike mašinskog učenja, poput stabala odlučivanja, nenadgledane, poput različitih algoritama klasterovanja, ali i polu nadgledane (eng. *semi-supervised*) tehnike [16]. U radu [11] istražuju se četiri modela u predviđanju akademskih performansi učenika na jednom predmetu – modeli višestruke linearne regresije, višeslojna neuronska mreža perceptrona, radijalne neuronske mreže i metoda potpornih vektora. Za uspešnu primenu navedenih modela, veliki značaj imaju prikupljeni podaci i odabir

odgovarajućih atributa koji najbolje opisuju studente. U radu [13], poseban akcenat stavljen je na atribute koji najviše utiču na performanse studenata, kao što su pol, mesto stanovanja, stepen obrazovanja porodice, tip školovanja studenta i oblasti u kojoj se školuje, kao i ocena i dodatnih ostvarenih uspeha. Različiti tipovi podataka, u koje pored akademskog uspeha studenata spadaju i podaci o aktivnosti studenta na kampusu i van kampusa, njihovo prikupljanje, a zatim i njihova obrada, smatraju se veoma značajnim za dalje predikcije [10]. Prema [19] faktori koji utiču na performanse studenata čine grupu osnovnih informacija o studentu i njegovom bliskom okruženju, zatim individualne performanse merene kroz motivaciju, spremnost na rad i disciplinu, ali i grupa aktivnosti u okviru studija. Značajni demografski, ali i drugi faktori koji mogu uticati na uspeh studenata prikazani su u radu [21].

U literaturi posebno se ističu različite metode klasterovanja kada je reč o studentima i praćenju i evaluaciji njihovih performansi, a zatim daljem planiranju i unapređivanju nastavnih i vannastavnih programa i sprovođenjem različitih aktivnosti. U radu [14] opisana je primena hijerarhijskog klasterovanja za evaluaciju rada studenata na jednom institutu. Tehnika rekurzivnog klasterovanja (eng. *recursive clustering technique*) takođe je primenjivana za evaluaciju u okviru kursa programiranja [4]. Celokupan proces prikupljanja podataka u obrazovanju i evaluacija studenata vršena je primenom jedne od najšire prihvaćenih metoda za klasterovanje *k*-srednjih vrednosti u radu [7]. Još jedan primer gde su korišćene metode klasterovanja studenata bio je za problem evaluacije programa u obrazovanju [12]. U radu [9] prikazan je pristup za analizu performansi studenata gde su upoređivana 4 algoritma za klasterovanje: *k*-srednjih vrednosti, *k*-modusa, fazi *C*-srednjih vrednosti i algoritam maksimizacije očekivanja, pri čemu je klasterovanje zasnovano na fazi logici pokazalo sveukupno bolje performanse.

Iako su mnogi algoritmni za klasterovanje našli primenu u rešavanju ovog problema, u najvećoj meri se ističe značajnost korišćenja mekog računarstva, a posebno klasterovanje metodom fazi *C*-srednjih vrednosti kada se govori o studentima i akademskoj zajednici [25]. Metoda fazi *C*-srednjih vrednosti biće primenjena u okviru ovog istraživanja sa ciljem da se izvrši procena i evaluacija članova studentske organizacije *Case Study Club* na početku akademske godine. Osnovna ideja je da se svi studenti koji su članovi organizacije *Case Study Club*-a grupišu na osnovu raznorodnih kriterijuma iz njihovih biografija, zatim izdvoje studenti u koje je posebno potrebno ulagati kroz buduće aktivnosti. Time bi se spoznalo gde je neophodno ulagati resurse i šta očekivati od svakog studenta, i u skladu sa tim na najbolji način koncipirao detaljan plan i program rada i prenosa znanja u okviru studentske organizacije. Takođe, značajno je da se identifikuju studenti koji predstavljaju granične slučajeve odnosno koji bi mogli da pripadnu različitim klasterima kako bi se dalje posebno pratio njihov rad i razvoj.

Nakon uvodnog dela i kratkog pregleda literature, u radu je opisan postupak klasterovanja metodom fazi *C*-srednjih vrednosti. U nastavku je detaljno predstavljen problem i proces prikupljanja i obrade podataka. Nakon predstavljanja eksperimenta i dobijenih rezultata, dat je celokupan zaključak postavljenog istraživanja.

2. KLASTEROVANJE METODOM FAZI *C*-SREDNJIH VREDNOSTI

Fazi logika predstavlja matematički aparat prilagođen za rad sa nepreciznim informacijama i, za razliku od Aristotelove logike, omogućava modelovanje parcijalne istinitosti [15]. Drugim rečima, fazi logika omogućava definisanja nivoa istinitosti iskaza ili nivoa posedovanja osobine određenog objekta radi fine gradacije [26]. Značaj fazi logike u klasterovanju se u mnogome ogleda kroz primenu metode fazi *C*-srednjih vrednosti [5]. Dok algoritmi klasičnog, tzv. tvrdog klasterovanja (eng. *hard clustering algorithms*), poput algoritma *k* srednjih vrednosti, svaki objekat dodeljuju tačno jednom klasteru, fazi klasterovanje (eng. *fuzzy clustering*), poput metode fazi *C*-srednjih vrednosti, svaki objekat dodeljuju svakom klasteru sa određenom pripadnošću [6]. Postoje mnogobrojni algoritmni za klasterovanje zasnovani na fazi logici, a njihove benefite i međusobna poređenja, kao i različitost primene mogu se pronaći u [1]. U [3], autori ističu razlike između tvrdog i fazi klasterovanja, kao i efikasnost korišćenja fazi algoritma za konkretan problem na tržištu akcija. Za neke probleme poput izučavanog u [8], tehnike tvrdog klasterovanja našle su veću primenu, dok su za druge probleme, kao i eksperimente na specifičnim skupovima podataka, fazi metode poput fazi *C*-srednjih vrednosti, pokazale bolje rezultate segmentacije [18].

Algoritam fazi *C*-srednjih vrednosti svakoj instanci dodeljuje pripadnost svakom klasteru na osnovu distance između centara klastera i same instance. Zbir pripadnosti svake instancu svakom klasteru jednak je 1. Prvi korak ovog algoritma dakle predstavlja nasumično odabiranje *C* centara klastera, izračunavanje fazi funkcije pripadnosti, a zatim i računanje fazi centara. Drugi i treći korak ponavljaju se dokle god se ne minimizira vrednost tzv. *J* funkcije [9] koja predstavlja funkciju koja sumira parnu razliku između tačaka podataka i centara klastera [1].

Jedna od primena klasterovanja metodom fazi *C*-srednjih vrednosti izložena je u radu [17] gde je predloženo povezivanje performansi studenata sa selekcijom i zapošljavanjem. U [23] nailazimo na značajnu primenu algoritama za klasterovanje za evaluaciju performansi studenata sa akcentom na klasterovanje metodom fazi *C*-srednjih vrednosti (eng. *fuzzy C-means clustering*) i poređenje sa drugim metodama klasterovanja. U [2] vidimo da je ovaj algoritam primenjen za identifikaciju preferencija studenata o učenju u *online* okruženju. Kada govorimo o studentima, značajno je naglasiti da je prilikom modelovanja potrebno uvesti i bitnost vremenske dimenzije, odnosno određeni mesec ili semestar, s obzirom na frekventne promene kod studenata [24].

3. OPIS PROBLEMA I PRIKUPLJANJE PODATAKA

Studentska organizacija *Case Study Club* je vodeća studentska menadžment konsalting organizacija na Balkanu koja okuplja pretežno studente Fakulteta organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu. Osnovna želja rukovodstva je da omogući svojim članovima da postanu lideri, najviše kroz takmičenja u rešavanju poslovne studije slučaja i kroz organizaciju projekata. Na početku svake akademske godine vrši se verifikacija članstva u organizaciji i evaluiraju se trenutne performanse svakog člana. Kako bi *Case Study Club* kreirao optimalan godišnji plan i program rada, potrebno je na početku svake godine razumeti ko su trenutni članovi, kako bi plan rada bio sastavljen tako da doprinese razvoju svakog člana i svim grupama.

Osnovni motiv ovog rada je primena tehnika računarske inteligencije kako bi se izvršila procena i evaluacija članova na početku akademske godine (odnosno u oktobru mesecu) i predvidele njihove performanse i angažmani u toku godine. Izučavani problem ovog rada je analiza biografija studenata i kreiranje grupa članova kako bi se dalje odredila očekivanja i aktivnosti za svaku grupu. Klasterovanje metodom fazi *C*-srednjih vrednosti je rađeno sa ciljem da se izdvoje najbolji mlađi studenti, kako bi se utvrdilo gde resurse najviše ulagati. Takođe, dodatna motivacija za ovaj rad je i identifikacija studenata koji iako najviše pripadaju jednom klasteru odnosno grupi, veoma lako mogu pripadati i drugom klasteru, te je za takve neophodno posebno pratiti rad i razvoj u budućnosti. Na taj način će se koristiti pun potencijal algoritma fazi klasterovanja.

Na početku akademske 2020/21. godine prikupljene su biografije svih članova, kako starijih, tako i mlađih članova koji su tek pristupili organizaciji. Na osnovu biografija kreiran je originalan skup podataka kako bi mogla da se izvrši trenutna evaluacija članova *Case Study Club*-a, izvršila selekcija i postavila očekivanja. Skup atributa koji su posmatrani iz biografija je određen ekspertski, u konsultaciji sa upravom organizacije. Na osnovu svih posmatranih atributa iz biografija, kreiran je originalni skup podataka gde je svaki student bio opisan kroz 11 atributa, gde je prvih 9 atributa jednoznačno preslikano iz biografija, dok poslednja dva atributa predstavljaju dve ocene eksperata u odnosu na stavke navedene u biografiji:

- Pol – muški ili ženski (A_1);
- Godine starosti – u opsegu od 19 do 24 (A_2);
- Godina na studijama – prva, druga, treća ili četvrta godina osnovih akademskih studija (A_3);
- Smer na studijama – student studira jedan od četiri smera na osnovnim akademskim studijama (A_4);
- Broj stranih jezika – u opsegu od 0 do 4 (A_5);
- Posedovanje sertifikata iz nekog stranog jezika – ima ili nema (A_6);
- Školovanje u inostranstvu – jeste se školovao ili nije (A_7);
- Liderstvo na nekoj aktivnosti – bio je lider ili nije bio (A_8);
- Članstvo u drugoj organizaciji – jeste član ili nije član (A_9);
- Ocena vannastavnih aktivnosti – u opsegu od 0 do 5 (A_{10});
- Ocena dodatnih veština – u opsegu od 0 do 5 (A_{11}).

Nakon kreiranja originalnog skupa podataka, sledeća faza obuhvatala je detaljniju analizu podataka i odabir atributa, kao i samo finalno sređivanje podataka i pripremu za klasterovanje. Za ovu svrhu korišćeni su *MS Excel* i programski jezik *Python*.

4. EKSPERIMENT I REZULTATI

U okviru eksperimenta analizirano je 110 članova *Case Study Club*-a koji su evaluirani na osnovu priloženih biografija. Nakon definisanja originalnog skupa podataka, svi podaci su prebačeni u numeričke vrednosti a zatim je izvršena i *min-max* normalizacija. Za potrebe detaljnijeg razumevanja podataka, izračunata je matrica korelacije između atributa. Očekivano, starost (A_2) i godina studija (A_3) su atributi koji su veoma visoko korelisani (0.829). Imajući u vidu da godina studija najviše karakteriše studenta i njegove trenutne aktivnosti i znanja, uvrštena je u dalju analizu. S obzirom da su ocene vannastavnih aktivnosti (A_{10}) i ocene

dodatnih veština (A_{11}), ocenjene ekspertski u odnosu na slične kriterijume, imaju visoku korelaciju od 0.777, za dalje razmatranje uzeta je veća ocena od te dve i atribut je nazvan ocena vannastavnih aktivnosti i veština ($A_{10\text{-}11}$).

Za određivanje optimalnog broja klastera korišćena je lakat metoda (eng. *elbow method*). Ilustracija *k* vrednosti kombinovanjem lakat metode je grafik klastera koji prikazuje njihov odnos sa greškom u modelu [20]. Primenom ove metode utvrđeno je da se instance uspešno mogu klasterovati u 3 i 5 klastera, ali da je optimalno klasterovati u 3 klastera.

U okviru ovog eksperimenta klasterovanje je vršeno metodom fazi *C*-srednjih vrednosti i korišćen je programski jezik *Python* odnosno biblioteka u okviru *fuzzy-c-means* paketa. Sprovedena su dva eksperimenta – sa i bez razmatranja atributa pol (A_1). Uočeno je da pol unosi pristrasnost u podacima i da algoritam ne može da smisleno izdvoji studente u klastere, te je nastavljena analiza studenata članova organizacije opisanih kroz preostalih 8 atributa. Sumirani razultati klasterovanja metodom fazi *C*-srednjih vrednosti prikazani su u Tabeli 1. Klaster kome student pripada određen je na osnovu najveće vrednosti pripadnosti. Sa druge strane, ekspertski je definisana jaka pripadnost klasteru u slučaju da je pripadnost veća ili jednaka 0.550. Centroidi svakog klastera prikazani su u Tabeli 2.

Tabela 1: Rezultati klasterovanja metodom fazi *C*-srednjih vrednosti – metrike klastera

Metrike klastera	**Klaster 1**	**Klaster 2**	**Klaster 3**
Broj studenata po klasteru	30	53	27
Najveća pripadnost klasteru	0.795	0.947	0.729
Najmanja pripadnost klasteru	0.419	0.399	0.448
Prosečna pripadnost klasteru	0.654	0.692	0.614
Broj studenata iznad prosečne pripadnosti klasteru	13	30	17
Broj studenata ispod pripadnosti klasteru od 0.55	4	17	6

Tabela 2: Rezultati klasterovanja metodom fazi *C*-srednjih vrednosti – centroidi klastera

Klaster	**A_3**	**A_4**	**A_5**	**A_6**	**A_7**	**A_8**	**A_9**	**$A_{10\text{-}11}$**
Klaster 1	0.586	**0.730**	0.505	0.131	**0.068**	**0.887**	0.257	**0.862**
Klaster 2	**0.590**	0.594	0.430	**0.096**	0.025	0.045	**0.061**	0.529
Klaster 3	0.557	0.727	**0.586**	0.878	0.446	0.831	0.151	0.854

Na osnovu analize rezultata klasterovanja metodom fazi *C*-srednjih može se izneti nekoliko najznačajnijih zaključaka. Najveće ocene vannastavnih aktivnosti i veština ($A_{10\text{-}11}$) imaju članovi pripadnici klastera 1, a veoma visoku ocenu imaju i članovi klastera 3, dok članovi klastera 2 uglavnom imaju niske i srednje ocene. Članovi klastera 1 su često u drugim studentskim organizacijama (A_9). Skoro svi pripadnici klastera 1 i 3 su bili lideri na nekoj aktivnosti (A_8), dok članovi klastera 2 uglavnom to nisu bili. Studenti koji su se školovali u inostranstvu (A_7), karakteristični su za klaster 3, gde je preko 50% studenata bilo na ovakvoj vrsti školovanja. Svi student klastera 3 poseduju sertifikat iz nekog jezika (A_6), dok ni jedan član iz klastera 1 nema sertifikat. Od sva 3 klastera, poznavanje različitih stranih jezika (A_5) je najmanje kod studenata koji su pripali klastera 2. Što se tiče godine na osnovnim studijama (A_4), klaster 1 u velikom meri čine samo stariji studenti tj. studenti treće i četvrte godine, slično i za treći klaster ali su prisutni i studenti druge godine, dok su u klasteru 2 uglavnom studenti prve i druge godine studija. Smer na studijama (A_3) je najistaknutiji kod klastera 1, gde je dosta studenata na smeru menadžment.

Nakon detaljnije analize predstavnika klastera, Milice (klaster 1), Danila (klaster 2) i Nikolije (klaster 3), ali i ostalih studenata u okviru klastera, izvedeno je nekoliko zaključaka. Prema pokazanim afinitetima prema vannastavnim aktivnostima i dodatnim veštinama, kao i na osnovu preferencija ka učenju stranih jezika, školovanju u inostranstvu ili želji za liderstvom, koje rukovodstvo i eksperti organizacije smatraju važnim, a uz dodatnu privrženost *Case Study Club*-u i da studenti uglavnom nisu članovi drugih organizacija, *Case Study Club* bi najviše svojih resursa trebalo da ulaže u studente koji pripadaju klasteru 3. Ovo su studenti koji nisu previše mladi, ali nisu ni stariji i imaju veoma puno iskustva i specifičnih veština i smatraju se kao veoma dobri kandidati za takmičare u rešavanju poslovne studije slučaja što je jedan od glavnih mandata ove studentske organizacije. Pripadnici klastera 2 su studenti koji imaju određene dobre predispozicije, ali imaju manje iskustva i pokazanih rezltata. U ove članove organizacija bi svakako trebalo da ulaže, ali i da bude spremna na duži rad i možda ne toliko istaknute rezultate. Ukoliko organizacija traži nešto starije i iskusnije članove, koji bi veoma dobro obavili neki zadatak, članove sa više vannastavnih aktivnosti i koji će sigurno biti dobri lideri, studenta organizacija bi trebalo da se osloni na studente pripadnike klastera 1.

5. ZAKLJUČAK

Osnovni cilj ovog rada bio je da odgovori na nekoliko pitanja: kako selektovati studente, članove studentske organizacije *Case Study Club* na početku akademske godine; kako formirati grupe studenata, razumeti svaku grupu i pojedince; kako odlučiti gde ulagati resurse i kakva očekivanja imati od studenata. Na osnovu karakteristika studenata iz njihovih biografija, primenom algoritma fazi *C*-srednjih vrednosti izvršeno je klasterovanje 110 studenata i dobijena su tri klastera koji su u nastavku identifikovani.

Primaran cilj istraživanja je postignut – da se izdvoje najbolji mlađi studenti u koje treba ulagati i za koje se planira da će se takmičiti u rešavanju poslovnih studija slučaja. Pokazalo se da su studenti iz klastera 3 najviše spremni prema specifičnim karakteristikama, znanjima i iskustvu koje poseduju, a koje se zahtevaju od eksperata i mentora organizacije. Takođe, dobijen je uvid u karakteristike studenata koji pripadaju klasteru 1 i za koje aktivnosti bi rukovodstvo *Case Study Club*-a moglo da računa na njih. Sa druge strane, značajna je informacija ko su studenti koji su pripali klasteru 1 i u skladu sa tim razumeti kako je potrebno koncipirati plan i program rada za njih. Posebno su zanimljivi rezultati dobijeni zahvaljujući fazi klasterovanju za studente koji imaju značajnu pripadnost više klastera, kako bi se posebno pratio njihov rad.

Mogućnosti za unapređenje istraživanja ogledaju se u odabiru atributa iz biografija i njihovo dalje modelovanje, ali i na proširenje skupa podataka na evidenciju o postignutom akademskom uspehu. Takođe, moguće je unapređenje kada je reč o validaciji rezultata klasterovanja ako se uzme u obzir evidencija aktivnosti članova studentske organizacije tokom semestra i na kraju akademske godine. Pored toga, dalji nastavak istraživanja može ići i u pravcu primena drugih fazi metode klasterovanja.

LITERATURA

[1] Askari, S. (2021). Fuzzy C-Means clustering algorithm for data with unequal cluster sizes and contaminated with noise and outliers: Review and development. Expert Systems with Applications, 165, 113856.

[2] Agbonifo, O. C. (2013). Fuzzy c-means clustering model for identification of students' learning preferences in online environment. International Journal of Computer Application and Information Technology, 4(1), 15-21.

[3] Al-Augby, S., Majewski, S., Majewska, A., & Nermend, K. (2014). A comparison of K-means and fuzzy C-means clustering methods for a sample of gulf cooperation council stock markets. Folia Oeconomica Stetinensia, 14(2), 19-36.

[4] Anand, V. K., Rahiman, S. A., George, E. B., & Huda, A. S. (2018). Recursive clustering technique for students' performance evaluation in programming courses. In 2018 Majan International Conference (MIC) (1-5). IEEE.

[5] Bezdek, J. C., Ehrlich, R., & Full, W. (1984). FCM: The fuzzy c-means clustering algorithm. Computers & Geosciences, 10(2-3), 191-203.

[6] Cebeci, Z., & Yildiz, F. (2015). Comparison of k-means and fuzzy c-means algorithms on different cluster structures. Agrárinformatika / Journal of Agricultural Informatics, 6(3), 13-23.

[7] Durairaj, M., & Vijitha, C. (2014). Educational data mining for prediction of student performance using clustering algorithms. International Journal of Computer Science and Information Technologies, 5(4), 5987-5991.

[8] Ghosh, S., & Dubey, S. K. (2013). Comparative analysis of k-means and fuzzy c-means algorithms. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 4(4), 35-39.

[9] Govindasamy, K., & Velmurugan, T. (2018). Analysis of student academic performance using clustering techniques. International Journal of Pure and Applied Mathematics, 119(15), 309-323.

[10] Hasan, R., Palaniappan, S., Mahmood, S., Abbas, A., Sarker, K. U., & Sattar, M. U. (2020). Predicting student performance in higher educational institutions using video learning analytics and data mining techniques. Applied Sciences, 10(11), 3894.

[11] Huang, S., & Fang, N. (2013). Predicting student academic performance in an engineering dynamics course: a comparison of four types of predictive mathematical models. Computers & Education, 61, 133-145.

[12] Merceron, A., & Yacef, K. (2004). Clustering students to help evaluate learning. In IFIP World Computer Congress, TC 3 (31-42). Springer, Boston, MA.

[13] Ramesh, V., Parkavi, P., & Ramar, K. (2013). Predicting student performance: a statistical and data mining approach. International Journal of Computer Applications, 63(8), 35-39.

[14] Rana, S., & Garg, R. (2016). Application of hierarchical clustering algorithm to evaluate students performance of an institute. In 2016 second international conference on computational intelligence & communication technology (CICT) (692-697). IEEE.

[15] Ross, T.J. (2010). Fuzzy Logic with Engineering Applications. (3th ed.). Singapore: John Wiley & Sons Ltd.

[16] Singh, I., Sabitha, A. S., & Bansal, A. (2016). Student performance analysis using clustering algorithm. In 2016 6th International Conference-Cloud System and Big Data Engineering (294-299). IEEE.

[17] Singh, I., Sabitha, S., Choudhury, T., Aggarwal, A., & Dewangan, B. K. (2020). Mapping Student Performance With Employment Using Fuzzy C-Means. International Journal of Information System Modeling and Design, 11(4), 36-52.

[18] Sivarathri, S., & Govardhan, A. (2014). Experiments on hypothesis "fuzzy k-means is better than k-means for clustering". International Journal of Data Mining & Knowledge Management Process, 4(5), 21-34.

[19] Sokkhey, P., Navy, S., Tong, L., & Okazaki, T. (2020). Multi-models of Educational Data Mining for Predicting Student Performance in Mathematics: A Case Study on High Schools in Cambodia. IEEE Transactions on Smart Processing & Computing, 9(3), 217-229.

[20] Syakur, M. A., Khotimah, B. K., Rochman, E. M. S., & Satoto, B. D. (2018, April). Integration k-means clustering method and elbow method for identification of the best customer profile cluster. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 336(1). IOP Publishing.

[21] Trstenjak, B., & Đonko, D. (2014). Determining the impact of demographic features in predicting student success in Croatia. In 2014 37th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (1222-1227). IEEE.

[22] Xu, J., Moon, K. H., & Van Der Schaar, M. (2017). A machine learning approach for tracking and predicting student performance in degree programs. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 11(5), 742-753.

[23] Yadav, R. S., & Ahmed, P. (2012). Academic performance evaluation using fuzzy C-means. International Journal of Computer Science Engineering and Information Technology Research, 2(4), 55-84.

[24] Yadav, R. S., & Singh, V. P. (2012). Modeling academic performance evaluation using fuzzy c-means clustering techniques. International Journal of Computer Applications, 60(8), 15-23.

[25] Yadav, R. S., Ahmed, P., Soni, A. K., & Pal, S. (2014). Academic performance evaluation using soft computing techniques. Current Science, 1505-1517.

[26] Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. Information and control, 8(3), 338-353.

Menadžment

Management

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

MALOPRODAJA I OPERACIONA ISTRAŽIVANJA: ISTRAŽIVAČKE PERSPEKTIVE

RETAIL AND OPERATIONS RESEARCH: RESEARCH PERSPECTIVES

ALEKSA DOKIĆ[1], MLADEN STAMENKOVIĆ[1], DRAGAN STOJKOVIĆ[1]

[1] Univerzitet u Beogradu – Ekonomski fakultet, {aleksa.dokic, mladen.stamenkovic, dragan.stojkovic}@ekof.bg.ac.rs

Rezime: *U radu analiziramo tematske celine radova istraživanja iz oblasti maloprodaje, sa fokusom na operaciona istraživanja kao metodološkom osnovnom. Cilj rada je da se na osnovu analize identifikuju dominantni istraživački pravci koji leže u preseku maloprodaje i operacionih istraživanja. Nalazi su dobijeni pretragom Journal Citation Report (JCR) baze. Krajnji doprinos rada leži u preporukama za dalji naučnoistraživački rad u ovoj oblasti.*

Ključne reči: *Operaciona istraživanja, maloprodaja*

Abstract: *We search for the key research opportunities for the operational research methods in retail. Aim of the paper is to identify key research directions for the application of operations research and management science in retailing. Our findings are based on the Journal Citation Report database and published papers using operational research in retailing. We define recommendations for future research in the area, as the key contribution of the paper.*

Keywords: *Operational Research, Retail*

1. UVOD

Oblast operacionih istraživanja jedna je od najatraktivnijih metodoloških osnova za primenu u biznisu i ekonomiji. Lanac snabdevanja je jedna od najčešće zastupljenih poslovnih tema u oblasti. Međutim, ne zaostaju ni teme iz ekonomije, poput migracija (Arandarenko et al., 2020), javnih politika (Reale, Cinelli & Sala, 2017) ili finansija (Doumpos & Figueira, 2019; Xidonas, Mavrotas & Psarras, 2009). Atraktivnost operacionih istraživanja kao metodološke osnove ogleda se u tome što se unutar svake uže naučnoistraživačke oblasti može uočiti niz atraktivnih i aktuelnih primena.

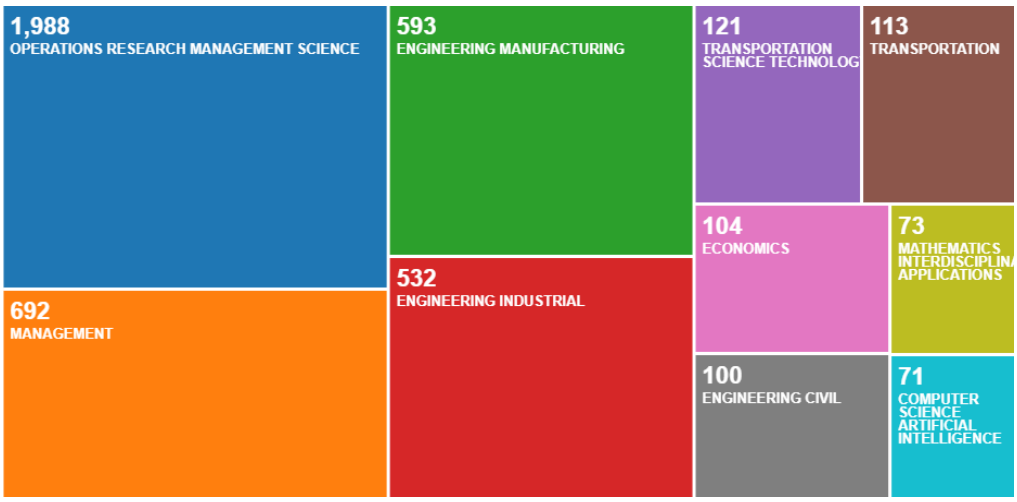
Maloprodajno poslovanje postalo je fokalna tačka primene najnovijih tehnologija, upravljačkih okvira i specijalizovanih znanja (Alexander & Blazquez Cano, 2020; Buttkus & Eberenz, 2019). Usložnjavanje internog i eksternog maloprodajnog okruženja dovelo je do toga da na tržištu opstaju samo oni koji imaju kapacitet i znanje za upravljanje velikim bazama podataka i njihovo pretakanje u efektivne poslovne odluke (Ailawadi & Farris, 2017). Usled toga, mnoge optimizacione, matematičke i statističke metodologije svoju najozbiljniju primenu nalaze upravo u domenu maloprodaje (Adivar et al., 2019). **Cilj** ovog rada je da ukaže na glavne istraživačke pravce i uputi čitaoca u ključne tematske celine u okviru maloprodajne literature usmerene na implementaciju operacionih istraživanja i menadžerskog odlučivanja. Polazeći od **pretpostavke** da je maloprodaja izuzetno diversifikovan okvir primene operacionih istraživanja, **predmet** ovog istraživanja biće analiza literature koja se bavi primenom operacionih istraživanja u okviru maloprodajne tematike.

2. JCR-WOS PERSPEKTIVA

U želji da ispitamo popularnost teme i radova iz maloprodaje u oblasti operacionih istraživanja i menadžerskog odlučivanja analizirali smo bazu JCR-WoS. Rukovodeći se principom relevantnosti, fokusirali smo se isključivo na naučne radove na SCIe/SSCI listi, koje su u u Srbiji od najvećeg interesa.

Pretragom smo želeli da obuhvatimo sve radove iz oblasti operacionih istraživanja i menadžerskog odlučivanja koji u sebi imaju reč „retail“, kako bismo pored same maloprodaje obuhvatili i termine kao što su „retailer“ ili „retailing“. Kako želimo da ispratimo aktuelne istraživačke pravce, ograničili smo pretragu na poslednjih pet godina i na časopise isključivo kotirane na SCIe/SSCI listama, analizirajući radove objavljene na engleskom jeziku. Primenom ovako definisanog upita, naša pretraga generisala je 1 988 radova[1].

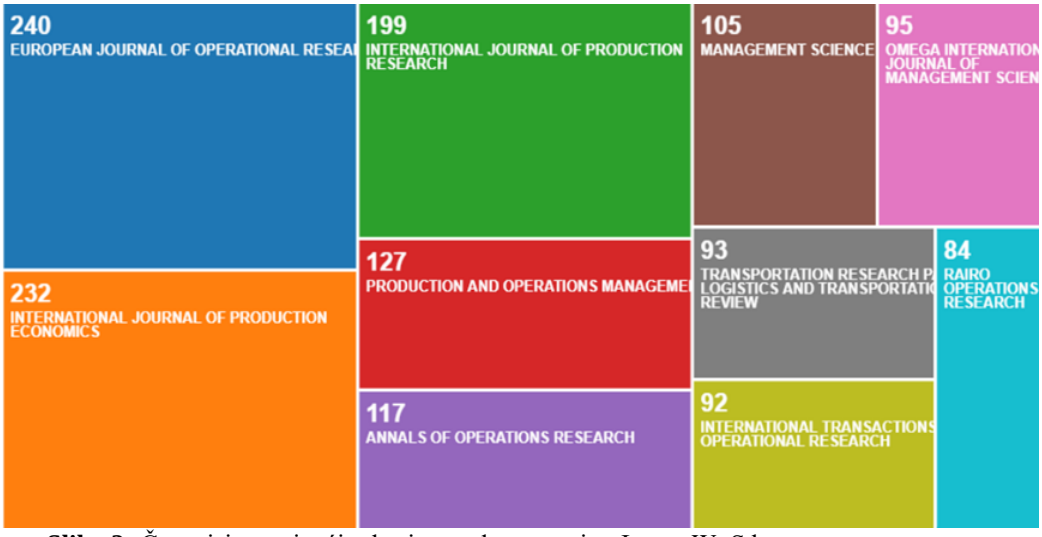
[1] Korišćen je sledeći uput: TS = "Retail*" AND SU = "Operations Research & Management Science" AND LANGUAGE: (English) AND DOCUMENT TYPES: (Article); Indexes=SCI-EXPANDED, SSCI Timespan=Last 5 years



Slika 1. Oblasti radova obuhvaćenih upitom. Izvor: WoS baza.

Pregled naučnoistraživačkih oblasti časopisa u kojima su objavljeni identifikovani radovi, usklađen sa JCR metodologijom, prikazan je na Slici 1. Radovi iz maloprodaje sa operaciono-istraživačkom orijentacijom dolaze prvenstveno iz oblasti menadžmenta, donekle očekivano.

Zanimljivo je da je veliki broj radova takođe i inženjerskog fokusa. To potvrđuje multidisciplinarnost maloprodaje, koja leži na preseku mnogobrojnih inženjerskih oblasti, poput zelenih tehnologija (Akman, 2015; AlNuaimi et al., 2021; Banaeian et al., 2015), primene IKT (Avery et al., 2012; Claro et al., 2018), razvoja proizvoda (Jagtap & Duong, 2019), automatizacije (Kao et al., 2014; Madenas et al., 2015) i sl.

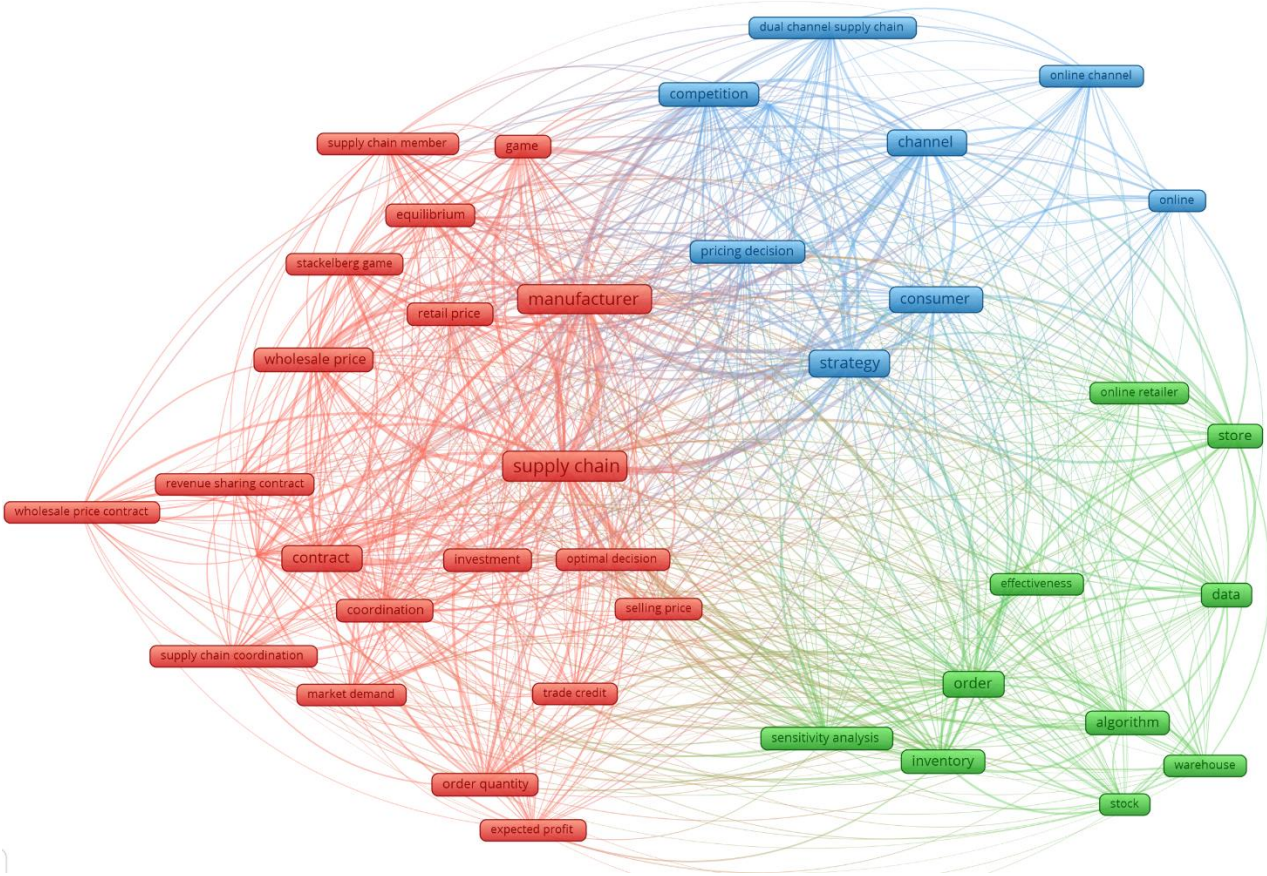


Slika 2: Časopisi sa najvećim brojem radova u upitu. Izvor: WoS baza.

Kada je o samim časopisima reč, prednjači European Journal of Operational Research (EJOR). Ovo ne treba da iznenadi, jer je EJOR jasno pokazao interesovanje za oblast maloprodaje u prethodnom periodu. Nedavno je objavljeno 17 radova u okviru specijalnog izdanja posvećenom digitalizaciji i svekanalnoj maloprodaji (engl. *Digitalization and omnichannel retailing: Innovative OR approaches for retail operations*, videti editorial, Hübner et al. 2021). Maloprodaja je prisutna i u drugim relevantnim časopisima kao što su Omega (Zhang et al., 2021; He at al., 2021), ili Decision Support Systems, gde je tema elektronske trgovine često zastupljena u novoobjavljenim radovima (Kandula, Krishnamoorthy, Roy, 2021). Autorima rada od posebnog interesa su i časopisi poput Omega: International Journal of Management Science. Ovaj časopis, pored OR&MS spada i u časopis iz kategorije menadžmenta. Slika 2 daje prikaz raspodele 1 988 radova iz upita po časopisima.

Jedan od važnih aspekata ovakvih pretraga je pregled visoko citiranih radova. Reč je o radovima sa najvećim brojem citata u oblasti, koji kao takvi daju signal o svom kvalitetu, ali ujedno i o atraktivnosti teme koju su autori obradili. Od 1 988 radova, njih 37 se vode kao visoko citirani u svojoj oblasti. Jedan od radova sa najviše citata upravo je iz oblasti višekanalne maloprodaje (Gao & Su, 2021). Najveći broj visoko citiranih radova objavljen u časopisu Management Science (npr. Bell, Gallino & Moreno, 2018; Jiang & Tian, 2018; Mehra, Kumar & Raju, 2018).

Analizirajući naslove, ključne reči i sadržaje apstrakata, primenom metodologije simultanog pojavljivanja[2] za grupisanje pojmova iz naučnoistraživačkih radova (Van Eck & Waltman, 2010; van Eck & Waltman, 2014; Waltman et al., 2010), izdvojili smo najfrekventnijih 38 pojmova. Takođe, primenom klaster analize, ove pojmove grupisali smo u tri tematska klastera. Mrežni raspored ovih pojmova, međusobnih relacija i pripadnost tematskom klasteru prikazan je na Slici 3.



Slika 3: Najrelevantniji pojmovi u analiziranoj literaturi.

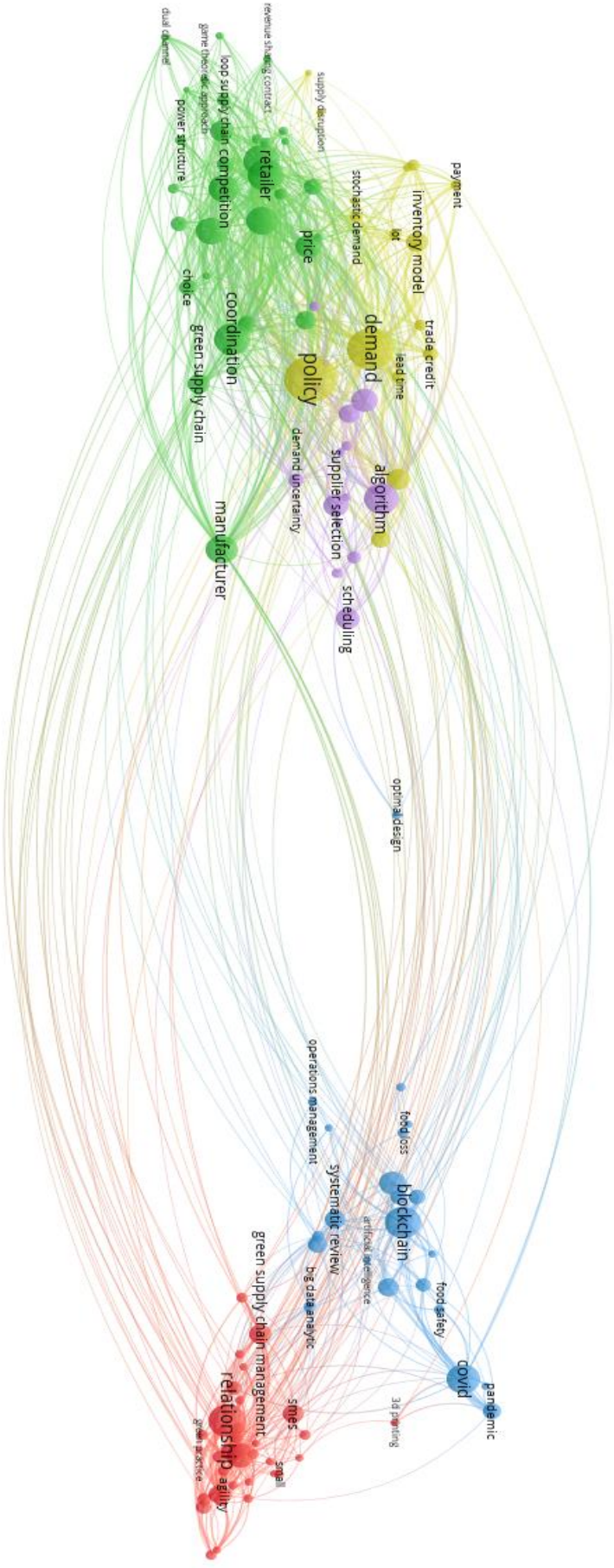
Ovaj vid analize je dobar način za razumevanje dominantnih istraživačkih pravaca u literaturi. Na osnovu Slike 3, možemo primetiti da se tri uočena tematska klastera grupišu oko sledećih ključnih pojmova: podaci, kanali marketinga i lanac snabdevanja. U slučaju maloprodajne tematike u okvirima operacionih istraživanja, ovi pojmovi zapravo predstavljaju nivoe izučavanja specifičnih izazova maloprodajnog poslovanja.

Prvi, početni nivo podrazumeva ispitivanje i razumevanje konkretnih funkcionalnih aspekata, poput upravljanja zalihama, nabavke, poslovanja prodavnice i skladištenja. Poslovni podaci, tačnije upravljanje istim, predstavljaju vezivni element svih ovih istraživačkih tema. Stoga prvi klaster (zelena boja) sadrži algoritme i analize (poput senzitivnosti) za izučavanje podataka.

Drugi tematski klaster (plava boja) nastaje prebacivanjem istraživačke perspektive sa pojedinih funkcionalnih momenata na strateški nivo. To podrazumeva izučavanje pojedinih kanala marketinga, tj. same strategije kanala marketinga koju primenjuje maloprodavac. Usled rapidnog razvoja informaciono-komunikacionih tehnologija, kao i evidentnih promena u ponašanju kupaca, koji sve više praktikuju višekanalnu kupovinu, jasna je aktuelizacija razvoja elektronskih kanala prodaje, strategije dualnih kanala, kao i analiza konkurencije i ponašanja kupaca u višekanalnom okruženju.

Analiza je pokazala da je *treći* klaster (crvena boja) koji je usmeren na istraživanje lanaca snabdevanja izuzetno heterogen. Lanac snabdevanja povezuje tržišne aktere i obuhvata njihove međusobne relacije. Sumirajući mnogobrojne uočene teme, naziru se istraživački pravci, poput izučavanja odnosa između članova lanca snabdevanja, koordinacije lanca snabdevanja, kao i poslovnog odlučivanja, prvenstveno u domenu određivanja cena, nivoa investiranja, obima i dinamike poručivanja.

[2] engl. *co-occurence.*



Slika 4: Najrelevantniji pojmovi u analiziranoj literaturi iz oblasti lanca snabdevanja.

Prikazani pregled je u određenoj meri preširokog obuhvata, naročito u domenu literature posvećene analizi lanca snabdevanja. Kako bismo dodatno precizirali istraživačke pravce u okviru radova posvećenih lancima snabdevanja, analiza literature je upotpunjena dodatnim pregledom JCR-WoS baze. Prateći princip relevantnosti i aktuelnosti, pretraga je pokrila period od 2017. do 2021. godine, obuhvatajući sledeće indeksirane baze: SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI. Razmatrajući samo originalna istraživanja, preglede literature i rane pristupe, koji u svom naslovu, ključnim rečima ili apstraktu imaju termin „suppy chain“, identifikovano je ukupno 28 715 radova. Koristeći istu metodologiju, identifikovan je 121 najrelevantniji termin. Raspored ovih pojmova u pet tematskih celina prikazan je na Slici 4.

Predstavljenih pet kategorija se mogu interpretirati na sledeći način. *Prvi* klaster obuhvata radove koje su usmereni na istraživanje kompetencija i odnosa unutar lanca snabdevanja, prvenstveno u kontekstu razumevanja njihovog uticaja na performanse i kompetentnosti preduzeća (naročito onih održivih). *Drugi* klaster je fokusiran na aktivnosti koordinacije i integracije, kao i informaciono-tehničku razmenu unutar lanaca snabdevanja. *Treći* klaster posmatra implementaciju blokčejn i informaciono-komunikacionih tehnologija u kontekstu operativnog upravljanja lancem snabdevanja. *Četvrti* klaster predstavlja aktivnosti optimizacije tokova unutar lanaca snabdevanja vođenih tražnjom. *Poslednji* klaster tiče se pristupa modeliranju specifičnih problema unutar menadžmenta lanca snabdevanja, poput upravljanja dobavljačima, upravljanje rizikom i sl.

3. ZAKLJUČAK

Analiza je pokazala da se radovi iz oblasti operacionih istraživanja sa maloprodajnim fokusom grupišu na liniji jedinice posmatranja. Evidentno je da je najveća koncentracija radova u maloprodajnih lanaca snabdevanja. To je jasna sugestija da će buduća istraživanja biti integrativnog karaktera, tj. da će primena operacionih istraživanja ići u pravcu uvezivanja i paralelnog posmatranja različitih poslovnih

aspekata. Za očekivati je da će na aktuelnosti dobiti metodologije sa prediktivnim potencijalom, koje imaju kapacitet za višedimenzionalno modeliranje maloprodajnih fenomena, poput DRSA, sive analize, pre svega u svekanalnoj maloprodaji, gde je ovaj trend trenutno najprisutniji. Izučavanje relacija između maloprodajnih funkcija, tržišnih aktera, prodajnih kanala i implementiranih tehnologija predstavljaće okvir u kome će operaciona istraživanja biti stavljena u funkciju analiziranja stvaranja moderne konkurentske prednosti u maloprodajnim lancima snabdevanja. Teme relevantne u budućnosti povezane su sa pojmovima kao što je agilnost (Chen, 2019), fleksibilnost (García-Alcaraz et al., 2020), transparentnost (Zelbst et al., 2019), responzivnost (Yu et al., 2019), predvidljivost i izvesnost (Dillon & Mazzola, 2010), kao i održivost (Bag et al., 2020; Petković et al., 2020). Zaključujemo da je maloprodajna tematika značajno prisutna u operacionim istraživanjima i da predstavlja aktuelno naučnoistraživačko usmerenje.

LITERATURA

[1] Adivar, B., Hüseyinoğlu, I. Ö. Y., & Christopher, M. (2019). A quantitative performance management framework for assessing omnichannel retail supply chains. Journal of Retailing and Consumer Services, 48, 257–269. https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2019.02.024

[2] Ailawadi, K. L., & Farris, P. W. (2017). Managing Multi- and Omni-Channel Distribution: Metrics and Research Directions. Journal of Retailing, 93(1), 120–135. https://doi.org/10.1016/j.jretai.2016.12.003

[3] Akman, G. (2015). Evaluating suppliers to include green supplier development programs via fuzzy c-means and VIKOR methods. Computers & Industrial Engineering, 86, 69–82. https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.10.013

[4] Alexander, B., & Blazquez Cano, M. (2020). Store of the future: Towards a (re)invention and (re)imagination of physical store space in an omnichannel context. Journal of Retailing and Consumer Services, 55, 101913. https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2019.101913

[5] AlNuaimi, B. K., Khan, M., & Ajmal, M. M. (2021). The role of big data analytics capabilities in greening e-procurement: A higher order PLS-SEM analysis. Technological Forecasting and Social Change, 169, 120808. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120808

[6] Arandarenko, M., Corrente, S., Jandrić, M., & Stamenković, M. (2020). Multiple criteria decision aiding as a prediction tool for migration potential of regions. European Journal of Operational Research, 284(3), 1154-1166.

[7] Avery, J., Steenburgh, T. J., Deighton, J., & Caravella, M. (2012). Adding Bricks to Clicks: Predicting the Patterns of Cross-Channel Elasticities Over Time. Journal of Marketing, 76(3), 96–111. JSTOR.

[8] Bag, S., Wood, L. C., Xu, L., Dhamija, P., & Kayikci, Y. (2020). Big data analytics as an operational excellence approach to enhance sustainable supply chain performance. Resources, Conservation and Recycling, 153, 104559. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104559

[9] Banaeian, N., Mobli, H., Nielsen, I. E., & Omid, M. (2015). A Methodology for Green Supplier Selection in Food Industries. In P. Golińska & A. Kawa (Eds.), Technology Management for Sustainable Production and Logistics (pp. 3–23). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-33935-6_1

[10] Bell, D. R., Gallino, S., & Moreno, A. (2018). Offline showrooms in omnichannel retail: Demand and operational benefits. Management Science, 64(4), 1629-1651.

[11] Buttkus, M., & Eberenz, R. (Eds.). (2019). Performance Management in Retail and the Consumer Goods Industry: Best Practices and Case Studies. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12730-5

[12] Chen, C.-J. (2019). Developing a model for supply chain agility and innovativeness to enhance firms' competitive advantage. Management Decision, 57(7), 1511–1534. https://doi.org/10.1108/MD-12-2017-1236

[13] Claro, D. P., Vojnovskis, D., & Ramos, C. (2018). When channel conflict positively affect performance: Evidence from ICT supplier-reseller relationship. Journal of Business & Industrial Marketing, 33(2), 228–239. https://doi.org/10.1108/JBIM-11-2016-0272

[14] Dillon, R. L., & Mazzola, J. B. (2010). Management of disruption risk in global supply chains. Ibm Journal of Research and Development, 54(3), 10. https://doi.org/10.1147/JRD.2010.2044674

[15] Doumpos, M., & Figueira, J. R. (2019). A multicriteria outranking approach for modeling corporate credit ratings: An application of the Electre Tri-nC method. Omega, 82, 166-180.

[16] Gao, F., & Su, X. (2017). Omnichannel retail operations with buy-online-and-pick-up-in-store. Management Science, 63(8), 2478-2492.

[17] García-Alcaraz, J. L., Martínez-Loya, V., Díaz-Reza, J. R., Blanco-Fernández, J., Jiménez-Macías, E., & López, A. J. G. (2020). Effect of ICT integration on SC flexibility, agility and company' performance: The Mexican maquiladora experience. Wireless Networks, 26(7), 4805–4818. https://doi.org/10.1007/s11276-019-02068-6

[18] He, B., Gupta, V., & Mirchandani, P. (2021). Online selling through O2O platform or on your own? Strategic implications for local Brick-and-Mortar stores. Omega, 102424.

[19] Hübner, A., Amorim, P., Fransoo, J., Honhon, D., Kuhn, H., de Albeniz, V. M., & Robb, D. (2021). Digitalization and omnichannel retailing: Innovative OR approaches for retail operations. European Journal of Operational Research. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.04.049.

[20] Jagtap, S., & Duong, L. N. K. (2019). Improving the new product development using big data: A case study of a food company. British Food Journal, 121(11), 2835–2848. https://doi.org/10.1108/BFJ-02-2019-0097

[21] Jiang, B., & Tian, L. (2018). Collaborative consumption: Strategic and economic implications of product sharing. Management Science, 64(3), 1171-1188.

[22] Kandula, S., Krishnamoorthy, S., & Roy, D. (2021). A prescriptive analytics framework for efficient E-commerce order delivery. Decision Support Systems, 113584.

[23] Kao, M.-T., Cheng, Y.-H., & Kao, S.-J. (2014). An Automatic Decision-Making Mechanism for Virtual Machine Live Migration in Private Clouds. Mathematical Problems in Engineering, 328536. https://doi.org/10.1155/2014/328536

[24] Madenas, N., Tiwari, A., Turner, C., & Peachey, S. (2015). An analysis of supply chain issues relating to information flow during the automotive product development. Journal of Manufacturing Technology Management, 26(8), 1158–1176. https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2014-0008

[25] Mehra, A., Kumar, S., & Raju, J. S. (2018). Competitive strategies for brick-and-mortar stores to counter "showrooming". Management Science, 64(7), 3076-3090.

[26] Petković, G., Bogetić, Z., Stojković, D., & Dokić, A. (2020). Sustainable supplier evaluation: From a theoretical concept to a strategic and operational asset in sustainable supply chain management. Ekonomika Preduzeca, 68(3–4), 180–200. https://doi.org/10.5937/EKOPRE2004180P

[27] Reale, F., Cinelli, M., & Sala, S. (2017). Towards a research agenda for the use of LCA in the impact assessment of policies. The International Journal of Life Cycle Assessment, 22(9), 1477-1481.

[28] Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. Scientometrics, 84(2), 523–538.

[29] van Eck, N. J., & Waltman, L. (2014). Visualizing Bibliometric Networks. In Y. Ding, R. Rousseau, & D. Wolfram (Eds.), Measuring Scholarly Impact: Methods and Practice (pp. 285–320). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10377-8_13

[30] Waltman, L., van Eck, N. J., & Noyons, E. C. M. (2010). A unified approach to mapping and clustering of bibliometric networks. ArXiv:1006.1032 [Physics]. http://arxiv.org/abs/1006.1032

[31] Xidonas, P., Mavrotas, G., & Psarras, J. (2009). A multicriteria methodology for equity selection using financial analysis. Computers & Operations Research, 36(12), 3187-3203.

[32] Yu, W., Chavez, R., Jacobs, M., Wong, C. Y., & Yuan, C. (2019). Environmental scanning, supply chain integration, responsiveness, and operational performance: An integrative framework from an organizational information processing theory perspective. International Journal of Operations & Production Management, 39(5), 787–814. https://doi.org/10.1108/IJOPM-07-2018-0395

[33] Zelbst, P. J., Green, K. W., Sower, V. E., & Bond, P. L. (2019). The impact of RFID, IIoT, and Blockchain technologies on supply chain transparency. Journal of Manufacturing Technology Management, 31(3), 441–457. https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2019-0118

[34] Zhang, Z., Song, H., Gu, X., Shi, V., & Zhu, J. (2021). How to compete with a supply chain partner: Retailer's store brand vs. manufacturer's encroachment. Omega, 102412.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

MEĐUNARODNE AKVIZICIJE I KONKURETNOST KINESKIH MULTINACIONALNIH KOMPANIJA

CROSS-BORDER ACQUISITIONS AND COMPETITIVENESS OF CHINESE MULTINATIONAL COMPANIES

DUŠAN MARKOVIĆ[1]

[1] Ekonomski fakultet, Beograd, dusan.markovic@ekof.bg.ac.rs

Rezime: *Tehnološke inovacije i liberalizacija globalnih ekonomskih politika su stvorili novi poslovni ambijent. Usled nove poslovne realnosti kompanije internacionalizuju svoje poslovanje kako bi iskoristile globalne tržišne prilike i minimizirale poslovne rizike. Novi poslovni ambijent podstiče kompanije sa tržišta u nastajanju, prvenstveno kineske, da se internacionalizuju putem međunarodnih akvizicija u razvijenim zemljama. Međunarodne akvizicije kineskim kompanijama omogućavaju da u kratkom periodu smanje konkurentsko zaostajanje u odnosu na globalne lidere. Rad nastoji da otkrije na koji način međunarodne akvizicije doprinose rastu konkurentnosti kineskih kompanija, ali i da utvrdi održivost ovog modela globalne ekspanzije. U radu je identifikovano da kineske multinacionalne kompanije kombinuju sopstvene kompetencije u oblasti poslovanja po niskim troškovima sa preuzetim strategijskim nematerijalnim resursima, kao što su tehnologije, menadžment i marketinška znanja. Održivost ovog modela globalne ekspanzije ugrožava rastući politički rizik za kineske kompanije. Kako bi stekle pristup strategijskim resursima i minimizirale politički rizik, kineske kompanije primenjuju poseban način integracije mete.*

Ključne reči: *Međunarodne akvizicije, konkurentska prednost, multinacionalne kompanije, Kina,*

Abstract: *Technological innovations and liberalization of global economic policies have resulted in creation of new business environment. Companies internationalize their operations aiming to use emerged market opportunities and manage business risks. The new environment motivates emerging markets' companies to use cross-borders acquisitions to internationalize their operations in developed markets. Using cross-border acquisitions Chinese companies manage to quickly narrow competition gap between them and global leaders. This paper analyzes how the cross-border acquisitions contribute to competitiveness of Chinese companies and sustainability of this internationalization strategy. We find out that Chinese companies combine own capabilities in low-cost production with the acquired strategic intangible resources like technology, management and marketing knowledge. The Chinese companies' internationalization business model is not sustainable due to growing political risks in developed markets. To manage the risks and obtain the strategic intangible resources, Chinese companies use specific integration strategy.*

Keywords: *Cross-border acquisitions, competitive advantage, multinational companies, China,*

1. UVOD

Proces globalizacije nije novi fenomen, ali je poslednjih nekoliko decenija dobio na značaju. Globalizacija je najintenzivnija u razmeni informacija, dok je uticaj globalizacije na migracije ljudi, međunarodnu trgovinu i investicije bio dosta manji (Ghemawat, 2019). Usled globalizacije, tržišta u nastajanju su se integrisala u lance snabdevanja multinacionalnih kompanija (MNK), što se pozitivno odrazilo na rast realnih dohodaka potrošača u ovim zemljama (Milanović, 2016). Uporedo sa rastom dohodaka potrošača sa tržišta u razvoju rastao je broj i veličina MNK iz ovih zemalja, ali su one svoje aktivnosti dominantno bazirale na aktivnostima, u sredini lanca snabdevanja, sa niskim stepenom dodate vrednosti (Panond, 2016). Ograničene tržišnom pozicijom ove kompanije, a prvenstveno one iz Kine, su nastojale da nadomeste konkurentski jaz agresivnim korišćenjem međunarodnih akvizicija (Marković et al, 2016).

Ovaj rad analizira motive međunarodnih preuzimanja kineskih MNK, kao i načine da se prevaziđu poslovni i politički rizici koji se odnose na ovu strategiju internacionalizacije. Da bi smo izveli zaključke o doprinosu međunarodnih akvizicija konkurentnosti kineskih kompanija pozvaćemo se na stavove resursne teorije (Barney et al, 2011), OLI paradigme (Dunning, 2015) i institucionalne teorije (Peng et al, 2008).

Rad se sastoji iz tri celine. U prvom delu analiziramo konkurentnost kineskih MNK i doprinos međunarodnih preuzimanja stvaranju konkurentske prednosti. Drugi deo analizira političke i rizike integracije kod kineskih međunarodnih preuzimanja. Treći deo rada se odnosi na zaključke po pitanju kineskih međunarodnih akvizicija, a koji mogu biti smernica i domaćim kompanijama.

2. KONKURENTSKO POZICIONIRANJE KINESKIH MNK KROZ MEĐUNARDONE AKVIZICIJE

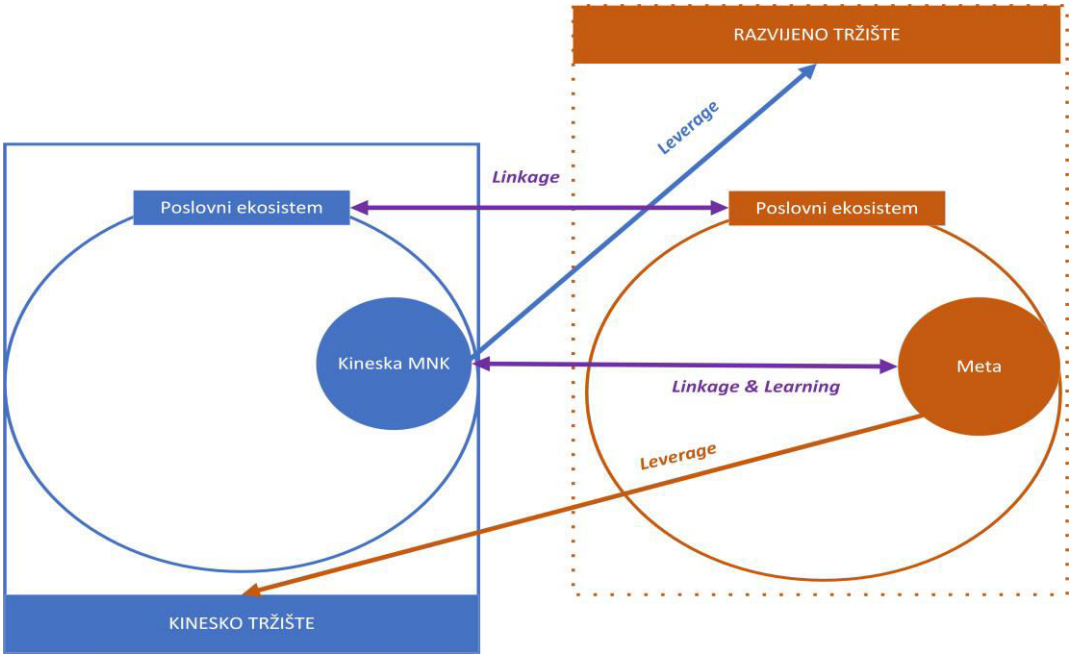
Poslednjih godina smo svedoci da se broj i veličina kineskih MNK konstantno povećava, pa tako 2021. godine na Fortune 500 prvi put imamo više kineskih od kompanija iz USA. Rast broja kineskih kompanija na listi je bio impresivan, a posledica je razvoja ovih kompanija na domaćem tržištu, ali i njihove ekspanzije na inostrana tržišta, kako ona u nastajanju, tako i razvijenih zemalja. Međunarodnu ekspanziju kineskih kompanija u prethodnom periodu oblikovalo je nekoliko faktora: 1. nedostatak kompetencija za kreiranje tehnoloških inovacija, kao i manjak menadžerskih i marketinških znanja 2. kineska vlada podstiče ekspanziju na inostranim tržištima i 3. česta je upotreba međunarodnih akvizicija (Peng, 2012). Usled specifičnosti institucionalnog i kulturološkog i institucionalnog ambijenta, pojedini istraživači su smatrali da kineske kompanije ne mogu da kreiraju radikalne inovacije, već da konkurentsku prednost grade na inkrementalnom unapređenju inovacija kreiranih u razvijenim zemljama (Abrami et al, 2014). Uspeh pojedinih kineskih kompanija na globalnom tržištu, čak i u tehnološki intenzivnim granama, doveo je u sumnju ovaj stav.

Polazeći od resursne teorije, postavlja se pitanje koji su to nematerijalni, vredni i teški za imitiranje resursi koje kineske kompanije poseduju, a koji mogu biti izvor konkurentske prednosti. Kao glavna konkurentska prednost kineskih kompanija nameću se kompetencije u proizvodnji po niskim troškovima. Kineske kompanije svoju prednost u troškovima u velikoj meri su izgradile na sposobnosti da nedostatak najnovijih tehnologija nadomeste većim angažovanjem jeftine radne snage (Morck et al, 2008). Treba imati u vidu da se pristup jeftinoj radnoj snazi ne podrazumeva, već da je on posledica političkih kontakata ili izgrađene socijalne mreže na lokalnom tržištu. Pored toga niski troškovi u proizvodnji su posledica i povlašćenog pristupa lokacijama, prirodnim resursima i državnim narudžbinama. Slikovit je primer kompanije Lenovo koja je kao vid državne podrške dobila pristup državnoj upravi i školama u sklopu programa razvoja IT industrije. Poslujući u nestabilnom institucionalnom i tržišnom ambijentu kineske kompanije su razvile fleksibilnost da brzo usvajaju nove kompetencije i integrišu ih u postojeće modele poslovanja (Pattnaik et al, 2020). Kineske kompanije imaju i privilegovan pristup kapitalu iz državnih fondova bilo kroz subvencije ili „meke“ kredite, što im omogućava da investiraju i u rizičnije projekte koji mogu radikalno da promene njihovu konkurentnost. Višedecenijsko iskustvo u opsluživanju cenovno osetljivih potrošača, koji za relativno niske cene očekuju prihvatljiv kvalitet, predstavljaju još jedan od izvora konkurentske prednosti kineskih kompanija. S obzirom na ovo iskustvo kineske kompanije su se specijalizovale za nisko platežni segment na domaćem tržištu, ali dominiraju i na segmentu rastuće kineske srednje klase (Gadiesh et al, 2007). Da bi opsluživale ove segmente kineske kompanije su razvile sposobnosti brzog direktnog, ali i kreativnog kopiranja (inkrementalne nadogradnje) procesa i proizvoda razvijenih od strane kompanija sa razvijenih tržišta (Lee and Zhou, 2012).

Poslednjih godina kineske kompanije nastoje da se probiju na globalne premijum segmente. Ekspanzija na ovaj tržišni segment zavisi od unapređenja konkurentnosti postojećih eko-sistema, ili izgradnje novih eko-sistema. U okviru poslovnog eko-sistema, koji prevazilazi granice jedne industrije, kompanije na kooperativnoj i/ili konkurentskoj osnovi, nastoje da podrže lansiranje novog proizvoda, unaprede zadovoljstvo potrošača ili kreiraju procesne ili proizvodne inovacije (Moore, 1993). Međunarodne akvizicije mogu pomoći kompanijama da motivišu članove poslovnog eko-sistema da rade zajedno na razvoju atraktivnosti tržišne ponude, ali i da unaprede svoju pregovaračku poziciju u odnosu na glavne članice eko-sistema. Ekspanzija kineskih kompanija na premijum segmentu kroz međunarodne akvizicije deluje da je u suprotnosti sa OLI paradigmom, jer kineske kompanije često ne poseduju O element - specifične kompetencije koje nastoje da dodatno eksploatišu na inostranom tržištu. S obzirom na navedeno postoje stavovi da kineske MNK grade svoju tržišnu poziciju na L elementu – konkurentnost lokacije, u ovom slučaju matičnog tržišta (Henart, 2012). Ovaj pristup je pojednostavljen tako da smo za potrebe razumevanja doprinosa međunarodnih akvizicija konkurentnosti kineskih MNK dizajnirali model (Slika 1) koji se bazira na unapređenoj resursnoj teoriji, LLL - *Linking, Leverage, Learning* (Thite et al, 2016).

Putem međunarodnih akvizicija kineske MNK uspevaju da kreiraju nove izvore konkurentske prednosti (*Linkage i Learning*), ali i da postojeće resurse dodatno koriste (*Leverage).* Po preuzimanju kineske kompanije stiču pristup vrednim brendovima, tehnološkim rešenjima, marketinškim i menadžerskim znanjima (*Learning),* što otvara prostor da poslovanje prošire na premijum segmente. Kineske MNK na ovaj način stiču znanje o vođenju pre i posle akvizicionih procesa na razvijenim tržištima. Sa druge strane meta dobija pristup jeftinoj radnoj snazi, znanju o poslovanju na tržištima u nastajanju i lokalnoj socijalnoj mreži.

Pored toga meta i novi vlasnik udružuju postojeće resurse kako bi kreirali nove kompetencije, što predstavlja osnovu za kreiranje inovacija u budućnosti *(Linkage)*. Kineske kompanije su zbog specifičnosti domaćeg tržišta, razvile sposobnost integrisanja eksterno stečenih znanja, što u velikoj meri olakšava kreiranje inovacija na osnovu sopstvenih i resursa mete (Luo, et al, 2011). Kroz međunarodne akvizicije dolazi i do povezivanja poslovnih eko-sistema obe kompanije*(Linkage),* što je osnova za stvaranje konkurentske prednosti po više osnova. Kineske kompanije po ovoj osnovi mogu dobiti pristup tehnološkim klasterima (npr. Silicijumskoj dolini) ili infrastrukturi koja nije direktno vezana za poslovanje (npr. univerziteti, poslovni inkubatori itd.), dok sa druge strane meta može dobiti pristup lancu snabdevanja kineske kompanije, što će unaprediti efikasnost poslovanja. Novi vlasnik otvara kinesko tržište za metu, čime se postiže ekonomija obima, u oblasti proizvodnje, istraživanja i razvoja, i marketinga (*Leverage).* Pored toga kineska MNK stiče pristup malom ali rastućem segmentu cenovno osetljivih potrošača na razvijenim tržištima.



Slika 1: LLL model realizacije međunarodnih akvizicija

Ovakav model realizacije akvizicije omogućava protok znanja i resursa između kineskih MNK i mete, ali i između poslovnih eko-sistema dve strane. Ipak, realizacija sinergetskih potencijala u velikoj meri zavisi od internih i eksternih barijera. Interne barijere se odnose na razlike u nacionalnim i korporativnim kulturama, dok se eksterne barijere odnose na političke rizike usled delovanja formalnih i neformalnih institucija. Zhu et al. (2020) su identifikovali da što je nacionalna kultura u zemlji mete više individualistička, to su performanse preuzimanja koje realizuju kineske MNK lošije. Ipak, ovim kulturološkim razlikama je moguće upravljati putem većeg izlaganja top menadžera, lokalnoj kulturi ili uvođenjem dualnog upravljanja nakon preuzimanja. Takođe, aktivno delovanje na razvoju poverenja doprinosi prevazilaženju kulturoloških razlika i unapređenju post akvizicionih performansi (Sachsenmaier and Guo, 2019). Stoga su kineske MNK razvile poseban oblik upravljanja post akvizicionim procesima kako bi minimizirale rizike po ovom osnovu.

3. UPRAVLJANJE RIZICIMA U POST AKVIZICIONIM FAZAMA

Sinergija nakon preuzimanja ne nastaje reorganizacijom poslovanja, već kreiranjem novog poslovnog modela, kako za investitora, tako i za metu. Kako bi se kreirao novi poslovni model, neophodno je napustiti postojeće prakse i fokusirati se na razvoj novih rutina i organizacije. Kreirana sinergija će zavisiti od mogućnosti transfera strategijskih resursa i znanja između investitora i mete. Način realizacije transfera je determinisan motivima preuzimanja, konkurentskom pozicijom mete i investitora, apsorpcionim kapacitetima i poslovnim ambijentom. U zavisnosti od ovih determinanti kompanije će se opredeliti za sledeće strategije integracije mete (Liu and Woywood, 2013): apsorpcija, simbioza i prezervacija. Apsorpcija podrazumeva potpuno integrisanje mete u okvire investitora i za cilj ima ostvarenje ekonomije obima. Nasuprot tome simbioza se koristi kako bi se formirao novi poslovni model na bazi najbolje prakse obe kompanije. Konačno, prezervacija podrazumeva da meta nastavlja da funkcioniše relativno samostalno, sa

ciljem da se omogući nesmetana razmena strategijske nematerijalne imovine, zbog čega ovaj pristup integracije u velikoj meri podseća na formiranje strategijske alijanse pre nego akviziciju (Kumar, 2009).

Prethodna istraživanja su pokazala da međunarodna preuzimanja uglavnom doprinose slabljenju finansijskih performansi kineskih MNK (Liu et al, 2019), ali i da uspešnost preuzimanja zavisi od kretanja deviznog kursa, razvoja infrastrukture i troškova rada na lokalnom tržištu, kao i tehnološke i institucionalne distance. Istraživanja u oblasti menadžmenta su takođe identifikovala da međunarodna preuzimanja kineskih kompanija doprinose uništavanju vrednosti, ali uzroke uništavanja vrednosti vide u kopiranju modela preuzimanja i integracije koji primenjuju kompanije iz razvijenih zemalja, koji je neadekvatan za kineske kompanije (Williamson and Raman, 2011). Neadekvatnost, ovog pristupa je posledica postojanja različitih osnova iz kojih se kreira sinergija, pa su stoga kineske kompanije kreirale novi način integracije preuzetih kompanija. U pitanju je unapređeni pristup prezervacije, koji omogućava sticanje konkurentske prednosti, onako kako je prikazano na slici 1, dok se istovremeno umanjuju politički i rizici neadekvatne integracije.

Ovaj pristup podrazumeva da se promene nakon akvizicije izvode postepeno, kako bi se između strana razvilo poverenje i očuvala nematerijalna strateška imovina mete. Top menadžment se zadržava i on vodi kompaniju nekoliko godina i nakon preuzimanja. Na ovaj način novi vlasnik želi da očuva kontinuitet poslovanja i socijalne kontakte menadžment tima. U bord direktora kineska kompanija uglavnom delegira nekoliko članova, koji imaju više savetodavnu i povezujuću ulogu (Figueira et al, 2020). Nakon preuzimanja izbegava se radikalno deiznvestiranje i racionalizacija broja zaposlenih, a to se komunicira u predakvizicionoj fazi kako bi se predupredili odlivi kadrova. Preuzeta kompanija zadržava nadležnosti nad brendom i marketingom, kako bi se kupcima prenela poruka da nakon preuzimanja neće doći do narušavanja kvaliteta proizvoda. Često je deo strategije da se brend investitora i mete na dovode marketinški ni u kakvu vezu, kako bi se predupredilo eventualno negativno prelivanje reputacije sa kineskog na preuzeti brend.

Ako sagledamo dati pristup integracije u svetlu LLL modela realizacije međunarodne akvizicije, videćemo da su oni po svojoj suštini komplementarni. Naime, motivi preuzimanja koji proističu iz LLL modela zahtevaju ovaj pristup integraciji, kako bi se omogućio nesmetani transfer resursa i znanja između kompanija. Da bi se uspešno realizovao pristup „tvrdim“ nematerijalnim resursima mete (*Learning)*, npr. tehnologija i organizaciona struktura, koji se zatim transferišu na domaće tržište, neophodno je predupredi otpor zaposlenih u preuzetoj kompaniji, time što će se garantovati da ovaj transfer neće uticati negativno na njihov budući položaj. To se postiže time što se kineska kompanija obavezuje da u budućnosti neće gasiti sedišta i proizvodne pogone u razvijenoj zemlji, kao što je bio slučaj kada je kineski *Geely* preuzeo auto kompaniju *Volvo.* Sa druge strane pristup „mekim“ nematerijalnim resursima, npr. korporativna kultura, menadžment znanja, upravljanje timovima za istraživanje i razvoj itd., je neophodan kako bi se ove kompetencije objedinile sa sopstvenim kompetencijama i kreirale radikalne inovacije (*Linkage).* Da bi se objedinile kompetencije neophodno je prevazići nepoverenje i kulturološke razlike, što se može postići samo postupnim i labavim integrisanjem preuzete kompanije (de Oliveira and Rottig, 2018). Konačno, dodatni izvor konkurentske prednosti proističe iz povezivanja obe poslovnih eko-sistema (*Linkage)*. Legitimizacija kineskih kompanija na razvijenim tržištima će biti moguća samo ako garancije za njih daju kompanije i pojedinci koji uživaju pozitivnu reputaciju u okviru socijalne mreže. Stoga je jedan od glavnih ciljeva preuzimanja da se zadrže pojedinci koji mogu da obezbede socijalne kontakte na razvijenom tržištu, ali i ne narušiti reputaciju preuzete kompanije kako bi po tom osnovu mogla da se nastavi izgradnja i transfer znanja.

Koncept *„obaveze stranaca“* je poznat u literaturi iz međunarodnog menadžmenta i zasniva se na stavu da se MNK na inostranim tržištima suočavaju sa dodatnim troškovima koji proističu iz nepoznavanja lokalnog tržišnog ambijenta, nedostatka kontakata u lokalnim socijalnim mrežama, ali i nedovoljnog poznavanja institucionalnog ambijenta, koji može biti i nenaklonjen stranim kompanijama (Eden and Miller, 2004). Koncept je primenljiv na kineske kompanije, koje se poslednjih godina suočavaju sa rastućim pritiscima prilikom realizacije međunarodnih preuzimanja na razvijenim tržištima. Uzrok rastućeg političkog rizika je sumnja da se iza podrške kineske države svojim kompanijama da se internacionalizaciju putem međunarodnih akvizicija, pored ekonomskih kriju i politički ciljevi. Negativan stav prema kineskim kompanijama pored zvaničnih institucija, sve više zauzimaju različite nevladine organizacije, poslovna udruženja, ali i udruženja građana, što podiže troškove realizacije akvizicije.

Analizirani model integracije pored transfera znanja omogućava kineskim kompanijama da upravljaju i političkim rizikom na razvijenim tržištima. Menadžment tim, koji ostaje nakon akvizicije, ali i zaposleni, su veoma bitni da se lokalnoj zajednici prenese poruka o posvećenost kineskih kompanija lokalnom tržištu i spremnosti da se na njemu ostane u dugom roku, uvažavajući interese glavnih stejkholdera. Kako bi dale dodatne garancije da će voditi računa o interesima lokalne zajednice, kod strategijski značajnih preuzimanja, kao što je IBM-Lenovo, kineske kompanije otvaraju još jedno sedište matične kompanije, ovaj put na razvijenom tržištu, koje je ravnopravno sa kineskim. Na ovaj način se preuzetoj kompaniji i stejkholderima

šalje poruka da preuzeta kompanija ne gubi na značaju, već naprotiv, da postaje ravnopravni član jačeg sistema. Kako bi lokalni zaposleni i menadžment tim bili promoteri novog vlasnika, matica obezbeđuje dodatne finansijske resurse i otvara preuzetoj kompaniji pristup kineskom tržištu i lancu snabdevanja, na osnovu čega se vidi posvećenost unapređenju dugoročne konkurentnosti mete (Buckley et al, 2010). Pored zaposlenih i ostali stejkholderi mogu biti brana političkim pritiscima na kineske kompanije. Integrisanje kineske kompanije u lokalne poslovne eko-sisteme, omogućava izgradnju veza sa lokalnim kompanijama, ali i ne poslovnom infrastrukturom. Naime, članovima poslovnog eko-sistema mete se otvara perspektiva povezivanja ne samo sa kineskom kompanijom već i sa njenom socijalnom mrežom na kineskom tržištu. Na ovaj način kineska kompanija gradi odnose poverenja i međuzavisnosti, koji umanjuju mogućnost moralnog hazarda (Cao & Alon, 2021). Konačno ovi odnosi predstavljaju osnovu za izgradnju mreže uticaja na donosioce odluka na razvijenom tržištu, a koja će obuhvatati stejkholdere na lokalnom i nacionalnom nivou, a koji će aktivno raditi na razvoju institucionalnog okvira koji garantuje sigurnost (Iankova and Katz, 2003).

4. ZAKLJUČAK

Poslednjih godina smo svedoci intenzivne internacionalizacije kineskih MNK. Internacionalizacija poslovanja, ovih kompanija je posledica njihovog nastojanja da unaprede svoju poziciju u okviru globalnih lanaca snabdevanja, krećući se ka aktivnostima sa većom dodatom vrednošću. Ovaj cilj nije moguće ostvariti bez radikalne promene poslovnog modela, a za šta su neophodni strateški nematerijalni resursi kojima raspolažu MNK sa razvijenih tržišta. Kako bi obezbedile pristup ovim resursima kineske MNK sve češće posežu za realizacijom međunarodnih akvizicija. Pitanje realizacije kineskih akvizicija na razvijenim tržištima je široko istraživano poslednjih godina, ali uglavnom iz parcijalnih uglova.

U ovom radu smo za cilj imali postavljanje integralne analize akvizicija kineskih multinacionalnih kompanija. Kako bi odgovorili na postavljeni cilj kineske međunarodne akvizicije smo analizirali iz ugla proširene resursne teorije (LLL pristup), OLI paradigme i institucionalnog pristupa međunarodnom poslovanju. Pristupajući ovom problemu na integralan način analizirali smo na koji način međunarodna preuzimanja mogu doprineti unapređenju konkurentnosti kineskih kompanija, ali i kako predloženi model upravljanja akvizicijom doprinosi minimiziranju političkog rizika.

U radu je prikazano da motivi preuzimanja ne leže samo u sticanju strategijskih resursa mete, već i dodatnoj eksploataciji svojih resursa na inostranom tržištu, ali i integrisanju kompetencija mete sa kompetencijama investitora, kako bi se kreirali disruptivne inovacije. Dodatno smo pokazali da koristi od preuzimanja mogu nastati i usled povezivanja poslovnih eko-sistema, čime investitor dobija pristup resursima sa razvijenih tržišta, a koje je teško steći na tržišnoj osnovi.

Pretpostavka da se kreira konkurentska prednost po ovom osnovu je „labava“ integracija mete, uz zadržavanje top menadžmenta i visokog stepena autonomije za preuzetu kompaniju. Naime, na ovaj način se žele očuvati kompetencije mete, koje su često duboko vezane za pojedince ili grupe sa specifičnim znanjima, u okviru mete, a čiji gubitak može trajno ograničiti vrednost preuzimanja. Konačno, odnosi poverenja i međuzavisnosti koji se formiraju sa stejkholderima firme, predstavljaju osnovu za izgradnju mreže preko koje će se uticati na nacionalne i lokalne institucije koje svojim odlukama i delovanjem mogu negativno da utiču na realizaciju punog potencijala po osnovu preuzimanja.

LITERATURA

[1] Abrami, R. M., Kirby, W. C., & McFarlan, F. W. (2014). Why China can't innovate. Harvard Business Review, 92, 107-111.

[2] Barney, J. B., Ketchen Jr, D. J., & Wright, M. (2011). The future of resource-based theory: revitalization or decline?. Journal of Management, 37, 1299-1315.

[3] Buckley, P. J., Elia, S., & Kafouros, M. (2010). Acquisitions from emerging countries: what factors influence the performance of target firms in advanced countries?. European Journal of International Management, 4, 30-47.

[4] Cao, M., & Alon, I. (2021). Overcoming the liability of foreignness–A new perspective on Chinese MNCs. Journal of Business Research, 128, 611-626.

[5] de Oliveira, R. T., & Rottig, D. (2018). Chinese acquisitions of developed market firms: home semi-formal institutions and a supportive partnering approach. Journal of Business Research, 93, 230-241.

[6] Dunning, J. H. (2015). Toward an Eclectic Theory of International Production: Some Empirical Tests. In J. Cantwell (Eds.), The Eclectic Paradigm (23-49), London: Palgrave Macmillan.

[7] Eden, L., & Miller, S. R. (2004). Distance matters: Liability of foreignness, institutional distance and ownership strategy. In M.A. Hitt & J.L.C. Cheng (Eds.), Theories of the Multinational Enterprise: Diversity, Complexity and Relevance. Bingley; Emerald Group Publishing Limited.

[8] Figueira, S., de Oliveira, R. T., Rottig, D., & Spigarelli, F. (2020). Lessons on a novel integration approach of emerging market acquisitions in developed countries. International Journal of Emerging Markets. (In press)

[9] Gadiesh, O., Leung P. & Vestring, T. (2007). The Battle for China's Good Enough Market, Harvard Business Review, 85, 81-89.

[10] Ghemawat, P., & Altman, S. A. (2019). The state of globalization in 2019, and what it means for strategists. Harvard Business Review, 97, 2-8.

[11] Henart, J. F. (2012). Emerging Market Multinationals and the Theory of the Multinational Enterprise. Global Strategy Journal, 2, 168-187.

[12] Iankova, E., & Katz, J. (2003). Strategies for political risk mediation by international firms in transition economies: the case of Bulgaria. Journal of World Business, 38, 182-203.

[13] Kumar, N. (2009). How emerging giants are rewriting the rules of M&A. Harvard Business Review, 87, 115–121.

[14] Lee, R. P., & Zhou, K. Z. (2012). Is product imitation good for firm performance? An examination of product imitation types and contingency factors. Journal of International Marketing, 20, 1-16.

[15] Liu, H., Li, Y., Yang, R., & Li, X. (2021). How do Chinese firms perform before and after cross-border mergers and acquisitions?. Emerging Markets Finance and Trade, 57, 348-364.

[16] Liu, Y., & Woywode, M. (2013). Light-touch integration of Chinese cross-border M&A: The influences of culture and absorptive capacity. Thunderbird International Business Review, 55, 469-483.

[17] Luo, Y., Sun, J., & Wang, S. L. (2011). Emerging economy copycats: Capability, environment, and strategy. Academy of Management Perspectives, 25, 37-56.

[18] Marković, D., Rakita, B. & Filipović, D. (2015). Strategic importance of Cross-border acquisitions for emerging market multinationals, In I. Vrdoljak Raguž, N. Podrug & L. Jelenc (Eds.), Neostrategic Management: An International Perspective on Trends and Challenges (189-201). New York: Springer

[19] Milanovic, B. (2016). Why the Global 1% and the Asian Middle Class Have Gained the Most from Globalization. Harvard Business Review. 94.

[20] Moore, J. F. (1993). Predators and prey: a new ecology of competition. Harvard business review, 71, 75-86.

[21] Morck, R., Yeung, B., & Zhao, M. (2008). Perspectives on China's outward foreign direct investment. Journal of International Business Studies, 39, 337-350.

[22] Pananond, P. (2016). Break Multinationals: Emerging – Market Multinationals in Global Value Chains, In M. Demirbag & A. Yaprak (Eds.), Handbook of Emerging Market Multinational Corporations, (91-110). Cheltenham: Edvard Elgar

[23] Pattnaik, C., Singh, D., & Gaur, A. S. (2020). Home country learning and international expansion of emerging market multinationals. Journal of International Management, (In press).

[24] Peng, M. W. (2012). The global strategy of emerging multinationals from China. Global Strategy Journal, 2, 97-107.

[25] Peng, M. W., Wang, D. Y., & Jiang, Y. (2008). An institution-based view of international business strategy: A focus on emerging economies. Journal of International Business Studies, 39, 920-936.

[26] Sachsenmaier, S., & Guo, Y. (2019). Building trust in cross-cultural integration: A study of Chinese mergers and acquisitions in Germany. International Journal of Cross Cultural Management, 19, 194-217.

[27] Thite, M., Wilkinson, A., Budhwar, P., & Mathews, J. A. (2016). Internationalization of emerging Indian multinationals: Linkage, leverage and learning (LLL) perspective. International Business Review, 25, 435-443.

[28] Williamson, P. J., & Raman, A. P. (2011). How China reset Its Global Acquisition Agenda. Harvard Business Review, 89, 109-114.

[29] Zhu, H., Zhu, Q., & Ding, Z. (2020). The Roles of Chinese CEOs in Managing Individualistic Cultures in Cross-border Mergers and Acquisitions. Journal of Management Studies, 57, 664-697.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

ODREĐIVANJE VAŽNOSTI KRITERIJUMA PRI IZBORU FAKULTETA PRIMENOM MACBETH METODE

EVALUATION OF IMPORTANCE OF FACULTY SELECTION CRITERIA USING MACBETH METHOD

MILENA POPOVIĆ[1], BISERA ANDRIĆ GUŠAVAC[1], MINJA MARINOVIĆ[1], DRAGAN PAMUČAR[2]

[1] Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, Beograd, {milena.popovic, bisera, minja.marinovic}@fon.bg.ac.rs
[2] Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija, dpamucar@gmail.com

Rezime: *Ovaj rad ima za cilj da oceni važnosti kriterijuma za upis na fakultet. U tu svrhu korišćena je multiatributivna metoda za određivanje vrednosti težinskih koeficijenata kriterijuma MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique). U radu je sprovedeno istraživanje među maturantima kao potencijalnim studentima Univerziteta u Beogradu. Ispitane su značajnosti šest kriterijuma vezanih za uslove upisa, a dobijeni rezultati imaju za cilj da pomognu fakultetima u donošenju optimalne politike zadovoljenja potreba studenata i kreiranja promocije fakulteta prema preferencijama budućih studenata, a u cilju većeg broja upisanih studenata.*

Ključne reči: *MACBETH metoda, težinski koeficijenti, linearno programiranje, visoko obrazovanje.*

Abstract: *Aim of this paper is to determine the importance of criteria in faculty selection. For that purpose, authors used the multiatributive method for determing the values of the weighting coefficients of those criteria using MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique). The paper conducts research among high school graduates as potential students of the University of Belgrade. The significance of six criteria related to the conditions of enrollment was examined, and the obtained results aim to help faculties in finding an optimal strategy of meeting students needs and creating faculty promotion according to the preferences of their future students, in order to increase the number of enrolled students in their faculty.*

Keywords: *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (MACBETH), weights, linear programming, higher education.*

1. UVOD

Sektor za visoko obrazovanje i razvoj, suočen sa pritiskom konkurencije, nosi veliku odgovornost za kontinuirano povećanje efikasnosti svojih aktivnosti. S obzirom na značaj kvaliteta obrazovanja u visokoškolskim ustanovama neophodna je kontrola u definisanju kriterijuma za upis na fakultet. Važan faktor zadovoljstva budućih studenata, kao korisnika usluga visokog obrazovanja, kvalitetom nastavno obrazovnog procesa je u vezi sa opštim i specifičnim uslovima upisa na fakultet. Stoga je, na mnogim visokoškolskim ustanovama da naprave optimalan odnos između troškova studiranja sa jedne strane i kvaliteta usluge sa druge. Sam izbor kriterijuma, zavisi od pravilnika i odluke uprave fakulteta na kojoj se primenjuje, uslova rada na istom i dr.

Metoda merenja atraktivnosti kroz kategorije zasnovana na evaluativnim tehnikama - MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*) je subjektivna metoda za rešavanje problema multiatributivnog odlučivanja. Metoda je nastala ranih 1990ih [2] i do danas njena primena broji više od 200 radova u vodećim međunarodnim časopisima. U ovoj metodi kreira se stablo odlučivanja i vrši se rangiranje kriterijuma i izbor najboljeg iz skupa raspoloživih.

U ovom radu je sprovedena studija slučaja čiji je osnovni cilj određivanje važnosti šest kriterijuma za upis na fakultet i njihovo rangiranje. Studija je osmišljena tako da se istraživanje i analiza rezultata radi iz perspektive budućih studenata Univerziteta u Beogradu. Studijom je istraženo koji kriterijumi vezani za same fakultete su važni maturantima prilikom izbora fakulteta koji će upisati.

Rad je organizovan na sledeći način: u drugom poglavlju dat je pregled dosadašnje primene MACBETH metode u oblasti obrazovanja, u trećem poglavlju prikazani su osnovni koncepti i metodologija izvođenja

metode. U četvrtom poglavlju prikazana je studija slučaja u okviru koje su definisani kriterijumi, objašnjen postupak istraživanja i dat prikaz rezultata. U poslednjem poglavlju izložena su zaključna razmatranja.

2. MACBETH U OBLASTI OBRAZOVANJA

MACBETH metoda se opsežno koristi u raznim oblastima za evaluaciju postavljenih kriterijuma. U proteklih pet godina, po Kobsonu, objavljeno je preko 90 radova u časopisima sa SCI liste u kojima je primenjena MACBETH metoda samostalno ili u kombinaciji sa još nekom multiatributivnom metodom. U nastavku su izdvojeni i analizirani radovi u kojima je primenjena ova metoda u oblasti obrazovanja.

Burgos i Carnero [3] predlažu inovativni pristup za evaluaciju društveno odgovornog poslovanja u visokom školstvu. Ovaj pristup zasnovan je na analizi uvođenja društvene odgovornosti u srednjoškolske ustanove, a sa ciljem da se društvena odgovornost razvija kod mladih ljudi dok su još u procesu formiranja ličnosti. Za analizu su korišćene tri velike školske ustanove u Španiji (2000 đaka i 150 nastavnika). U radu je urađen model evaluacije obrazovne društvene odgovornosti (*EdSR Educational Social Responsibility*), koji bi se koristio kao alat za procenu kontinuiranog poboljšanja društvene odgovornosti. Za analizu i izradu modela korišćeni su sledeći kriterijumi: postojanje socijalnih vrednosti, etika i ponašanje, namera rukovodioca za prilagođavanje škole vrednostima, postojanje mehanizama za izbegavanje korupcije, upotreba društvenih medija za poboljšanje usluge, itd. S obzirom na složenost analize i veliki broj kriterijuma, dobijanje konzistentne matrice zahtevalo je višestruka ocenjivanja, radi dobijanja što preciznijeg rezultata.

Kombinovanje metoda višekriterijumskog odlučivanja TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) i MACBETH u oblasti transfera tehnologije prikazali su autori u radu [7]. Istraživanje se zasniva na ideji otvaranja kancelarija tehnološkog transfera koje bi privlačile investicije naučno akademskoj zajednici ali i društvu uopšte i koje bi pokretale proizvodnju inovatnih proizvoda i usluga za nova preduzeća. Izvršena je i analiza tehnologija koje imaju potencijal da postanu proizvodi i usluge na konkretnom primeru u Brazilu. Naglašena je zavisnost uloge naučnika i rukovodioca tehnološkog progresa, koji predstavljaju ključni faktor rasta i razvoja zemlje, u kontekstu potrebe komercijalizacije samog dostignuća. Zaključak je da u Brazilu postoji malo akcija za prenos znanja u društvo iz razloga što ne postoji veliko partnerstvo između univerziteta, društva i kompanija, uprkos zakona o promociji naučnog razvoja.

Autori u radu [5] naglašavaju znanje, kao strateški resurs jačanja konkurentnosti i ekonomskog rasta zemlje i njegov transfer. U ovoj studiji autori su predložili trofazni višekriterijumski sistem za podršku odlučivanju za evaluaciju transfera znanja sa visokoškolskih ustanova na društvo u celini. U prvoj fazi korišćena je metodologija razvoja i analize strateških opcija (*Strategic Options Development and Analysis*-SODA), dok je MACBETH metoda primenjena za fazu evaluacije, a konkretni predlozi su dati u trećoj fazi. Predloženi pristup testiran je na primeru javne visokoškolske ustanove u Portugalu. Uzete su u obzir i barijere koje razdvajaju ekonomske učesnike i visokoškolske ustanove u pogledu nedostatka resursa, različitih kultura i percepcija. Ustanovljeno je šest klastera, u okviru kojih su definisane karakteristike visokoškolskog obrazovanja: infrastruktura, ljudski kapital, snabdevanje, strateško upravljanje, finansijski resursi i odnosi sa okruženjem. Evaluacija rezultata putem akademskih publikacija je jedan od osnovnih kriterijuma kojim se vrši ragniranje visokoškolskih ustanova. Osim ranga visokoškolskih ustanova, u radu je ukazano i da prenosioci znanja mogu da definišu slabosti u svojim performansama prilikom transfera znanja. Ustanovljeno je i da nastavnici visokoškolskih ustanova mogu da koriste tehnike koje se primenjuju za strateško donošenje odluka kao podsticaj prenošenja znanja u društvu, kao i da je ovakvu analizu moguće primeniti na sve visokoškolske ustanove.

Kombinacija metoda fazi AHP (*Analytic Hierarchy Process*) i MACBETH primenjena je u radu [4]. Istraživan je problem korišćenja video igara i elemenata igre u okruženju za učenje i predložena metodologija omogućava izbor najbolje aplikacije za rad u obrazovnom procesu.

3. MACBETH METODA

Metoda merenja atraktivnosti kroz kategorije zasnovana na evaluativnim tehnikama - MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*) je subjektivna metoda za definisanje težinskih koeficijenta na osnovu kvalitativnih procena eksperata [2]. Metodološki, algoritam MACBETH metode podseća na algoritam AHP metode, pošto se kod obe metode za određivanje ekspertskih preferencija koriste matrice poređenja. Međutim, postoje suštinske razlike između ove dve metodologije, a to su:

- MACBETH metoda koristi intervalnu skalu sa sedam elemenata, dok AHP metoda koristi devetostepenu racio skalu [2];

- Kod AHP metode kriterijumi su organizovani u hijerarhijsku strukturu, dok se kod MACBETH metode koristi stablo odlučivanja;
- AHP metoda koristi metodu sopstvenih vrednosti za određivanje težinskih koeficijenata kriterijuma, dok MACBETH metoda koristi model linearnog programiranja;
- AHP metoda toleriše neusklađenosti u matrici poređenja koje mogu da budu do 10%, dok MACBETH metoda ne dozvoljava nedoslednosti i uvek daje optimalne vrednosti težisnkih koeficijenata;
- Jedan od značajnih prednosti MACBETH-a je postojanje teorijske i semantičke provere doslednosti ocena kriterijuma;
- Obe metode (AHP and MACBETH) koriste metodologiju poređenja u parovima kriterijuma, međutim razlikuju se po broju poređenja u parovima koje je potrebno izvršiti u cilju dobijanja rezultata. Kod AHP metode neophodno je izvršiti *n(n-1)/2* poređenja, dok je kod MACBETH metode potrebno izvršiti maksimum *n(n-1)/2* poređenja, ali se rezultati primenom MACBETH metode mogu dobiti i posle *n-1* poređenja.

Međutim, uprkos svojim razlikama, obe metodologije mogu da se koriste za određivanje težina kriterijuma i rangiranje alternativa u multiatributivnim problemima.

3.1. Algoritam MACBETH metode

Pretpostavimo da je definisano n kriterijuma C_j, j=1,2,...,n koji su korišćeni za evaluaciju m alternativa $A=\{A_1, A_2, \ldots, A_m\}$. Algoritam metode čine četiri glavna koraka [1]:

Korak 1: Rangiranje kriterijuma

Kriterijumi iz skupa $C_j=\{C_1, C_2, \ldots, C_n\}$ rangiraju se prema njihovoj značajnosti, tako da se na prvoj poziciji nalazi najuticajniji kriterijum, dok se na poslednjoj poziciji nalazi najmanje uticajan kriterijum.

Korak 2: Formiranje matrice poređenja

Formira se matrica poređenja $M=\left[\xi_{ij}\right]_{n\times n}$ u kojoj se vrši poređenje u parovima kriterijuma. U matrici su kriterijumi poređani prema značajnosti s leva na desno i od vrha prema dnu matrice. U matrici M poređenje se vrši samo iznad dijagonale matrice, dok se na dijagonali matrice upisuju vrednosti nula. Za poređenje u parovima koristi se semantička skala koja je prikazana u Tabeli 1.

Tabela 1: Semantička skala [1]

Semantičke kategorije	Skala	Značajnost
Indiferentno	0	Indiferentnost između kriterijuma
Veoma slabo	1	Kriterijum je veoma slabo atraktivan u odnosu na drugi
Slabo	2	Kriterijum je slabo atraktivan u odnosu na drugi
Umereno	3	Kriterijum je umereno atraktivan u odnosu na drugi
Jako	4	Kriterijum je jako atraktivan u odnosu na drugi
Veoma jako	5	Kriterijum je veoma jako atraktivan u odnosu na drugi
Ekstremno	6	Kriterijum je izuzetno (ekstremno) atraktivan u odnosu na drugi

Korak 3: Formiranje MACBETH modela

Formiranje MACBETH linearnog modela ima za cilj određivanje vrednosti težinskih koeficijenata kriterijuma. S obzirom da u ocenjivanju učestvuje e eksperata koji vrše poređenje u parovima kriterijuma, za svakog eksperta dobijamo matricu poređenja $M^b=\left[\xi_{ij}^b\right]_{n\times n}$, $1\le b\le e$. Stoga je potrebno odrediti vrednosti težinskih koeficijenata kriterijuma za svakog eksperta $w_j^b=\left(w_1^b, w_2^b, \ldots, w_n^b\right)^T$, $1\le b\le e$.

MACBETH model formira se na osnovu vrednosti koje su dobijene u agregiranim ekspertskim matricama $M^b=\left[\xi_{ij}^b\right]_{n\times n}$ i definiše se kroz korake koji su prikazani u narednom delu:

Korak 3.1: Definisanje funkcije cilja (1):

$$z_{\min}=\phi(W_1) \tag{1}$$

gde W_1 predstavlja vrednost najuticajnijeg kriterijuma.

Korak 3.2: Prvu grupu ograničenja predstavljaju ordinalna ograničenja (2):

$$\forall W_i, W_j, i, j \in \{1,2,..,n\} : W_i > W_j \Rightarrow \phi(W_i) \geq \phi(W_j) + \xi(i,j) \tag{2}$$

gde $\xi(i,j)$ predstavlja razliku nivoa preferencija između W_i i W_j

Korak 3.3: Drugu grupu ograničenja predstvaljaju semantička ograničenja (3):

$$\forall W_i, W_j, i, j, k, l \in \{1,2,..,n\} : \phi(W_i) - \phi(W_j) \geq \phi(W_k) - \phi(W_l) + \xi(i,j,k,l) \tag{3}$$

gde se vrednost $\xi(i,j,k,l)$ definiše kao razlika između $\xi(i,j)$ i $\xi(k,l)$.

Korak 3.4: Poslednje ograničenje modela linearnog programiranja prikazano je izrazom (4):

$$\phi(W_n) = 1 \tag{4}$$

gde W_n predstavlja vrednost najmanje uticajnog kriterijuma.

Korak 4: Rešavanje modela

Rešavanjem linearnog modela koji je definisan u Koraku 3. dobijamo vrednosti težinskih koeficijenata kriterijuma. Primenom izraza (5) dobijene vrednosti težinskih koeficijenata normalizuju se tako da ispunjavaju uslov da je $\sum_{j=1}^{n} w_j = 1$.

$$w_j = \frac{\phi(W_j)}{\sum_{j=1}^{n} \phi(W_j)} \tag{5}$$

gde $\phi(W_j)$; (*j=1,2,…,n*), predstavlja značajnost *j*-tog kriterijuma koji su dobijeni kao optimalna rešenja MACBETH modela, dok w_j predstavljaju normalizovane vrednosti težinskih koeficijenata.

4. PRIMENA MACBETH METODE U OBLASTI OBRAZOVANJA: STUDIJA SLUČAJA

Urađen je pregled literature i izdvojeno je 6 od 37 kriterijuma kojima se opisuju karakteristike fakulteta značajne za njihov odabir od strane maturanata [6]. U Tabeli 2. dat je naziv i opis kriterijuma koji su korišćeni u studiji i čije su važnosti određene.

Tabela 2: Nazivi kriterijuma i njihov opis

Oznaka kriterijuma	Naziv kriterijuma	Opis kriterijuma
C1	Prosečan broj godina studiranja	Prosečan broj godina potrebnih za završetak studija
C2	Odnos broja prijavljenih i upisanih studenata	Broj prijavljenih i upisanih studenata na prvu godinu studija
C3	Odnos broja budžetskih i samofinansirajućih mesta	Broj budžetskih i samofinansirajućih mesta prilikom upisa na prvu godinu studija
C4	Iznos školarine	Visina školarine za jednu godinu studija
C5	Internacionalizacija	Priznatost diploma fakulteta u inostranstvu
C6	Mogućnost zaposlenja	Odnos ukupnog broja diplomiranih i broja diplomiranih studenata koji su se zaposlili u prvoj godini nakon diplomiranja

U istraživanju je učestvovalo 60 ispitanika (kandidata za upis na Univerzitet u Beogradu). Svaki ispitanik je odredio prioritet kriterijuma i na osnovu definisanih prioriteta je izvršio poređenje u parovima kriterijuma primenom semantičke skale (Tabela 1.). Na osnovu ekspertskih matrica $M^b = \left[\xi_{ij}^b\right]_{6\times 6}$, $1 \leq b \leq 60$, formirano je 60 linearnih modela.

U nastavku je dat rang kriterijuma i poređenje po parovima kriterijuma koje je izvršio jedan od ispitanika. Za konačan rang kriterijuma korišćeni su agregirani rezultati svih 60 ispitanika. Polna struktura ispitanika je

takva da je skoro dve trećine ispitanika ženskog pola (61%). Svi ispitanici pripadaju starosnoj strukturi od 18 do 19 godina, a gotovo jedna polovina ispitanika je iz Beograda.

Korak 1: Rangiranje kriterijuma

C3 > C6 > C4 > C2 > C1 > C5

Korak 2: Formiranje matrice poređenja

Tabela 3: Matrica poređenja

	C3	**C6**	**C4**	**C2**	**C1**	**C5**
C3	Indiferentno	Veoma slabo	Slabo	Slabo	Jako	Veoma jako
C6		Indiferentno	Veoma slabo	Veoma slabo	Srednje	Jako
C4			Indiferentno	Slabo	Jako	Veoma jako
C2				Indiferentno	Veoma slabo	Srednje
C1					Indiferentno	Veoma slabo
C5						Indiferentno

Korak 3: Formiranje MACBETH modela

$$z_{\min} = \phi(W_1) \tag{6}$$

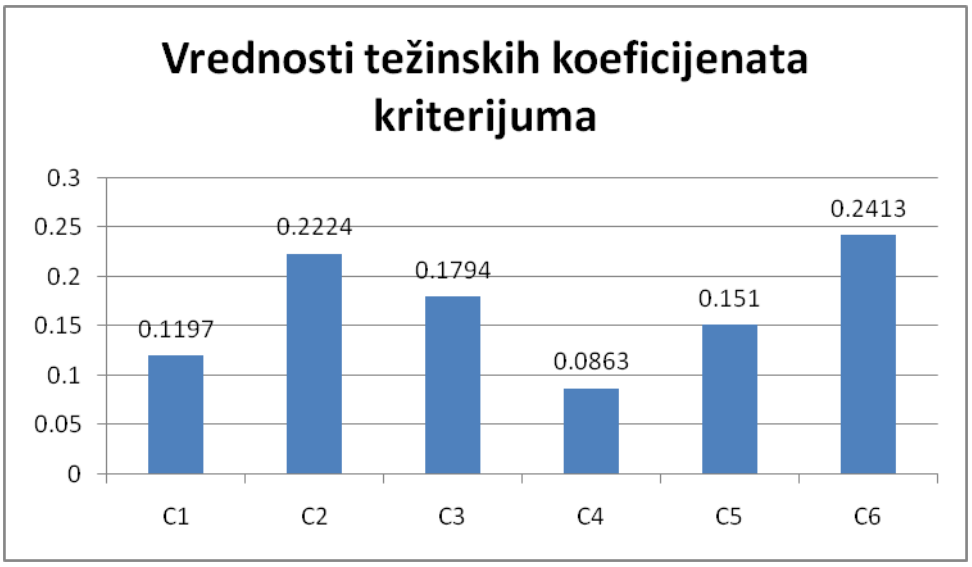
$$\forall W_i, W_j, i, j \in \{1,2,..,6\} : W_i > W_j \Rightarrow \phi(W_i) \geq \phi(W_j) + \xi(i,j) \tag{7}$$

$$\forall W_i, W_j, i, j, k, l \in \{1,2,..,6\} : \phi(W_i) - \phi(W_j) \geq \phi(W_k) - \phi(W_l) + \xi(i,j,k,l) \tag{8}$$

$$\phi(W_6) = 1 \tag{9}$$

Korak 4: Rešavanje modela

Konačne vrednosti težinskih koeficijenata date su na Slici 1.



Slika 1: Vrednosti težinskih koeficijenata kriterijuma

Maturantima je najvažniji kriterijum mogućnost zaposlenja, odnosno da postoji mogućnost da po završetku fakulteta pronađu posao u struci u roku od godinu dana. Na drugom mestu po važnosti je odnos broja prijavljenih kandidata i broja slobodnih mesta za upis. Ispitanicima je bitno da konkurencija ne bude prevelika kod upisa na željeni fakultet ili visoku školu. Odnos broja budžetskih i samofinansirajućih studenata je sledeći po važnosti, međutim, na osnovu rezultata kriterijum vezan za troškove školarine nije presudni kriterijum za upis, a jedan od razloga je što se većina studenata finansira iz budžeta Republike

Srbije. Ukoliko maturanti upišu fakultet kao samofinansirajući (gde moraju sami plaćati školarinu), a roditelji nisu u mogućnosti da finansiraju ili maturanti ne žele da rade i na taj način finansiraju svoje školovanje, oni će odustati od upisa na studije. Većina visokoškolskih ustanova u Srbiji može ponuditi međunarodno priznate diplome na kraju školovanja, međutim ovaj kriterijum se nije našao visoko na listi, a mogući razlog je što je maturantima još uvek rano da razmišljaju o radu u inostranstvu. Najmanje važan kriterijum je visina školarine. Na osnovu komentara maturanata, većina njih ima mogućnosti da im roditelji plate školarinu, a u suprotnom, pronašli bi posao i tako pokrili troškove studiranja.

5. ZAKLJUČAK

Cilj ovog istraživanja je da se saznaju preferencije maturanata – učenika četvrtih razreda srednjih škola, ali i drugih koji imaju nameru da se školuju na fakultetima ili visokim školama u Srbiji, vezane za najvažnije kriterijume prilikom izbora studija. U tu svrhu korišćena je multiatributivna MACBETH metoda. Može se reći da je MACBETH veoma jednostavna metoda čije poznavanje nije neophodno da bi ispitanik dao odgovore, ne zahteva puno vremena za rad od ispitanika i ne dozvoljava nedoslednost u odgovorima (ukoliko se pojave nedoslednosti, sama metoda ima ugrađen mehanizam koji obezbeđuje da se dobiju rezultati koji ukazuju na nedoslednost).

Veliki broj fakulteta pruža mogućnost budućim studentima i veliki izbor, stoga je potrebno i važno da maturanti pronađu adekvatan fakultet u skladu sa svojim željama i potrebama. Ideja za budući pravac istraživanja je da se ispita da li će rezultati ovog istraživanja uticati na pripremu za upis, kao i da se oceni efikasnosti Univerziteta u Beogradu na osnovu predloženih kriterijuma.

LITERATURA

[1] Bana e Costa, C. A., & Chagas, M. P. (2004). A career choice problem: An example of how to use MACBETH to build a quantitative value model based on qualitative value judgments. European Journal of Operational Research, 153, 323–331.

[2] Bana e Costa, C. A., & Vansnick, J. C. (1994). MACBETH — An interactive path towards the construction of cardinal value functions. International transactions in operational Research, 1(4), 489-500.

[3] Burgos, J., & Carnero, M. C. (2020). Assessment of Social Responsibility in Education in Secondary Schools. Sustainability, 12(12), 4849.

[4] Carnero, M. C. (2020). Fuzzy Multicriteria Models for Decision Making in Gamification. Mathematics, 8(5), 682.

[5] De Almeida, M. V., Ferreira, J. J., & Ferreira, F. A. (2018). Developing a multi-criteria decision support system for evaluating knowledge transfer by higher education institutions. Knowledge Management Research & Practice.

[6] Precisioncampus. (2021). 29 Key Performance Indicators (KPIs) for Colleges & Universities (https://precisioncampus.com/blog/education-kpis/) , pristupljeno 30.5.2021.

[7] Silva, M. D. C., Gomes, C. F. S., & Costa Junior, C. L. D. (2018). A hybrid multicriteria methodology Topsis-Macbeth-2n applied in the ordering of technology transfer offices. Pesquisa Operacional, 38(3), 413-439.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

UTICAJ POTROŠAČKOG KOSMOPOLITIZMA I KSENOCENTRIZMA NA PRIHVATANJE STRANIH BRENDOVA- MODERATORSKI EFEKAT IMIDŽA ZEMLJE POREKLA

THE INFLUENCE OF CONSUMER COSMOPOLITANISM AND XENOCENTRISM ON THE ACCEPTANCE OF FOREIGN BRANDS- MODERATORY EFFECT OF THE IMAGE OF THE COUNTRY OF ORIGIN

STEFAN ZDRAVKOVIĆ[1], JELENA PEKOVIĆ[1],

[1] Ekonomski fakultet, Kragujevac, szdravkovic034@yahoo.com

Rezime: *Prilikom internacionalizacije poslovanja od krucijalnog značaja je da menadžment kompanija istraži inostrano tržište, kako bi se formulisala adekvatna marketing strategija koja uvažava kulturalni okvir i etnocentrične tendencije potrošača. Određeni broj potrošača ima izražene etnocentrične tendencije koje impliciraju kupovinu proizvoda i usluga domaćeg porekla, dok neki potrošači imaju razvijenu globalnu potrošačku kulturu i kupuju inostrane proizvode i usluge koji potiču iz zemalja koje su prepoznatljive po njihovoj proizvodnji. Cilj istraživanja je da se utvrdi uticaj potrošačkog kosmopolitizma i ksenocentrizma na prihvatanje stranih brendova. Takođe, ispituje se moderatorski efekat imidža zemlje porekla u odnosu navedenih varijabli. Empirijsko istraživanje je sprovedeno na teritoriji Republike Srbije. Statistička analiza je radjena na uzorku od 188 ispitanika, koji su davali svoje odgovore putem ankete. Rezultati su pokazali da potrošački kosmopolitizam i ksenocentrizam ostvaruju pozitivan statistički značajan uticaj na prihvatanje stranih brendova, kao i da imidž zemlje porekla ostvaruje pozitivnu moderatorsku ulogu u odnosu navedenih varijabli.*

Ključne reči: *Potrošački kosmopolitizam, Potrošački ksenocentrizam, Strani brendovi, Imidž zemlje porekla.*

Abstract: *When internationalizing a business, it is crucial that the management of the company researches the foreign market, in order to formulate an adequate marketing strategy that respects the cultural framework and ethnocetric tendencies of consumers. A number of consumers have pronounced ethnocetrnic tendencies that imply the purchase of products and services of domestic origin, while some consumers have a developed global consumer culture and buy foreign products and services which originate from countries that are recognizable by their production. The aim of the research is to determine the influence of consumer cosmopolitanism and xenocentrism on the acceptance of foreign brands. Also, the moderating effect of the image of the country of origin in relation to the mentioned variables is examined. Empirical research was conducted on the territory of the Republic of Serbia. Statistical analysis was performed on a sample of 188 respondents, who gave their answers through a questionnaire. The results showed that consumer cosmopolitanism and xenocentrism have a positive statistically significant impact on the acceptance of foreign brands, as well as that the image of the country of origin has a positive moderating role in relation to these variables.*

Keywords: *Consumer cosmopolitanism, Consumer xenocentrism, Foreign brands, Country of origin.*

1. UVOD

Proces globalizacije je umanjio značaj nacionalnih granica i omogućio je porast broja multinacionalnih kompanija koje obavljaju poslovanje na inostranim tržištima. Prilikom internacionalizacije poslovanja međunarodni marketing menadžeri se susreću sa brojnim promenama, jer se po pravilu domaće i inostrano tržište značajno razlikuju (Cleveland and Balakrishnan 2019). Veoma je važno da menadžment multinacionalne kompanije istraži inostrano tržište na kome želi da nastupi i prezentuje svoje brendove, jer na taj način dobija neophodne informacije o stavovima, uverenjima, životnim stilovima, etnocentričnim tendencijama i kulturološkom okviru potrošača (Prince et al. 2019). Na osnovu navedenih karakteristika potrošača, moguće je razumeti njihovo ponašanje, želje i kupovne motive. Potrebno je formulisati i implementirati adekvatnu marketing strategiju i prilagoditi brendove potrebama potrošača kako bi oni

ostvarili određeni stepen satisfakcije, kao i da bi nakon određenog vremena postali lojalni (Ishida and Taylor 2012). Cilj svake kompanije je što veća baza lojalnih potrošača, jer su oni izvor dugoročnog profita, koji je glavni motiv poslovanja kompanije, odnosno njenih vlasnika i ostalih stejkholdera (Liu et al. 2012).

Na odluku potrošača da prihvate strane brendove utiču mnogi lični, psihološki i sociološki faktori. Brend se može definisati kao ime, simbol, znak, logo, ili bilo koja druga karakteristika koja diferencira robu jednog prodavca od robe drugih prodavaca (Mrad 2018). U ovom istraživanju će se ispitivati efekat potrošačkog kosmopolitizma i ksenocentrizma na prihvatanje stranih brendova od strane potrošača, kao i moderatorski efekat imidža zemlja porekla u odnosu navedenih varijabli. Kosmpolitizam je sociološki koncept koji se odnosi na prihvatanje vrednosti, verovanja, običaja, tradicije, karakteristika drugih kultura kao i ostvarivanje interakcije i komunikacije sa ljudima koji iz njih potiču, a iz osnovnog koncepta se razvio potrošački kosmopolitizam (Khare and Kautis 2021). Ksenocentrizam je takođe sociološki koncept, ali se on odnosi isključivo na prihvatanje inostranih kultura i njihovih vrednosti i verovanja, dok se vrednosti domaće kulture ne prihvataju, a iz osnovnog koncepta se razvio potrošački ksenocentrizam (Mueller et al. 2020). Zemlja porekla predstavlja informaciju o mestu gde su određeni proizvodi ili usluge proizvedeni. Ukoliko proizvod potiče iz zemlje koja je prepoznatiljiva po njegovoj proizvodnji, kao što je na primer Francuska sinonim za dobro vino, a Italija za kvalitetnu kožnu obuću, povećava se verovatnoća da će potrošač taj proizvod kupiti. U nedostatku drugih informacija u procesu kupovine, zemlja porekla proizvoda predstavlja signal kvaliteta i pouzdanosti (Chen 2020).

2. PREGLED LITERATURE

U okviru procesa globalizacije, etnocentrične tendencije i kulturološki okvir potrošača predstavljaju važne faktore uspeha međunarodnih marketing poduhvata. Određeni broj potrošača ima izražene etnocentrične tendencije, koje impliciraju kupovinu domaćih proizvoda i usluga (Lee et al. 2017). Sa druge strane, neki potrošači imaju razvijen visok stepen kulturalne inteligencije, svetske promišljenosti i globalne potrošačke kulture, što implicira kupovinu inostranih brendova (Pratono and Arli 2020). Vlade pojedinih država često sprovode marketing kampanje u kojima pozivaju stanovništvo da kupuju proizvode i usluge domaćeg porekla, jer se na taj način podržava nacionalna privreda, dolazi do povećanja stope zaposlenosti i životnog standarda (Veljković, 2009). Međutim, iako se u navedenim kampanjama ističe da je kupovina domaćih proizvoda i usluga etička i moralna obaveza svakog pojedinca, postavlja se pitanje da li je opravdano usmeravati građane na kupovinu inostranih brendova, koji su svojim kvalitetom, karakteristikama, tehničkim performansama uglavnom znatno inferiorniji u odnosu na inostrane brendove (Marinković, 2017). Takođe, implementacija protekcionističke politike je jedna od najznačajnijih barijera za razvoj međunarodne trgovine i uspostavljanje saradnje i progresivnih ekonomskih odnosa sa drugim državama (Pavlović & Savić, 2017).

Koncept kosmopolitizma ima sociološko poreklo i odnosi se na shvatanje pojedinaca da je potrebno upoznavati običaje, tradiciju, istoriju i kulturno nasleđe drugih zemalja. Osobe koje su kosmopoliti imaju razvijen visok stepen kulturalne inteligencije, žele da izađu iz „zone komfora“, često putuju u inostranstvo, ostvaruju interakciju i komunikaciju sa lokalnim stanovništvom i smatraju da je upoznavanje drugih kultura dragoceno i autentično iskustvo za njih (Pandey et al. 2015). Vremenom se kao koncept razvio i potrošački kosmopoliitzam, koji se odnosi na ekonomsku dimenziju i predstavlja uverenja potrošača da je potrebno kupovati proizvode i usluge inostranog porekla zbog visokog stepena kvaliteta i pouzdanosti (Lee and Mazodier 2015). Šapić (2017) je u svom istraživanju utvrdio da potrošački kosmopolitizam ostvaruje pozitivan uticaj na odluku potrošača da prihvate strane brendove i posete inostrane restorane brze hrane. Prince et al. (2019) ističu da potrošački kosmopolitiizam pozitivno utiče na nameru potrošača da kupe inostrane brendove, kao i da oni tokom vremena postaju lojalni datim brendovima. Na osnovu navedenih istraživanja, može se formulisati prva istraživačka hipoteza:

H1: *Potrošački kosmopolitizam ostvaruje pozitivan statistički značajan uticaj na odluku potrošača da prihvate inostrane brendove.*

Koncept etnocentrizma je takođe sociološkog karaktera i zasniva se na verovanju pojedinaca da je njihova kultura dominantna i najbolja, tako da prihvataju samo vrednosti svoje kulture, dok koncept ksenocentrizma podrazumeva prihvatanje samo vrednosti drugih kultura (Bizumic, 2019). Iz osnovnih koncepata vremenom su se razvili koncepti potrošačkog etnocentrizma i ksenocentrizma. Potrošački etnocentrizam se zasniva na uverenju pojedinaca da je potrebno kupovati isključivo domaće proizvode i usluge zbog osećaja ljubavi prema sopstvenoj naciji (Zdravković et al. 2020). Sa druge strane, potrošački ksenocentrizam podrazumeva shvatanje da treba kupovati isključivo inostrane brendove koji poseduju visok stepen kvaliteta (Yen 2018). Jimenez-Guerrero et al. (2020) ističu da se za merenje potrošačkog etnocentrizma koristi CETSCALE, dok

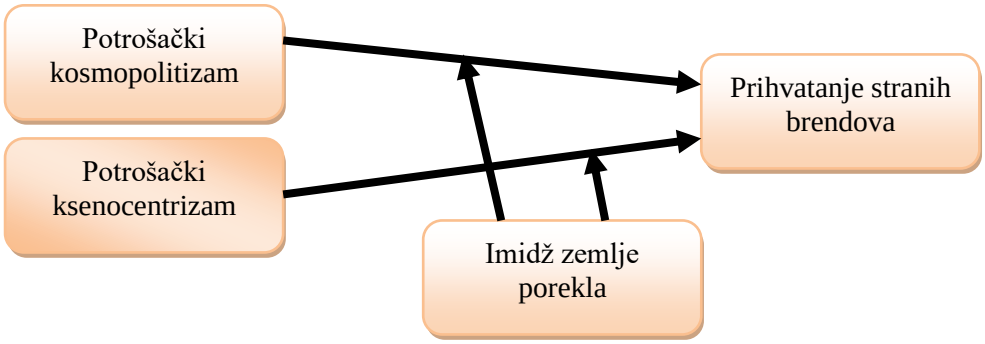
Rojas-Mendez and Chapa (2020) ističu da se za merenje potrošačkog ksenocentrizma koristi C-XENSCALE, koja će biti korišćena i u ovom istraživanju, uz odabir manjeg broja konstatacija. Mueller et al. (2020) su utvrdili da visok stepen potrošačkog ksenocentrizma ostvaruje pozitivan uticaj na procene i namere potrošača u pogledu kupovine inostranih brendova. Cleveland and Balakrishnan (2019) ističu da osobe kod kojih je izražen potrošački ksenocentrizam izbegavaju kupovinu domaćih brendova, već kupuju inostrane luksuzne brendove. Na osnovu navedenih istraživanja, može se formulisati druga istraživačka hipoteza:

H2: *Potrošački ksenocentrizam ostvaruje pozitivan statistički značajan uticaj na odluku potrošača da prihvate inostrane brendove.*

Prilikom procesa kupovine, mnogi potrošači se odlučuju na kupovinu proizvoda i usluga na osnovu imidža zemlje porekla. Esmaeilpour and Abdolvand (2016) ističu da se za merenje imidža zemlje porekla mogu koristiti pokazatelji poput ekonomske razvijenosti, razvoja inovativne tehnologije, modnog kapitala, životnog standarda, priliva stranih direktinih investicija. U nedostatku pouzdanih informacija, mnogi potrošači se prilikom kupovine oslanjaju na imidž zemlje porekla i cenu proizvoda, kao faktore kvaliteta i pouzdanosti (Nath Sanyal and Datta 2011). Fernandez-Ferrin et al. (2020) ističu da je imidž zemlje porekla dinamička kategorija, tako da će loše vođena ekonomska politika uticati na njegovo smanjenje, dok će porast životnog standarda i primena inovativne tehnologije u procesu proizvodnje uticati na poboljšanje imidža zemlje porekla. Prince et al. (2019) su utvrdili da potrošački kosmopolitizam pozitivno utiče na odluku potrošača da prihvate inostrane brendove. Lee et al. (2017) ističu da osobe kod kojih je izražen visok stepen potrošačkog ksenocentrizma kupuju inostrane brendove zbog osećaja prestiža, kao i zbog visokog stepena kvaliteta koji poseduju. Lee (2020) navodi da potrošači često kupuju proizvode i usluge na osnovu imidža zemlje porekla. Na osnovu navedenih istraživanja, može se formulisati treća istraživačka hipoteza.

H3: *Imidž zemlje porekla ostvaruje signifikantnu pozitivnu moderatorsku ulogu u odnosu efekata potrošačkog kosmopolitizma i ksenocentrizma na privahtanje stranih brendova.*

Na osnovu postavljenih istraživačkih hipoteza, može se formulisati istraživački model (Slika 1).



Slika 1: Istraživački model

Izvor: Autor

3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Empirijsko istraživanje je sprovedeno na teritoriji Republike Srbije (Beograd, Kragujevac) u periodu od 01. do 31. marta 2021. godine. Podaci su prikupljeni anketnim metodom od 188 ispitanika, koji su davali odgovore na konstatacije putem Likertove skale (1-apsolutno se ne slažem; 7-apsolutno se slažem). Ispitanici su segmentirani prema demografskim karakteristikama pol, starost i obrazovanje. U uzorku ima 98 žena i 90 muškaraca, najveći broj ispitanika u uzorku je starosne dobi od 19 do 30 godina (37,8% uzorka), a kada je u pitanju obrazovanje najveći broj ispitanika ima završenu srednju školu njih 105, dok je fakultet završilo 68 ispitanika. Istraživačke varijable su merene putem konstatacija koje su preuzete iz relevantne marketinške literature. Navedne konstatacije u prikazane putem Tabele 1. Od statističkih analiza primenjene su analiza pouzdanosti, višestruka i moderatorska regresiona analiza u cilju potvrđivanja ili odbacivanja hipoteza.

Tabela 1: Varijable istraživanja i njima odgovarajuće konstatacije

Varijable	Konstatacije	Izvor
Potrošački kosmopolitizam	1.Imam želju da upoznam kulturno nasleđe i istoriju drugih zemalja. 2.Uživam tokom komunikacije sa ljudima iz drugih kultura. 3.Prihvatam vrednosti, verovanja i pravila ponašanja koja su karakteristična za druge kulture.	**Prilagođeno prema:** **Šapić (2017)**
Potrošački ksenocentrizam	4.Inostrani proizvodi i usluge poseduju visok stepen kvaliteta. 5.Proizvodi i usluge inostranog porekla poseduju izuzetne tehničke karakteristike i performanse. 6.Preferiram kupovinu inostranih brendova u odnosu na domaće.	**Prilagođeno prema:** **Rojas Mendez and Chapa (2020)**
Imidž zemlje porekla	7.Važno je da država ulaže novčana sredstva u istraživanje i razvoj. 8.Potrebno je primeniti inovativnu tehnologiju u okviru procesa proizvodnje. 9.Bitno je da je država prepoznatljiva po modnom kapitalu i da iz nje potiču poznati modni kreatori.	**Prilagođeno prema:** **Esmaeilpour and Abdolvand (2016)**
Prihvatanje stranih brendova	10.Uvek kupujem inostrane brendove. 11.Spreman sam da članovima svoje porodice i prijateljima preporučim inostrane brendove. 12.Inostrani brendovi zadovoljavaju moje potrebe i omogućavaju mi prestiž i status u društvu.	**Prilagođeno prema:** **Son et al. (2013)**

Izvor: Autor

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

U istraživanju je prvo primenjena analiza pouzdanosti, kako bi se ispitalo da li su konstatacije putem kojih su merene istraživačke varijable međusobno interno konzistentne. U Tabeli 2 su predstavljeni rezultati.

Tabela 2: Analiza pouzdanosti

Varijable	Vrednost *Cronbach's alpha* koeficijenta
Potrošački kosmopolitizam	0.847
Potrošački ksenocentrizam	0.813
Imidž zemlje porekla	0.844
Prihvatanje stranih brendova	0.886

Izvor: Autor

Analiza pouzdanosti se sprovodi sagledavanjem vrednosti *Cronbach's alpha* koeficijenta, a potrebno je da njegova vrednost bude veća od 0.70 da bi varijabla imala zadovoljavajući stepen pouzdanosti (Nunnally 1978). Na osnovu rezultata, može da se zaključi da je vrednost svih varijabli veća od navedenog praga, tako da se varijable mere putem adekvatnih konstatacija, a istraživački model je relevantan. U istraživanju je primenjena višestruka regresiona analiza kako bi se ispitao uticaj potrošačkog kosmopolitizma i potrošačkog ksenocentrizma na prihvatanje stranih brendova. Rezultati su prikazani putem Tabele 3.

Tabela 3: Višestruka regresiona analiza (zavisna varijabla: Prihvatanje stranih brendova)

Varijable	β	t test	Sig.	VIF
Potrošački kosmopolitizam	0.308*	4.899	0.000	1.171
Potrošački ksenocentrizam	0.426*	6.783	0.000	1.171

Izvor: Autor *Napomena: *- Koeficijenti su statistički značajni na nivou 0,01;* $R^2 = 0.377$

Koeficijent determinacije R^2 iznosi 0,377 tako da je 37,7 % varijabiliteta zavisne varijable prihvatanje stranih brendova opisano datim regresionim modelom. U istraživanju se ne javlja problem multikolinearnosti, jer je vrednost VIF koeficijenata manja od praga 5 (Field 2000). Varijable potrošački kosmopolitizam (**β=0.308; Sig=0.000**) i potrošački ksenocentrizam (**β=0.426; Sig=0.000**) ostvaruju statistički značajan pozitivan uticaj na prihvatanje stranih brendova od strane potrošača, tako da su **potvrđene istraživačke hipoteze H1 i H2**. Potrošački kosmopolitizam podrazumeva da potrošač želi da kupi inostrane brendove, dok se potrošački ksenocentrizam zasniva na ignorisanju domaćih brendova i kupovini isključivo inostranih brendova, tako da je njegov efekat na prihvatanje stranih brendova veći. Kako bi se ispitao moderatorski efekat imidža zemlje porekla u odnosu potrošačkog kosmopolitizma i potrošačkog ksenocentrizma na prihvatanje stranih brendova primenjena je moderatorska regresiona anliza (Tabela 4).

Tabela 4: Moderatorski uticaj imidža zemlje porekla (zavisna varijabla: Prihvatanje stranih brendova)

Moderatorski uticaj	β	t test	Sig.
Potrošački kosmopolitizam x Imidž zemlje porekla	0.214*	3.514	0,002
Potrošački ksenocentrizam x Imidž zemlje porekla	0.309*	3.974	0.000

Izvor: Autor *Napomena: *- Koeficijenti su statistički značajni na nivou 0,01;*

Rezultati pokazuju da imidž zemlje porekla ostvaruje signifikantnu pozitivnu moderatorsku ulogu u odnosu potrošačkog kosmopolitizma i prihvatanja stranih brendova (**β=0.214; Sig=0.002**), kao i u odnosu potrošačkog ksenocentrizma i prihvatanja stranih brendova (**β=0.309; Sig=0.000**), tako da je **potvrđena istraživačka hipoteza H3**. Potrošački kosmopolitizam i ksenocentrizam ostvaruju pozitivan efekat na prihvatanje stranih brendova, a ukoliko brendovi potiču iz zemalja koje su prepoznatljive po dobrom imidžu, navedeni efekat se dodatno pojačava i potrošač brže prihvata stranih brend.

5. ZAKLJUČAK

Rezultati istraživanja su pokazali da potrošački kosmopolitizam i potrošački ksenocentrizam ostvaruju pozitivan statistički značajan uticaj na prihvatanje stranih brendova, kao i da imidž zemlje porekla ostvaruje signifikantnu pozitivnu moderatorsku ulogu u odnosu navedenih varijabli, tako da su potvrđene sve tri istraživačke hipoteze. U prethodnim istraživanjima su navedene varijable posmatrane kao parcijalne determinante prihvatanja stranih brendova, dok je u ovom istraživanju primenjen integrativni i sveobuhvatni pristup i ispitivan je zajednički efekat potrošačkog kosmopolitizma, potrošačkog ksenocentrizma i imidža zemlje porekla na prihvatanje stranih brendova, što se može okarakterisati kao *originalnost i glavni doprinos* istraživanja. *Teorijske implikacije* se ogledaju u proširenju naučnog saznanja o uticaju navedenih varijabli na prihvatanje stranih brendova. *Menadžerske implikacije* se ogledaju u prezetnovanju dobijenih rezultata međunarodnim marketing menadžerima, koji im mogu biti od koristi prilikom formulisanja adekvatne marketing strategije za nastup na inostranom tržištu, koja treba da uvaži etnocentrične tendencije potrošača i njihov kulturološki okvir. *Ograničenje istraživanja* predstavlja mali broj ispitanika u uzorku, tako da bi u *budućim istraživanjima* trebalo povećati broj ispitanika u uzorku i u istraživački model uključiti još neku varijablu koja može biti značajna determinanta prihvatanja stranih brendova.

LITERATURA

[1] Bizumic, B. (2019). Effects of the dimensions of ethnocentrism on consumer ethnocentrism: An examination of multiple mediators. *International Marketing Review*, 36(5),748-770.

[2] Cleveland, M., & Balakrishnan, A. (2019). Appreciating vs venerating cultural outgroups: The psychology of cosmopolitanism and xenocentrism. *International Marketing Review*, 36(3), 416-444.

[3] Chen, B. (2020). When foreign brands appear local, and local brands appear foreign: The asymmetric effects of foreign branding in developing countries. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, 33(1), 145-161. DOI:10.1108/APJML-06-2019-0396

[4] Esmaeilpour, F., & Abdolvand, M.A. (2016). The impact of country-of-origin image on brand loyalty: evidence from Iran. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, 28(4), 709-723.

[5] Field, A. (2000). *Discovering statistics using SPSS for Windows*. Thousand Oaks: Sage Publication

[6] Fernández-Ferrín, P., Bande, B., Martín-Consuegra, D., Díaz, E., & Kastenholz, E. (2020). Sub-national consumer ethnocentrism and the importance of the origin of food products: an exploratory analysis. *British Food Journal*, 122(3), 995-1010. DOI:10.1108/BFJ-09-2019-0746
[7] Ishida, C., & Taylor, S.A. (2012). An alternative measure of relative brand attitudes. *Journal of Product & Brand Management*, 21(5), 317-327. DOI:10.1108/10610421211253614
[8] Jiménez-Guerrero, J.F., & Pérez-Mesa, J.C., & Galdeano-Gómez, E. (2020). Alternative Proposals to Measure Consumer Ethnocentric Behavior: A Narrative Literature Review. *Sustainability*, 12(6), 1-16.
[9] Khare, A., & Kautish, P. (2021). Cosmopolitanism, self-identity, online communities and green apparel perception. *Marketing Intelligence & Planning*, 39(1), 91-108. DOI:10.1108/mip-11-2019-0556
[10] Liu, F., Li, J., Mizerski, D., & Soh, H. (2012). Self-congruity, brand attitude, and brand loyalty: a study on luxury brands. *European Journal of Marketing*, 46(7/8), 922-937.
[11] Lee, R., & Mazodier, M. (2015). The roles of consumer ethnocentrism, animosity, and cosmopolitanism in sponsorship effects. *European Journal of Marketing*, 49(5/6), 919-942.,
[12] Lee, R., Lee, K.T., & Li, J. (2017). A memory theory perspective of consumer ethnocentrism and animosity. *European Journal of Marketing*, 51(7/8), 1266-1285. DOI:10.1108/EJM-03-2014-0188
[13] Lee, S. (2020). When does the developing country brand name alleviate the brand origin effect? Interplay of brand name and brand origin. *International Journal of Emerging Markets*, 15(2), 387-402.
[14] Marinković, V. (2017). Efekti animoziteta prema Evropskoj Uniji i patriotizma na potrošački etnocentrizam građana Srbije. *Ekonomski Horizonti*, 19(1), 3-15. DOI:10.5937/ekonhor1701003M
[15] Mrad, M. (2018).Brand addiction conceptual development.*Qualitative Market Research*,21(1),18-38.
[16] Mueller, A., Damacena, C., & Torres, C.V. (2020). The Xenocentrism scale in Brazil: validation with wine consumers. *International Journal of Wine Business Research*, 32(3), 423-440.
[17] Nunnally, J. C. (1978). *Introduction to Psychological Measurement*. New York: McGraw-Hill
[18] Nath Sanyal, S., & Datta, S.K. (2011). The effect of country of origin on brand equity: an empirical study on generic drugs. *Journal of Product & Brand Management*, 20(2), 130-140.
[19] Pandey, S., Khare, A., & Bhardwaj, P. (2015). Antecedents to local store loyalty: influence of culture, cosmopolitanism and price. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 43(1), 5-25. DOI:10.1108/IJRDM-08-2013-0156
[20] Pavlović, G. & Savić, J. (2017). Ispitivanje socio-psiholoških faktora potrošačkog etnocentrizma. *Marketing*, 48(4), 243-253. DOI:10.5937/Markt1704243P
[21] Prince, M., Yaprak, A.N., & Palihawadana, D. (2019). The moral bases of consumer ethnocentrism and consumer cosmopolitanism as purchase dispositions. *Journal of Consumer Marketing*, 36(3), 429-438. DOI:10.1108/JCM-11-2017-2432
[22] Pratono, A.H., & Arli, D. (2020). Linking global consumer culture and ethnocentric consumerism to global citizenship: exploring the mediating effect of cultural intelligence. *International Journal of Sociology and Social Policy*, 40(7/8), 659-675. DOI:10.1108/IJSSP-10-2019-0212
[23] Rojas-Méndez, J.I. & Chapa, S. (2020). X-Scale: a new scale to measure consumer xenocentrism. *Marketing Intelligence & Planning*, 38(3), 354-368. DOI:10.1108/MIP-01-2019-0062
[24] Son, J., Jin, B., & George, B. (2013). Consumers' purchase intention toward foreign brand goods. *Management Decision*, 51(2), 434-450. DOI:10.1108/00251741311301902
[25] Veljković, S. (2009). Uticaj etnocentrizma na potrošače u Srbiji. *Marketing*, 40(2), 97-107.
[26] Yen, Y.-S. (2018). Extending consumer ethnocentrism theory: the moderating effect test. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, 30(4), 907-926. DOI:10.1108/APJML-09-2017-0226
[27] Zdravković, S., Šapić, S., & Filipović, J. (2020). Analiza socio-psiholoških faktora potrošačkog etnocentrizma- moderatorski efekat nacionalnog identiteta. *Marketing- Časopis za marketing teoriju i praksu*, 51(2), 77-87. DOI:10.5937/markt2002077Z
[28] Šapić, S. (2017). Efekti kosmopolitizma i tradicije na procene i namere korisnika usluga restorana brze hrane. *Ekonomski horizonti*, 19(2), 81-93. DOI:10.5937/ekonhor1702081S

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

CIRCULAR ECONOMY IN CONSTRUCTION

MILENA SENJAK[1], IGOR PEŠKO[2], VLADIMIR MUČENSKI[3], MIRJANA TERZIĆ[4]

[1234] Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, {senjakm, igorbp, mucenskiv, terzic.mirjana}@uns.ac.rs
[2] Institute of Architecture and Construction, South Ural State University

Abstract: *Not only in construction but in all branches of industry that deal with production, the most common model of production is the linear model. This type of production involves the transformation of natural resources into a finished product, the use of that product and its disposal, i.e. conversion into waste. Since construction waste already constitutes as much as 45% of the total waste, it is necessary to introduce changes at the very beginning of the project, starting from the facility design phase, and to predict the further path of materials. These materials are to be transformed into raw materials for the construction of other facilities, with a minimal amount of new energy invested. One of the solutions is to apply the principles of the circular economy.*

Keywords: *Circular economy, Construction, Construction waste, Closed-loop material.*

1. INTRODUCTION

According to the European Environment Agency, the amount of waste in a country is an indicator of the efficiency of that country's society and represents an immense loss of resources in the form of materials and energy. Excessive quantities of waste can be the result of inefficient production processes, poor durability of goods, excessive consumption patterns, but can also occur due to short-term and inadequate design. [1] The aim is to achieve ecological ideal - closed loops of material. [2] The amount of waste tends to be zero. One of the solutions for reducing the waste that had already been generated is product recycling, but this is insufficient. The goal is to prevent waste generation. The construction industry is responsible for 40% of Europe's greenhouse gas emissions and uses more than 50% of the material taken from the Earth's crust. Waste generated by demolition and construction of facilities, as well as the waste generated by building manufacturers themselves, accounts for more than 45% of the total controlled waste. [1] According to research, only 10% of waste is recycled in the Republic of Serbia, whereas the remaining 90% is disposed of in over 3000 illegal landfills. [3] Two-thirds of waste in the Republic of Serbia is construction waste generated through demolition of buildings, adaptation, renovation, or reconstruction. [4] In the near future, there will be an increase in the price of resources, rising energy costs, growing needs of the population and migration to cities, but what is most important is the disturbance that occurs in climatic conditions, with the Western Balkans already being a medium-risk zone. [5]

Construction and demolition waste is constantly generated during the entire construction cycle, including the planning and design phases, due to a lack of awareness when it comes to waste minimization. The construction phase contributes to producing the greatest amount of waste when construction activities are not managed efficiently. Also, the diversity of organizations involved (e.g., designers, contractors, subcontractors, consultants, general workers, government officials, the public, etc.) make it difficult to set waste management as a priority. [6] The technical and functional life of buildings nowadays ranges between 50 and 75 years, some buildings have been demolished due to violations of their technical characteristics, but a larger number of buildings are being demolished in order to build new ones because they fail to meet the functional requirements of their end-users. [1] Reuse of materials is the most desirable option, since elements such as brick, pieces of wood, elements of steel, concrete, etc., are used for the same purposes with minimal processing, while recycling involves the destruction of products after consumption to produce new or similar ones. [2] In order for any material to be reused repeatedly in high-quality cycles, it is necessary to predict its shelf life and use in a building. A building is an object in which the elements suffer constant changes due to the load. It is not static, therefore it cannot be expected that the materials will remain intact over time. [7] Very often, despite the maintenance of materials during the life span of the object, their quality itself is not comparable to the quality of new materials. [8] Few materials can be reused after the life span of a certain building structure is ended, because these structures were not designed in such a way that allows for the reuse of material.

Webster suggests that the design should avoid concrete-steel composite elements, as they are difficult to deconstruct, and these materials are difficult to separate. Also, the use of the fewest different materials possible within the structure is advocated. [2] Hopkinson is also of the opinion that a major obstacle to the deconstruction of a structural assembly to reuse materials/elements is the composite construction of several different materials within a single element. [9] Huang proposes the methodology of construction waste management based on the 3R (reduction, reuse and recycle) principle of waste reduction as early as in the design phase, reuse, product recycling. [10] Fort suggests the replacement of natural aggregate with recycled brick, partial replacement of cement binder with brick powder and complete replacement of cement with brick powder using alkaline activation (sodium hydroxide and sodium silicate). [11] However, construction waste is not sorted but is dumped uncontrollably along with other types of waste. As a result, there is no record of the amount, type and origin of construction waste. [12] Huang believes that the main problems in the application of the 3R principle (reduction, reuse and recycle) are: lack of standards for building design, low costs of waste disposal and inappropriate urban planning. [10] In the Republic of Serbia, the main problems are poor legal regulations. The lack of regulations that allow waste to be reused as raw material, lack of binding regulations for the recycling of construction waste, and, finally, non-existing sanctions for those who illegally dispose of waste in illegal landfills. [13] Hopkinson believes that in the future, buildings could become banks of materials that would be processed and incorporated into new buildings, i.e. value would be created by viewing each building as a warehouse of materials for the future building after its life cycle is over. [9]

Introduction of the principle of circular economy (CE) in construction would significantly reduce the existing construction waste and reduce the creation of new amounts of waste. Therefore, in the next chapter, we will take a closer look at circular economy.

2. CIRCULAR ECONOMY

Not only in construction, but in all branches of industry that deal with production, the most common model of production is the linear model. This type of production involves the transformation of natural resources into a finished product, followed using that product and its disposal, i.e., conversion into waste. This means that natural resources are turned into waste, which leads to high levels of pollution. CE is a way of creating the value of materials at the end of the life span of a structure in such a way that, by improving the design and maintenance of facilities, waste is transferred from the end of the chain to its beginning, becoming a raw material for reuse. The best-known definition of CE given by the Ellen MacArthur Foundation states that "CE is an industrial system that is reversible or regenerative in design and intent," meaning that systems designed based on the study of the flow of materials and energy throughout the lifecycle, serve as input for designing new closed-loop systems. [14] CE begins at the point when the use of goods or materials ends, its goal is to return the material to the condition suitable for the new usage. [8] What is very important is that steps, which will facilitate the implementation of the circular economy methodology in the construction industry, should already be taken during the design phase.

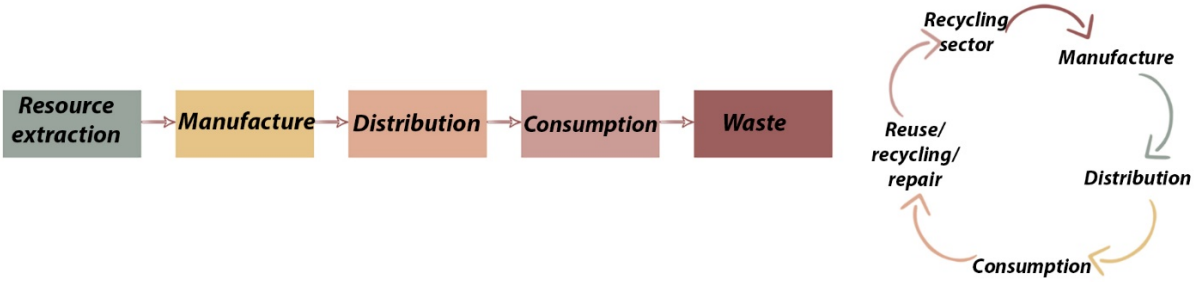


Figure 1: Comparison of linear (left diagram) and circular economy (right diagram) [5]

Figure 1 graphically shows the difference between linear and circular production through diagrams. By introducing the recycling/reuse/reprocessing phase of the used product, we transform a linear, one-way flow into circulation of material with the tendency of reaching a closed loop, in order to stop the constant depletion of natural resources. In applied terms, CE aims to [3]:

- maximize resource utilization in the production process,
- maximize the duration of the value of a product or service,
- minimize waste material in the production process,
- minimize waste material when using the product,
- allow the product to be returned to the production process after being used to create new value.

In this sense, CE offers a new perspective of the production and consumption systems, with the focus on restoring the value of the resources used. However, the full adoption of the principles of circular economy in organizations and supply chains encounters obstacles, resulting primarily from the lack of advanced

technologies. CE is closely related to digitalization because it enables monitoring of both the process and production itself. [15] The basic principles of CE are [16]:

- ***Waste design*** - is based on the principle that the parts of a product are effectively designed so that they are easily disassembled and restored for reuse after exploitation, with minimal energy consumption for the recovery of the element,
- ***Creating resilience through diversification*** - modularity, versatility and adaptability are acceptable and desirable characteristics of a company,
- ***Reliance on renewable energy sources*** - the company or plant should strive for renewable energy sources,
- ***Systemic thinking*** - is the ability to understand how parts of the whole affect each other, as well as the impact of the whole on its parts. The elements are observed in relation to their infrastructure, environment, and social context,
- ***Waste is a resource*** - a material with little or no value and without any purpose can be a resource for some other processes or can be applied in some other system.

CE has not only been developed based on 3R principles - reduction, reuse, and recycling, but also includes elements of rethinking and redesign with the aim of increasing resource efficiency by reviewing the process. [6] The concept is defined as a regenerative system that always keeps materials at the highest value so that they can be reused later on. [17] To ensure an efficient circular economy, a vast proportion of the material must feature reusability or recyclability. [18]

3. THE IMPACT OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY ON THE ENVIRONMENT

The construction industry has a significant economic, social and environmental impact on both society and the environment, not only during the construction of facilities but throughout their entire life cycle. The positive effects of the construction industry are the following: construction of facilities that meet the needs of people, creating many jobs not only in construction but also in many other industries that are needed during construction projects, thus affecting the growth of the national economy. [19] However, there are also negative impacts such as noise, dust, air and soil pollution, traffic congestions, water pollution, consumption of large amounts of natural raw materials and generation of large amounts of waste. [20] The construction industry accounts for as much as 40% of total energy consumption. [19]

Although the largest part of the negative impact occurs in the construction phase of the facilities and the phases following it, any change that would reduce negative effects begins in the design phase. As the demand for construction is growing rapidly along with an increasing demand for resources, it is therefore especially important to react promptly and in the early stages of the project, since the construction, exploitation, maintenance and removal or conversion phases last much longer in comparison with the design phase. In the construction industry, the transition from a linear to a circular economy requires a focus on systemic thinking to understand the entire life cycle of a building and the construction value chain, including better stakeholder integration. [21] The majority of existing buildings are not designed for adaptation, dismantling or reuse of its elements that have retained high values. [9]

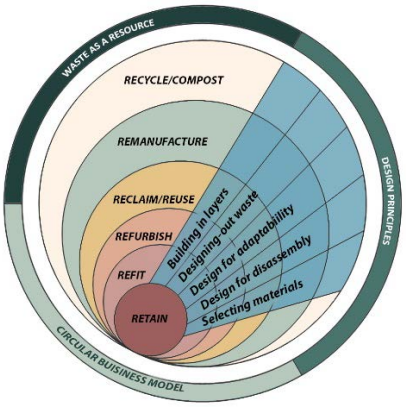


Figure 2: Principles of circular economy applied in the construction industry [22]

Figure 2 shows six possible scenarios for buildings from the aspect of circular economy, including retention, refitting, refurbishing, reclaiming/reusing, remanufacturing, and recycling of a building. The three pink circles show the most desirable scenarios, whereas the blue fields illustrate the design principles that enable the application of circular economy in construction.

4. OBSTACLES AND SOLUTION PROPOSALS FOR THE IMPLEMENTATION OF CE IN CONSTRUCTION

By carrying out surveys among researchers, consultants, contractors and clients, it was possible to summarize the key obstacles to the application of the circular economy in the construction industry (Figure 3), where some of them include: failure to consider what happens at the end of the life cycle of a facility, lack of market mechanisms to help faster recovery, low values of products/materials at the end of their life cycle, lack of knowledge about the circular economy, lack of interest. [23]

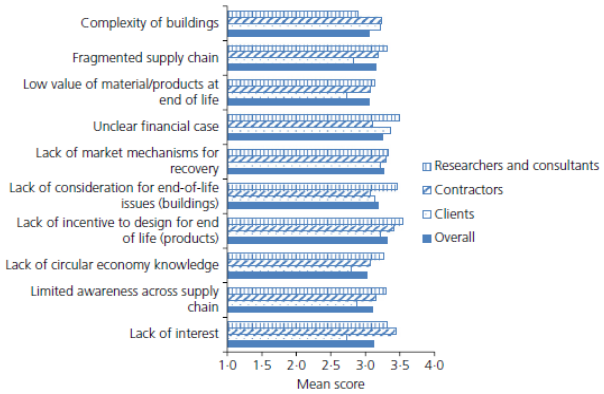


Figure 3: Overview of the most significant obstacles to the implementation of the circular economy in the construction industry [23]

One of the solutions involves modular buildings that minimize the use of resources and close the energy loop by prefabricating and making it possible to reuse modules. From the perspective of the principles of the circular economy, modular construction provides resource efficiency, storage and the possibility to expand the existing elements, designing for the future and reviewing the business model. The problem with modular construction is that there is still no communication between the user and the participants in the design, and any changes require an extremely long time, which means that it is not adaptable. The use of technology and digitalization, as well as the cooperation between stakeholders, can compensate for these shortcomings. [24] What is important is that there is data on materials used such as composition, supply chain, properties, etc. with the BIM tool currently being the best solution. [7] Mangialardo combines five design principles that should be used to apply the circular economy in construction. ***Construction of a building in layers***, that is, from elements of different life spans, which will be replaced successively after the expiration of their life span or after getting damaged, and it is crucial for them to be independent of one another. The second principle is ***the design of waste*** in a way that it becomes raw material, i.e., the use of materials from old facilities to build new ones in order to reduce the raw material demand. The third principle refers to ***the adaptable design of a building***, which enables easy conversion or adaptation to future users. It reduces the need for demolition in a way that internal dispositions can change according to future needs. The fourth principle is ***the design of a building suitable for possible dismantling and relocation***. The last principle implies ***the proper choice of materials*** and separation of biological and technical materials that are more difficult to recycle. In this way, materials intended for the biosphere, industrial loop or recycling are separated. [22] What is necessary is to change the way of thinking. Kurt Lewin is the first person to have acknowledged that change often creates instability, which can lead to resistance if a change disrupts the existing values. [25]

Kurt Lewin believes that for the changes to be made, an individual must realize for themselves that these changes are necessary. Introducing changes within a group is problematic, but possible if individuals are prompted to think, gain an insight into the whole situation, and make the change voluntarily. [26] This means that the awareness of all stakeholders must be raised for the changes to be introduced from the very beginning - the design of the facility, through the realization and finally the maintenance of the facility.

5. CONCLUSION

Faced with the issues such as the lack of natural resources and the ecological state of our planet, it is necessary to take measures to reduce the consumption of natural resources, while increasing the use of waste generated as a by-product of demolition. Reduction of construction waste can significantly affect the state of the environment. As construction waste already accounts for 45% of the total waste, it is necessary to implement changes at the very beginning of the project, i.e., in the design phase, and predict the further path of the

material. In this way, it would become raw material for the construction of a new facility with a minimal amount of newly consumed energy, rather than be disposed of in a landfill. The research in this paper shows that the principles of the CE would significantly affect the increase in material utilization, waste reduction, increasing at the same time the efficiency of the construction industry. In addition to legislation, some of the main obstacles to the CE implementation are the complexity of construction projects, lack of market mechanisms, low quality of materials and products installed, lack of knowledge about the CE, lack of motivation of stakeholders for its implementation, etc. One of the key segments is that legal regulations must be enacted, where the government, together with stakeholders, would adopt certain standards, norms and laws related to sustainable construction and protection of the environment. [11]

Debacker believe that BIM technology could be extremely useful in solving problems related to waste, because it provides access and data exchange, data management, construction simulations, etc. [1]The development of BIM tools for assessing the performance of buildings to preserve them represents a great potential for building management in the circular economy. [18]

Further research goals would be focused on the application of BIM technology as an aid to the implementation of the principles of the circular economy in construction. Although the construction industry is among the industries that invest the least in new technologies, investing in BIM technology would significantly affect the control of deadlines and costs, which present inevitable problems occurring in construction projects. Through BIM technology, it would be easier to manage information that affects the efficiency of the number of working hours, which are also part of the CE, as well as information about materials, supply chains, quantities, etc.

ACKNOWLEDGMENT

The paper presents the part of research realized within the project "Multidisciplinary theoretical and experimental research in education and science in the fields of civil engineering, risk management and fire safety and geodesy" conducted by the Department of Civil Engineering and Geodesy, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad.

LITERATURE

[1] Debacker W., Manshoven S. D1 synthesis of the state-of-the-art: Key barriers and opportunities for Materials Passports and Reversible Building Design in the current system (2016). Preuzeto 18.03.2021. sa: https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2016/03/D1_Synthesis-report-on-State-of-the-art_20161129_FINAL.pdf

[2] Webster M., Costello D. Designing structural systems for deconstruction: how to extend a new building's useful life and prevent it from going to waste when the end finally comes. (2005) Greenbuild Conference, Atlanta, GA, USA. Preuzeto 02.04.2021. sa: http://www.lifecyclebuilding.org/docs/Designing%20Structural%20Systems%20for%20Deconstruction.pdf

[3] Radivojević A. Cirkularna ekonomija – Implementacija i primena tehnologije u njenoj funkciji (2018) Ekonomske ideje i praksa, Vol. 28.

[4] Građevinarstvo, članak "U Srbiji se godišnje generiše oko 100 miliona tona građevinskog otpada" (2019). Preuzeto 01.04.2021. sa: https://gradjevinarstvo.rs/vesti/17275/810/u-srbiji-se-godisnje-generise-oko-100-miliona-tona-gradjevinskog-otpada

[5] Garaplija, A. Integrated waste management in accordance with the „ISO 31000" risk management standardand Serbian. (2020) Journal of Engineering Management Vol. 5, No. 2.

[6] Esa M.R., Halog A., Rigamonti L. Developing strategies for managing construction and demolition wastes in Malaysia based on the concept of circular economy. (2017) J. Mater. Cycles Waste Manag. 19 (3), 1144-1154.

[7] Geldermans R. J. Design for change and circularity – accommodating circular material & product flows in construction. (2016) Energy Procedia Vol. 96, pp. 301 – 311

[8] Stahel W. The performance economy – Second edition. (2010) PALGRAVE MACMILLAN

[9] Hopkinson P, Chen HM, Zhou K, Wang Y and Lam D Recovery and reuse of structural products from end-of-life buildings. (2019) Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Engineering Sustainability 172(3): 119–128, https://doi.org/10.1680/jensu.18.00007

[10] Huang B., Wanga X., Kuac H., Gengd Y., Bleischwitzf R., Reng J. Construction and demolition waste management in China through the 3R principle (2018) Resources, Conservation & Recycling, Vol. 129, pp. 36-44. ISSN: 0921-3449

[11] Fort J., Černy R. Transition to circular economy in the construction industry: Environmental aspects of waste brick recycling scenarios. (2020) Waste Management Vol. 118, pp.510–520
[12] Đukić V. Mogucnosti upravljanja gradevinskim otpadom u republici srpskoj. (2013) Zaštita materijala, izdanje 54.
[13] Tajmlajn, članak: "Do 2035. godine reciklaža 70% građevinskog otpada" (2018). Preuzeto 01.04.2021. sa: https://tajmlajn.rs/do-2035-godine-reciklaza-70-gradjevinskog-otpada/
[14] Silva V., Nascimento M., Oliveira P., Panzera T., Rezende M., Lopes Silva D., Borges de Moura Aquino V., Rocco Lahr F., Christoforo A. Circular vs. linear economy of building materials: A case study for particleboards made of recycled wood and biopolymer vs. conventional particleboards. (2021) Construction and Building Materials, Vol. 285
[15] Piscitelli G., Ferazzoli A., Petrillo A., Cioffi R., Parmentola A., Travaglioni M. Circular economy models in the industry 4.0 era: A review of the last decade (2020) Procedia Manufacturing, Vol. 42, pp. 227–234.
[16] Ellen MacArthur Foundation (EMF) Towards the circular economy. (2013) Ellen MacArthur Foundation. Preuzeto 25.03.2021. sa: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf
[17] Ellen MacArthur Foundation (EMF) Growth within: a Circular Economy Competitive Europe. (2015) Ellen MacArthur Foundation. Preuzeto 25.03.2021. sa: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_Growth-Within_July15.pdf
[18] Akanbi L., Oyedele L., Akinade O., Ajayi A., Delgado M., Bilal M., Bello S. Salvaging building materials in a circular economy: A BIM-based whole-life performance estimator. (2018) Resources, Conservation & Recycling, Vol. 129, pp.175-186
[19] Zou J., Zhao Z. Green building research–current status and future agenda: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews (2014) Vol. 30, pp. 271-281
[20] Mbala M., Aigbavboa C., Aliu J. Reviewing the negative impacts of building construction activities on the environment: The case of Congo. (2019) Advances in Human Factors, Sustainable Urban Planning and Infrastructure pp 111-117
[21] Munaro M.R., Tavares S.F., Braganaca L. Towards circular and more sustainable buildings: A systematic literature review on the circular economy in the built environment (2020), Vol. 129. ISSN: 0959-6526
[22] Mangialardo, A., Micelli, E. (2018). Rethinking the Construction Industry Under the Circular Economy: Principles and Case Studies. Green Energy and Technology, 333–344. doi:10.1007/978-3-319-75774-2_23
[23] Adams K., Thrope A., Osmani M., Thornback J. Circular economy in construction: current awareness, challenges, and enablers. (2017) Waste and Resource Management
[24] Kyro R., Jylha T., Peltokorpi A. Embodying circularity through usable relocatable modular buildings. (2019) Facilities. https://doi.org/10.1108/F-12-2017-0129
[25] Bernal E., Edgar D., Burnes B. Building Sustainability on Deep Values Through Mindfulness Nurturing. (2018) Ecological Economics Vol., pp.146 645–657
[26] Burnes B. Kurt Lewin and the Planned Approach to Change: A Re -appraisal. (Management Studies 41:6

Nauka o podacima

Data Science

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

IMPUTACIJA NEDOSTAJUĆIH PODATAKA U JEDNODIMENZIONIM VREMENSKIM SERIJAMA
IMPUTATION OF MISSING DATA IN UNIVARIATE TIME SERIES

DANIJEL ALEKSIĆ[1]

[1] Matematički fakultet, Studentski trg 16, Beograd, Srbija, danijel.aleksic98@gmail.com

Rezime: *U ovom radu izvršen je pregled nekih dostupnih metoda za imputaciju nedostajućih podataka u jednodimenzionim vremenskim serijama. Odabrani metodi su testirani na nekolicini serija, sa veštačkim generisanjem nedostajanja. Provereno je i kako svaki od metoda utiče na predvidivost serije, korišćenjem pokazatelja pod nazivom približna neodređenost.*

Ključne reči: *Imputacija, Nedostajući podaci, Vremenske serije, Neodređenost*

Abstract: *This paper provides an overview of some of the available methods for missing data imputation in univariate time series. Chosen methods are applied to a few series, using artificially generated missing data. It is shown how every of used methods influences predictability of the series, using parameter called Approximate Entropy.*

Keywords: *Imputation, Missing Data, Time Series, Entropy*

1. UVOD

Prisustvo nedostajućih podataka u raznim bazama nije nikakva novost. Oni nastaju iz različitih razloga, među kojima su ograničenost instrumenata merenja, odbijanje ljudi da odgovore na određena pitanja, oštećenost podataka iz raznih razloga itd. Pored prostog ignorisanja, imputacija nedostajućih podataka na osnovu poznatih veoma je razvijena disciplina sa mnoštvom aloritama imputacije koji počivaju na regresionim, matričnim, kao i metodama mašinskog i dubokog učenja.

Međutim, velika većina tih metoda vrši imputaciju pretpostavljajući dizajn matricu bez naročite vremenske uređenosti. Drugim rečima, ukoliko imamo jednodimenzionu (ili višedimenzionu, ali njima se nećemo ovde baviti) vremensku seriju, klasične metode imputacije neće iskoristiti njenu vremensku uređenost, te neće izvući pun potencijal iz dostupnih podataka i samim tim će dati lošije razultate ([1]).

Jasno je da prisustvo nedostajućih podataka izaziva mnoge probleme u radu sa vremenskim serijama. Jedan od njih jeste pristrasnost modela, tj. može se desiti da nedostaju podaci veći/manji od neke vrednosti, te vrednosti koje su dostupne u seriji ne mogu da je predstave na adekvatan način. Takođe, prisustvo nedostajanja može značajno smanjiti disperziju, tj. varijacije unutar same serije, što može povećati značajnost u daljim statističkim testovima.

1.1. Nedostajući podaci u jednodimenzionim vremenskim serijama

Postoje mnogi primeri u kojima se prirodno pojavljuju vremenske serije sa nedostajućim podacima, a neki od standardnih su

- **Promena cene hartije od vrednosti.** Mnoge berze ne rade vikendom a to nije razlog da se cena akcije neke kompanije, ili neke druge vrednosne hartije, robe itd. ne menja u toku vikenda. Milijarderi koriste te činjenice da vikendom obore cene te nakon vikenda kupe hartiju na berzi po niskoj ceni (npr. Ilon Mask i Dogecoin) ([13]).
- **Razna medicinska istraživanja.** Pacijenti koji pristanu da budu deo nekog medicindskog istraživanja vrlo često odustanu pre kraja, bilo zbog toga što terapija deluje nepovoljno na njih, nuspojave su nepodnošljive, prosto im dosadi itd. što stvara značajnu pristrasnost u podacima koji su preostali ([7]).

Rubin i Litl su 1987. godine u [4] nedostajuće podatke (bilo u serijama ili u običnim matricama) klasifikovali u tri kategorije, u zavisnosti od toga od čega sve zavisi verovatnoća nedostajanja. Daćemo njihovu klasifikaciju u kontekstu vremenskih serija. Neka je R vektor koji na i-tom mestu ima nulu ukoliko i-ti podatak u seriji nedostaje, a inače jedinicu. R može da zavisi od nekoliko stvari, od kojih su nama od interesa zavisnost od

dostupnih podataka i zavisnost od nedostajućih podataka. Neka su u θ smešteni parametri od kojih zavisi raspodela zaseka serije. Označimo seriju sa $\{X_t\}$, prisutne podatke sa X_{obs} a nedostajuće sa X_{miss}.

1. Ukoliko R ne zavisi ni od dostupnih ni od nedostajućih podataka, kažemo da podaci zadovoljavaju **MCAR** uslov (eng. *missing completely at random*). Preciznije, podaci su MCAR ukoliko je
$$P\{R \mid X_{obs}, X_{miss}, \theta\} = P\{R \mid \theta\}.$$
2. Ukoliko R zavisi od posmatranih, ali ne i od nedostajućih podataka, kažemo da podaci zadovoljavaju **MAR** uslov (eng. *missing at random*). Formalno, to znači da je
$$P\{R \mid X_{obs}, X_{miss}, \theta\} = P\{R \mid X_{obs}, \theta\}.$$
3. Ukoliko R zavisi i od dostupnih i od nedostajućih podataka, kažemo da su podaci **MNAR** (eng. *missing not at random*).
$$P\{R \mid X_{obs}, X_{miss}, \theta\} = P\{R \mid X_{obs}, X_{miss}, \theta\}.$$

Detaljna objašnjenja sva tri ova pojma mogu se naći u [1]. Standardna pretpostavka nedostajanja u podacima kojima se ne pretpostavlja vremenska uređenosti jeste MCAR ili MAR. Kod vremenskih serija, međutim i MNAR je neretka pojava (upravo zbog periodičnog nedostajanja podataka, kao u primeru sa berzom).

Treba još naglasiti da, iako slično, **predviđanje se kod vremenskih serija drastično razlikuje od imputacije**, jer za imputaciju možemo koristiti podatke i starije i mlađe od nedostajućeg, dok za predviđanje koristimo samo starije podatke.

2. ODABRANI METODI IMPUTACIJE

U ovom poglavlju ćemo navesti i detaljno objasniti nekoliko metoda imputacije koji su specifični za vremenske serije. Za svaki od njih ćemo, pored objašnjenja aloritma, dati i valjane razloge zašto se baš taj metod koristi za imputaciju. Takođe, pokušaćemo, koliko je to moguće, objasniti i koje su poželjne situacije u kojima se svaki od metoda koristi.

Odabrali smo LOCF, linearnu interpolaciju, kao imputaciju metodom pokretnih proseka. Pored ovih metoda, postoje neke od osnovnih metoda imputacije, kao što su imputacija medijanom ili aritmetičkom sredinom. Ove metode nismo obrađivali, jer ne uzimaju u obzir samu strukturu vremenske serije. Takođe, od interpolacionih metoda postoje još i interpolacija višeg stepena (kvadratna, kubna itd.), Stinemanova interpolacija ([9]) i dr. Pored interpolacije postoje i težinski pokretni proseci i Kalmanov filter ([8]). Odlučili smo se da ove metode ne obrađujemo detaljno, jer zahtevaju dodatne parametre, a još uvek nije jasno na koji način ih treba odabrati. Imputacija u jednodimenzionim serijama je oblast u razvitku, a u prilog toj tvrdnji ide i činjenica da se prvi paket koji joj je posvećen pojavio 2018. godine ([10]), a koji je sam po sebi još uvek u fazi aktivne izgradnje.

2.1. LOCF

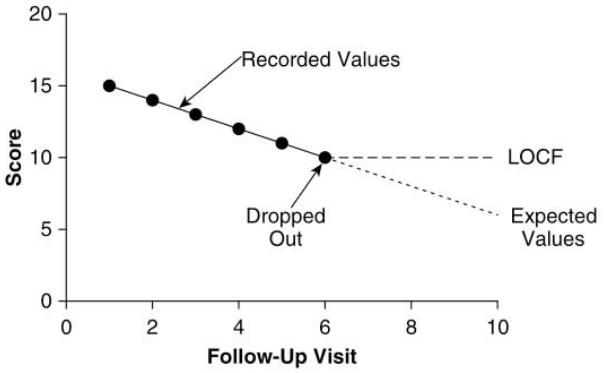
Metod prenošenja poslednje opservacije unapred, ili, na engleskom, *Last Observation Carried Forward (LOCF)* jedan je od prvih metoda imputacije koji su se pojavili, a da su specifični za vremenske serije.

Imputacija se vrši tako što se, krenuvši od početka elementa serije, na prvo nedostajuće mesto zamenjuje prvi dostupan podatak koji je stariji od tog. Otuda i naziv metoda.

LOCF je metod koji se često koristi kao metod imputacije u podacima vezanim za razna medicinska istraživanja, a čak je i preporučen od strane Nacionalnog instituta za zdravlje Sjedinjenih Američkih država ([7]). Za to, naravno, postoji razlog. Na sledećoj slici prikazana je zavisnost nekog zdravstvenog parametra kod jednog pacijenta u zavisnosti od vremena, gde su manje vrednosti bolje. Ako su veće vrednosti bolje, uvek se može posmatrati recipročna vrednost.

Na slici 1 vidimo da je pacijent odustao od istraživanja u vremenskom trenutku 6. Isprekidanom linijom prikazane su LOCF imputirane vrednosti, a očekivane tačkastom (očigledan, prirodan trend; pacijent ide „na bolje"). LOCF ovde predstavlja konzervativan pristup: **stanje pacijenta nakon odustajanja neće se poboljšavati**. Stoga, ukoliko istraživanje pokaže da je, na primer, terapija delotvorna u 95% slučajeva, možemo sa priličnom sigurnošću tvrditi da je ona delotvorna u *barem* 95% slučajeva, jer smo gledali „najgoru moguću" situaciju.

Naravno, pored navedenih prednosti, LOCF metod ima i izvesnih mana. Jedna od njih jeste ta što se suštinski različite vrednosti, koje su nam nepoznate, zamenjuju istim brojem. To veštački, a potencijalno u velikoj meri, smanjuje varijabilitet unutar jedne realizovane serije. S druge strane, kako LOCF smanjuje ocenu bilo kojeg merila greške, te povećava merila značajnosti (recimo u nekoj kasnijoj regresiji i sl.).



Slika 1 LOCF u medicinskim istraživanjima (preuzeta iz [7])

2.2. Linearna interpolacija

Linearna interpolacija je poznat pojam iz numeričke matematike. U našem slučaju, imputacija se vrši tako što se, pri lokaciji jedne ili više susednih nedostajućih vrednosti, njima susedne poznate vrednosti spajaju pravom linijom, te se vrednost te prave u tačkama između koristi kao imputirana vrednost. U slučaju da zadata vremenska serija ima sezonsku komponentu, prvo je neophodno izvršiti razdvajanje serije na trend, sezonsku komponentu i šum, što se može uraditi na više načina koji nisu tema ovog rada. Jedan od poznatijih opisan je u [2]. Ova metoda se koristi kada se ne pretpostavlja da serija previše varira na kratkim intervalima.

U nastavku ćemo za ovu metodu koristiti skraćenicu SEADEC, koja potiče od engleskog *Seasonal Decomposition*.

2.3. Imputacija metodom prostih pokretnih proseka

Ova metoda podrazumeva da se nedostajuća vrednost imputira pokretnim prosekom za tu vrednost kao centralnu. Ukoliko pokretni prosek obuhvati još neku nedostajuću vrednost, ona se preskače. Ova metoda se koristi u slučajevima kada želimo da očuvamo dinamiku kretanja serije, a sama preciznost imputacije nam je od sekundarnog značaja.

Za ovu metodu ćemo koristiti skraćenicu MA, od engleskog *Moving Average*.

3. POREĐENJE KVALITETA METODA

Realnih baza sa nedostajućim podacima svakako ima i više nego dovoljno. Međutim, ukoliko ne znamo prave vrednosti nedostajućih podataka, nije moguće sračunati grešku. Stoga ćemo biti prinuđeni da koristimo cele baze, te da iz njih veštački izbacujemo podatke. Nažalost, paket `imputeTS` u programskom jeziku `R` ne nudi nijednu funkciju koja se bavi generisanjem nedostajanja, tako da ćemo biti prinuđeni da tražimo alternativne metode.

Jedan od pristupa jeste da se vremenska serija pretvori bilo u običan vektor ili `dataframe`, te da se izvrši brisanje funkcijama iz nekog od paketa za rad sa vremenski neuređenim podacima. Alternativa tome jeste funkcija `create.missing()`, koja nije deo nijednog paketa u `R`-u, a njen kod može se naći u [5]. Mi se ovde odlučujemo za ovu funkciju. Njen potpis je sledeći: `create.missing(data, rate, seed = NULL)`. Dakle, funkciji kao argument zadajemo podatke i procenat nedostajanja, kao i eventualno `seed` zarad ponovljivosti rezultata. Ova funkcija podrazumeva MCAR mehanizam nedostajanja u skladu sa eksponencijalnom raspodelom. Taj model je odabran jer su autori posmatrali 600 realnih vremenskih serija, u kojima su uočili ovaj šablon nedostajanja.

3.1. Mere kvaliteta

Za proveru kvaliteta metoda imputacije koristićemo dva pokazatelja.

- **Kvadratni koren srednjekvadratne greške (eng. *Root Mean Squared Error - RMSE*).** Koren srednjekvadratne greške je standardna mera odstupanja koja je široko zastupljena u statistici, a koristi se uvek kada je greška prognoze/imputacije na prvom mestu po važnosti. Dobije se tako što se saberu kvadrati svih

pojedinačnih grešaka, te aritmetički uproseče. Ako sa x_i, $i = 1,2,\ldots,n$ označimo elemente naše serije, onda se RMSE definiše kao

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i\in S}(x_i - \hat{x}_i)^2}{n}},$$

gde je $\hat{x}_i$ oznaka za imputiranu vrednost na i-tom mestu, a S skup indeksa na kojima imamo nedostajuću vrednost.

- **ApEn.** Približna neodređenost (eng. *Approximate Entropy - ApEn*) jeste pokazatelj koja meri neuređenost vremenske serije. Ukoliko posmatramo dve vremenske serije, na primer $(1,2,1,2,1,2,1,2)$ i $(1,2,2,1,2,1,1,2)$, vidimo da obe imaju 4 jedinice i 4 dvojke. Ukoliko bismo računali uzoračku disperziju svake od njih, dobili bismo isti broj. Međutim, sasvim je jasno da je prva serija pravilno uređena, a druga mnogo „nasumičnija" od prve.
  Upravo zbog toga bilo je neophodno razviti pokazatelj koji meri neuređenost, tj. nepredvidivost podataka. ApEn jeste jedan takav pokazatelj koji je razvio Steve M. Pincus 1991. godine. Mi ćemo ovde dati algoritam računanja ovog pokazatelja, dok je dokaz da on zaista meri predividivost serije prvenstveno prevazilazi okvire ovog rada, a zatim i nije potreban za tumačenje rezultata. Detaljan dokaz postoji u [3]. Prikažimo algoritam:

  1. Pretpostavljamo da imamo vremensku seriju $u_1,\ldots,u_N$ sa jednakim vremenskim razmacima.
  2. Fiksiramo prirodan broj m i realan broj $r > 0$.
  3. Formiramo niz vektora $x_1,\ldots,x_{N-m+1}$ u $\mathbb{R}^m$ definisanih sa

     $$x_i = [u_i,\ldots,u_{i+m-1}].$$

  4. Koristimo niz $x_1,\ldots,x_{N-m+1}$ da za svako i između 1 i $N-m+1$ brojeve

     $$C_i^m(r) = \frac{\#\{j \mid d(x_i,x_j) \le r\}}{N-m+1},$$

     gde je d supremum-po-koordinatama metrika.
  5. Definišemo

     $$\Phi^m(r) = \frac{1}{N-m+1}\sum_{i=1}^{N-m+1}\log(C_i^m(r)).$$

  6. Definišemo približnu neodređenost kao

     $$\mathbf{ApEn} = \Phi^m(r) - \Phi^{m+1}(r).$$

  ApEn je u `R`-u dostupan kao funkcija `approx_entropy` iz paketa `pracma` ([11]). Iskustvo je pokazalo da je standardan izbor $m = 2$ ili $m = 3$ (u smislu da se pokazatelj najbolje slaže sa intuicijom), dok za r nije primećena ozbiljnija pristrasnost.

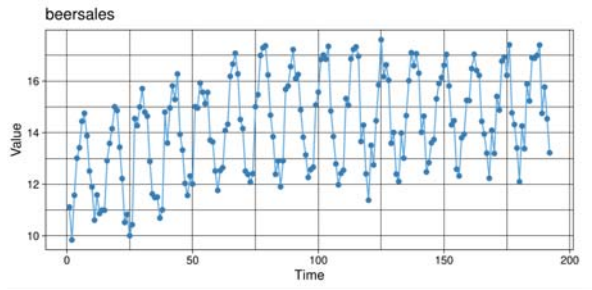
RMSE koristimo kao standardnu meru greške, dok ApEn koristimo kao meru predvidivosti serije. Što je neodređenost veća, to je serija „nepredvidivija" (u smislu da se ponaša nepravilno), a veoma je korisno znati da li će i kako imputacioni metod uticati na tu predvidivost.

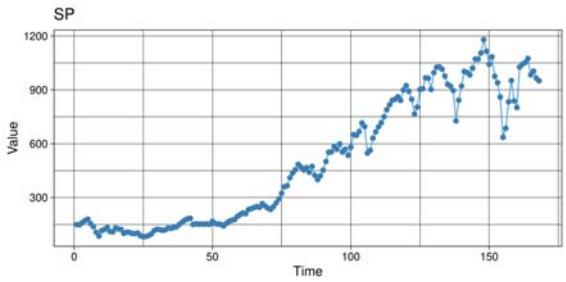
3.2. Opis skupova podataka

Koristićemo paket `TSA` ([12]) i tri baze iz tog paketa:

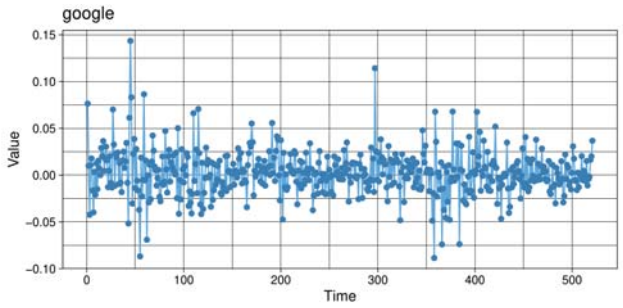
- **beersales**. Količina prodatog piva po mesecima, u barelima, u SAD u periodu Januar 1975 - Decembar 1990.
- **SP**. Kvartalni S&P indeks od prvog kvartala 1936. do četvrtog 1977.
- **google**. Dnevni prinos (skaliran u interval $[0,1]$) akcije kompanije Google u periodu od 20.08.2004. do 13.09.2006.

Na slikama 2 i 3 dati su grafički prikazi odabranih skupova podataka. Ove tri serije smo odabrali iz sledećih razloga. `beersales` nema trend (ili ima veoma blag), a ima sezonalnost. `SP` ima trend, ali nema sezonalnost. `google` nema nijedno ni drugo. Odlučili smo se da ne dodajemo bazu koja ima i trend i sezonalnost, jer se njena obrada ne razlikuje previše od baze koja ima samo sezonalnost, a značajno bi nam ukomplikovala praćenje.





Slika 2 Serije `beersales` i `SP`



Slika 3 Serija `google`

3.3. Generisanje nedostajanja i imputacija

Odlučujemo se za tri udela nedostajanja: 0.1, 0.3 i 0.5. Nije realno očekivati veće udele nedostajanja u ovakvim podacima (nije ni ove, ali prosto želimo da testiramo algoritme i u ekstremnim situacijama). Testiramo tri metoda imputacije: LOCF, linearnu interpolaciju sa uzimanjem trenda u obzir, kao i imputaciju metodom pokretnih proseka (zadržaćemo preporučenu širinu $2k+1=9$).

3.4. Računanje greške

Za svaku seriju računamo **RMSE** i **ApEn**. U tabeli ispod su rezultati.

Tabela 1 Rezultati svih imputacionih metoda (prosečni)

Serija	Nedostajanje	RMSE			ApEn			
					Originalni	Nakon imputacije		
		LOCF	SEADEC	MA		LOCF	SEADEC	MA
beersales	0.1	7.8497	3.2832	8.2329	0.9555	0.9459	0.8954	0.9658
	0.3	9.0402	4.9498	9.4519		0.9561	0.9018	0.9435
	0.5	15.5895	6.5059	13.3189		0.9067	0.8113	0.9619
SP	0.1	194.4378	170.0311	250.7965	0.3235	0.2975	0.3003	0.3170
	0.3	327.1875	243.5893	256.9509		0.3187	0.3063	0.3175
	0.5	462.2460	254.9850	343.9168		0.3101	0.2862	0.3201
google	0.1	0.2167	0.2041	0.1991	1.3381	1.3256	1.3199	1.3250
	0.3	0.3100	0.2905	0.2780		1.2162	1.2025	1.2948
	0.5	0.4857	0.4106	0.3985		1.1869	1.1741	1.2909

Iz gornje tabele vidimo da pri poređenju RMSE, u proseku SEADEC metod daje najbolje rezultate, osim za seriju `google` gde ga za dlaku pobeđuju pokretni proseci. LOCF se najgore pokazao, ali smo u teorijskom

uvodu prodiskutovali njegove prednosti koje se brojčano ne mogu kvantifikovati. MA je bolji samo za seriju `google`, što se može pravdati time da ona najpribližnije od svih prati model pokretnih proseka. Vidimo i da imputacija pokretnim prosecima najbolje čuva ApEn, što je jasno iz činjenice da MA najbolje čuva strukturu vremenske serije.
Takođe, vidimo da je ApEn najmanji za seriju sa trendom i bez sezonalnosti (`SP`), a najveći za seriju bez sezonalnosti i bez trenda (`google`). Ovo je, naravno, očekivano, jer seriju `SP` doživljavamo kao „najpredvidiviju" od sve tri.

4. ZAKLJUČAK

Ukoliko nam je greška glavno merilo, najbolje je koristiti SEADEC imputaciju, jer empirijski daje najbolje rezultate u većini slučajeva, a kada nije najbolja, ne zaostaje mnogo.
Ukoliko ne želimo da pokvarimo predvidivost serije, najbolje je koristiti imputaciju metodom pokretnih proseka. Za male vrednosti nedostajanja razlike su zanemarive, a uočljive su tek za nedostajanja od oko 30%, kada serija postaje značajno predvidivija za ostale metode.

LITERATURA

[**1**] Buuren, S. *Flexible Imputatation of Missing Data*. Second edition, Chapman & Hall/CRC, 2018.
[**2**] Cleveland, R. B, Cleveland, W. S, McRae, J. E, Terpenning, I. *Stl: A seasonal-trend decomposition procedure based on loess.* Journal of Official Statistics, 6(1):3–73, 1990. [p3]
[**3**] Delgado-Bonal, A, Marshak, A. *Approximate Entropy and Sample Entropy: A Comprehensive Tutorial*. Entropy, 2019. DOI: `https://doi.org/10.3390/e21060541`
[**4**] Little, R. J. A, Rubin, D. B. *Statistical Analysis with Missing Data*. John Wiley & Sons, New York, 2002.
[**5**] Moritz, S, Sardá, A, Bartz-Beielstein, T, Zaefferer, M, Stork, J. *Comparison of different Methods for Univariate Time Series Imputation in R*. University of Cologne, 2015.
[**6**] Moritz, S, Bartz-Beielstein, T. *imputeTS: Time Series Missing Value Imputation in R*. The R Journal. 2016.
[**7**] Salkind, N. J. *Encyclopedia of research design.* SAGE Publications, Inc. Teller Road, Thousand Oaks, California, 2010.
[**8**] `https://en.wikipedia.org/wiki/Kalman_filter`. Pristupljeno 19.05.2021. u 01.04 po srednjoevropskom vremenu.
[**9**] `https://pages.uoregon.edu/dgavin/software/stineman.pdf` Pristupljeno 19.05.2021. 22.43. po srednjoevropskom vremenu.
[**10**] `https://cran.r-project.org/package=imputeTS` Pristupljeno 19.05.2021. 22.54. po srednjoevropskom vremenu.
[**11**] `https://cran.r-project.org/package=pracma` Pristupljeno 19.05.2021. 23.00. po srednjoevropskom vremenu.
[**12**] `https://cran.r-project.org/package=TSA` Pristupljeno 19.05.2021. 23.15. po srednjoevropskom vremenu.
[**13**] `https://www.forbes.com/sites/billybambrough/2021/06/02/its-inevitable-elon-musk-sends-the-dogecoin-price-sharply-higher-after-coinbase-drops-doge-bombshell/` Pristupljeno 20.06.2021. 18.30. po srednjoevropskom vremenu.

XLVIII Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23. September 2021.
MATΦ University of Belgrade Faculty of Mathematics
Mathematical Institute SANU

SIGNATURES OF BUILT-IN MESOSTRUCTURE CONNECTIVITY IN A COMPLEX TRANSPORTATION NETWORK

MIROSLAV ANDELKOVIĆ[1], SLOBODAN MALETIĆ[1]

[1] Department of Thermal Engineering and Energy, "VINČA" Institute of Nuclear Sciences - National Institute of the Republic of Serbia, University of Belgrade, Belgrade, Mike Alasa 12-14, 11351 Vinča, Serbia, {mandjelkovic,sloba}@vin.bg.ac.rs

Abstract:

Advances in applied algebraic topological methods introduced a number of tools that may reveal pertinent features of complex networks through building simplicial complexes. This paper focuses on the understanding of the segmentation of internal structures which are built-in complex networks, as well as their impact on the overall structure. The methods are based on the nontrivial multilevel structures extracted following the methodology of Q-analysis, and by the introduction of new entropy-like quantities. As an example, the complex transportation network is studied, and the way in which the connectivity of built-in structures alters local and global system properties is considered.

Keywords: *complex network, simplicial complex, multilevel structure, complexity*

1. INTRODUCTION

Real-world complex networks display highly nontrivial organizational patterns, which affect their functioning, and accordingly, changes performed over their structure may alter their functioning toward the desired way. The research of complex network structural properties and their influence on network functioning [1], is commonly performed by mapping network elements and relations between them on a mathematical graph. Within this context, local and global properties are examined, alongside the characteristics of mesoscale structures comprised in the so-called communities [2].

On the other hand, the research on applications of algebraic topological methods drew attention, especially in the field of data science, creating the set of tools within the framework of Topological data analysis [3], as well as initiating the research in non-trivial mesostructures built-in simplicial complexes [4] obtained from complex networks [5, 6]. Within the context of data science, complex networks can be understood as sets of data, where a relation exists between the elements of the dataset.

The objects of interest within the framework of Topological data analysis commonly are the topological invariants formed by different-dimensional non-boundary cycles, that is holes, which are representing the basis of homology groups, and whose dimension is stored in the so-called Betti numbers [4]. Nevertheless, alongside the non-boundary cycles, collections of simplices in a complex build nontrivial chains of connectivity, at different dimensional levels. Such structures can be examined within the framework of the Q-analysis [7], hence complementing the Topological data analysis.

The research presented in the current paper stances on a specific feature that from a single complex network different simplicial complexes can be built, hence providing an insight into the versatile organizational patterns inherent in complex network structure. On the other hand, network elements can communicate indirectly, that is via common neighbors, hence the number of common neighbors alters the mutual influence of nodes. The so-called neighborhood complex [5] is built, in which each simplex is associated to the node from the network of interest, which in this paper is the transportation network built by airports and airline connections between them. Though the network of interest is directed, the direction of links is ignored, and connections are treated as the relation that builds the simplicial complex. As a result of this approach, the so-called neighborhood complex is created from a single network, based on the adjacency between links.

In order to characterize the higher-order relationships that emerge in obtained structures of a network under consideration, entropy-like quantities are calculated, as well as quantities that characterize integrity and significance of simplices within the structure.

2. THEORETICAL BACKGROUND

For the purposes of research presented in this paper, simplicial complexes will be built defining two sets, and relation between elements of sets. As a curiosity, it is important to mention that simplicial complexes as

mathematical objects can be defined in other, equivalent, ways [4]. Let $X = \{x_1, x_2, ..., x_n\}$ and $Y = \{y_1, y_2, ..., y_m\}$ be two nonempty sets formed by n and m elements, respectively. If there is the rule by which an element x_i from the set X is related to an element y_j from the Y, then the binary relation λ can be defined, which is written like $x_i \lambda y_j$. The element $x_i \in X$ can be λ-related to more than one element from the set Y, say $\{y_{j_1}, y_{j_2}, ..., y_{j_{q+1}}\}$, that is $x_i \lambda y_{j_1}$, $x_i \lambda y_{j_2}$, ..., $x_i \lambda y_{j_{q+1}}$. In that case, to the element x_i is associated an object called q-dimensional simplex (or just q-simplex), labeled like $\sigma_q(x_i) = \langle y_{j_1}, y_{j_2}, ..., y_{j_{q+1}} \rangle$. A *face* $\sigma_r = \langle y_1, y_2, ..., y_{r+1} \rangle$ is subset of $r+1$ elements of $\sigma_q = \langle y_1, y_2, ..., y_{r+1}, y_{r+2}, ...y_{q+1} \rangle$, where $r \leq q$, so that $\sigma_r \subseteq \sigma_q$. If two simplices σ_q and σ_r share $s+1$ common elements, they share face of dimension s. Therefore, *simplicial complex* S_σ represents a collection of all simplices together with all their faces. Maximal dimension D of simplex $\sigma \in S_\sigma$ is noted as dimension of simplicial complex S_σ.

The convenience of modeling complex systems with simplicial complexes is that they can be studied from topological, combinatorial, and algebraic viewpoints. All of them bring different, complementary, and equally important, global and local properties hence bringing a deeper understanding of the in-depth structure of the simplicial complex. Here, only a combinatorial point of view will be considered. Within this context, the Q-analysis [7, 8] represents the setting for considering the combinatorial aspect, where the most important property is known as the first structure vector [8], or *Q-vector*, which is an integer vector with $D+1$ entries and provides information about the number of connectivity classes at each q-level. Namely, two simplices σ_p and ρ_r are $q-connected$ [8] (where $q \leq p, r$) if there is a sequence of simplices $\sigma, \sigma(1), \sigma(2), ..., \sigma(n), \rho$, such that any two consecutive simplices share at least a q-face. If two simplices σ_p and σ_r are q-connected, they are also $(q-1)-$, $(q-2)-$, ..., 1, 0-connected in K. The q-connectivity between simplices induces an equivalence relation on simplices of a complex K, since it is reflexive, symmetric, and transitive. If the equivalence relation is labeled like ε_q, then it is formally defined like

$$(\sigma(i), \sigma(j)) \in \varepsilon_q \text{ if and only if } \sigma(i) \text{ is q-connected to } \sigma(j).$$

If the subset of simplices in K which have the dimension greater than or equal to q is labeled like K_q, then the equivalence relation ε_q partitions K_q into equivalence classes of q-connected simplices. These equivalence classes are the elements of the quotient set K_q/γ_q, called the *q-connected components* of simplicial complex K. This property can be interpreted like that every simplex in a q-component is q-connected to every other simplex in that component, but two simplices in two different q-connected components are not connected by the chain of $q-connected$ simplices. The cardinality of K_q/ε_q is labeled like Q_q, representing the number of distinct q-connected components in K, and the value Q_q is the q^{th} entry of the *Q-vector*. The values of the Q-vector entries are commonly written starting from the number of connected components for the largest dimension in descending order, i.e.:

$$\mathbf{Q} = \{Q_{dim(K)} \quad Q_{dim(K)-1} \quad ... \quad Q_1 \quad Q_0\}.$$

From the values of Q-vector entries can be derived the so-called polyhedral complexity, or simplicial structural complexity, introduced by J. Casti [9], and defined in the following way

$$\Psi_Q = \frac{2}{(D+1)(D+2)} \sum_{q=0}^{D} (i+1) Q(q),$$

where the normalization $\frac{2}{(D+1)(D+2)}$ is introduced in order to satisfy the axioms of complexity. Namely, J. Casti postulated that the complexity measure satisfies the following three axioms: (i) the complexity is equal to 1 if the system is built by a single simplex, regardless of its dimension, (ii) the system (represented as simplicial complex) has the level of complexity greater than the levels of complexity for its subsystems (i.e. subcomplexes), (iii) the merging of two complexes to form new complex results in a level of complexity no greater than the sum of the complexities of the component complexes.

The comparison of simplicial structural complexities Ψ of a set of simplicial complexes is rather relative, in particular since the normalization factor is introduced in order to satisfy three axioms. Namely, after the calculation of simplicial structural complexities for two simplicial complexes, it can only be said whether one simplicial complex is more or less complex than the other, but it cannot be expressed in a quantitative way, in a sense that calculated quantities do not explicitly measure complexity. In order to overcome this flaw, and introduce a complexity quantity based on the Q-vector, we propose here the integration entropy, which represents the normalization of the sum of multilevel integration entropies [10]

$$H = \frac{1}{(D+1) log_2 N} \sum_q log_2 Q(q),$$

where N is the total number of simplices in the simplicial complex. The normalization factor $\frac{1}{(D+1)log_2 N}$ is introduced so that the following criteria are satisfied. If all entries of the Q-vector are equal to 1, that is $Q_q = 1$ for every q, then $H = 0$, and can be interpreted like that the simplicial complex is formed of only one simplex. On the other hand, if the dimension of a simplicial complex is D, formed by N simplices, all having the same dimension, and simplices do not share faces, then $Q_q = N$ for every q. If we impose that for this criteria the integration entropy has the value $H = 1$, then the normalization constant can be easily derived.

Locally, simplices can be studied using the quantities such are *vertex significance* of simplex [11] and *eccentricity* [5]. In the terms of Q-analysis framework, two auxiliary quantities can be defined, top q, $\hat{q}$ as the dimension of simplex, and bottom q, $\check{q}$ as the dimension for which it merged in connectivity class with other simplices, that is, the maximum dimension of the face which simplex shares with some other simplex. Then, the eccentricity of a simplex is defined as

$$ecc = \frac{\hat{q} - \check{q}}{\hat{q} - 1},$$

such that the values are within the range between 0 and 1, and it quantifies the degree of integration of a simplex in a simplicial complex. Low values of eccentricity are interpreted like the simplex is having high integrity, whereas the high value indicates the low integrity of simplex in the simplicial complex.

On the other hand, let the weight θ_i of vertex i be defined as the number of simplices that contain the vertex i. Then, the vertex significance is defined as

$$vs = \frac{\Delta}{max(\Delta)},$$

where Δ is the sum of vertex weights which simplex shares with other simplices, and $max(\Delta)$ represents the maximal value from Δ. The latter quantity is introduced as the normalization factor such that the maximal vertex significance equals 1. Hence, the most significant simplex in complex, with respect to vertices which built it, has $vs = 1$.

3. RESULTS

In order to compare the values of introduced quantities for different simplicial complexes, the complex system of airports is chosen as an example of a transportation network. This network is particularly convenient since the further development of the theory can deliver new quantities which may serve as the optimization criteria.

The complex system considered here represents a complex network of US airports, connected by flights, and the dataset is downloaded from *Konect - US airports*. The data represents a directed network of flights among 1574 airports, with 28236 directed links with weights equal to the number of flights from airport i to airport j. For the purpose of current work, the network is transformed into an undirected mathematical graph where nodes are airports, edges are links between airports, and the weight w_{ij} of an edge between nodes "i" and "j" is the sum of weights of links between airports "i" and "j" in both directions. Then a series of simplicial complexes is obtained from this network. In particular, the simplicial complex that is built is the so-called *neighborhood complex*[5], in which a simplex $\sigma(i)$ is assigned to every node i from the underlying mathematical graph, and relation λ between simplex $\sigma(i)$ and nodes of the graph represents a set of neighbors of node i, including the node itself. In this case, the dimension of simplex in the neighborhood complex is equal to the connectivity degree of the associated node in the underlying mathematical graph.

To create mathematical graphs, and then build simplicial complexes, links are removed if their weight is under certain thresholds. For this purpose, 5 thresholds are selected having the following values: $w = 10000$, $w = 15000$, $w = 20000$, $w = 25000$, and $w = 30000$. Mathematical graphs are presented via adjacency matrix A, where elements in rows and columns represent nodes of the mathematical graph, and if node "i" and "j" are connected $A_{ij} = 1$, otherwise is 0. From the adjacency matrix is formed the incidence matrix of simplicial complex [8], that is the neighborhood complex, $\Lambda = A + \mathbb{I}$, where $\mathbb{I}$ diagonal matrix with all entries equal to 1, since simplices are a collection of node's neighbors including the node itself. In the matrix Λ, rows are associated with simplices, whereas columns are associated with vertices. From this matrix, the connectivity matrix Π of a simplicial complex is calculated in the following way

$$\Pi = \Lambda + \Omega,$$

where Ω is the matrix with all entries equal to 1. The diagonal entries of matrix Π represent dimensions of simplices, whereas the off-diagonal elements represent dimensions of shared faces between simplices.

In Fig. 1 are presented the values of first structure vector for a sequence of US airports simplicial complex, when edge weight thresholds are $w = 10000$, $w = 15000$, $w = 20000$, $w = 25000$, and $w = 30000$. It can be

noticed that the built-in structure of the system is changing as the thresholds are changing, especially for higher dimensions. On the other hand, for the lower dimensions, the values of the Q-vector are highly overlapping, hence making the interpretation of changes rather difficult.

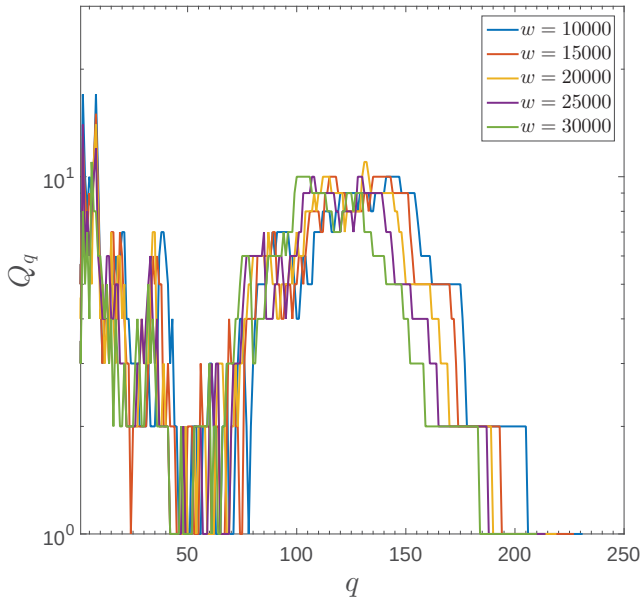


Figure 1 First structure vector for $w = 10000$, $w = 15000$, $w = 20000$, $w = 25000$, and $w = 30000$ edge weight thresholds for US airports simplicial complex.

In order to get a more thorough insight into the contribution of built-in structures on the changes of complexity, the simplicial structural complexity is calculated (see Table 1:), as well as the integration entropy. It can be noticed that the values of both quantities are decreasing as the edge weight thresholds are increasing, hence implicating that the overall complexity of systems is decreasing. In particular, from the definition of integration entropy, the decrease of values suggests the convergence of simplicial complexes toward the trivial built-in mesostructures.

Table 1: Simplicial structural complexity and integration entropy for $w = 10000$, $w = 15000$, $w = 20000$, $w = 25000$, and $w = 30000$ edge weight thresholds for US airports simplicial complex

w	Ψ	H
10000	4.2732	0.1742
15000	4.1381	0.1665
20000	4.1227	0.1649
25000	3.9957	0.1627
30000	3.8195	0.1574

In Figs. 2 and 3 are presented differences in eccentricity, and vertex significance, respectively, of simplices from simplicial complexes for edge weight threshold of 10000 and other edge weight thresholds. As the thresholds are increasing, the eccentricity of simplices is mostly increasing (Fig. 2), hence suggesting that simplices are losing their integrity as the threshold is increasing. On the other hand, the values of vertex significance (Fig. 3) display distinct behavior, that is, as the threshold is increasing, simplices become more important with respect to vertices that build them. Furthermore, for some simplices, this increase is particularly significant. It indicates that there are airports whose role of significance in the whole system is changing toward more significance when the number of flight thresholds is changing.

To get an insight into the cumulative changes of eccentricity and vertex significance, the total differences are calculated as sums of eccentricity and vertex significance for all four thresholds, with values presented in Table 2:. The trends for both quantities follow the interpretation of Figs. 2 and 3, and it can be noticed that total differences of *ecc* are increasing, whereas *vs* are decreasing, as the threshold is increasing.

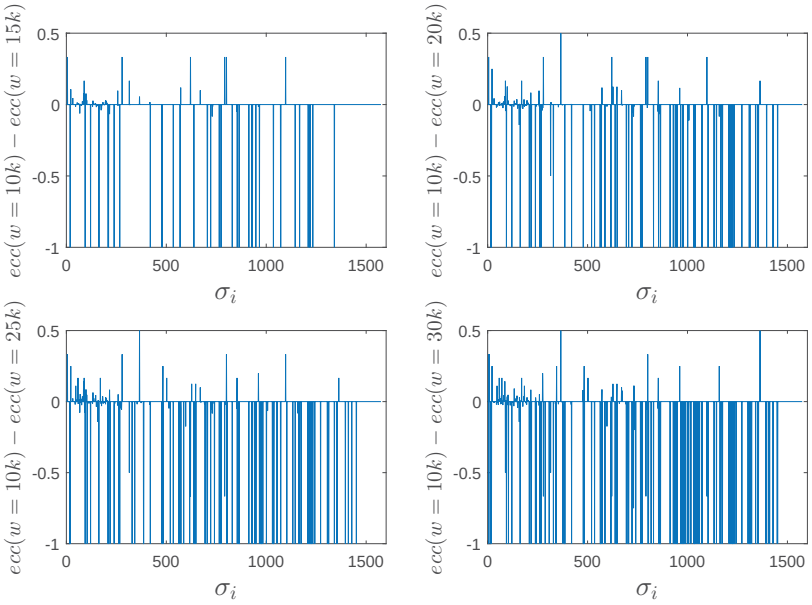


Figure 2 Differences in eccentricity of same simplices from simplicial complexes for edge weight threshold of 10000 and other edge weight thresholds.

Table 2: Total difference in eccentricity and vertex significance of simplex of same simplices from simplicial complexes for edge weight threshold of 10000 and other edge weight thresholds

w	$\sum(vs(w = 10k) - vs(w))$	$\sum(ecc(w = 10k) - ecc(w))$
15000	2.3683	-35.17
20000	4.6904	-72.90
25000	7.0507	-99.63
30000	9.9256	-125.96

4. CONCLUSION

Mapping complex networks on simplicial complexes provide insights into the versatility of organizational structures, hence transcending or complementing the common mathematical graph modeling. Here, only one aspect of a network-induced simplicial complex is applied, represented like the neighborhood complex. An in-depth analysis of local and global perspectives of structural changes, for different parameter thresholds, are affected by the changes of nontrivial built-in connectivity of mesostructures. For that purpose, a new global quantity, called the integration entropy, is derived from the vector entropy-like quantity, we a goal to overcome the limitations of the structural complexity introduced by Casti.

The quantities introduced here are calculated for a small complex system, nevertheless, the size of a complex system, as well as the values of simplicial dimensions, may cause significant requirements for computer resources, in particular, because the computation of quantities is combinatorial in nature. Hence, further work will involve an introduction of the optimization procedures, which will improve and accelerate computation.

Since in this work only the combinatorial point of view is considered, the algebraic and geometrical approaches will be considered in the future in order to get a more comprehensive picture of the system and find signatures for the possible interventions that may cause changes in the system. Furthermore, the diversity of in-depth structures that can be built from a single complex network can be applied on different systems, through finding the leverage points for their change, in a sense of finding the signatures for making the interventions on the elements of structure with a purpose of optimization of system's functioning.

Acknowledgement

The research was funded by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

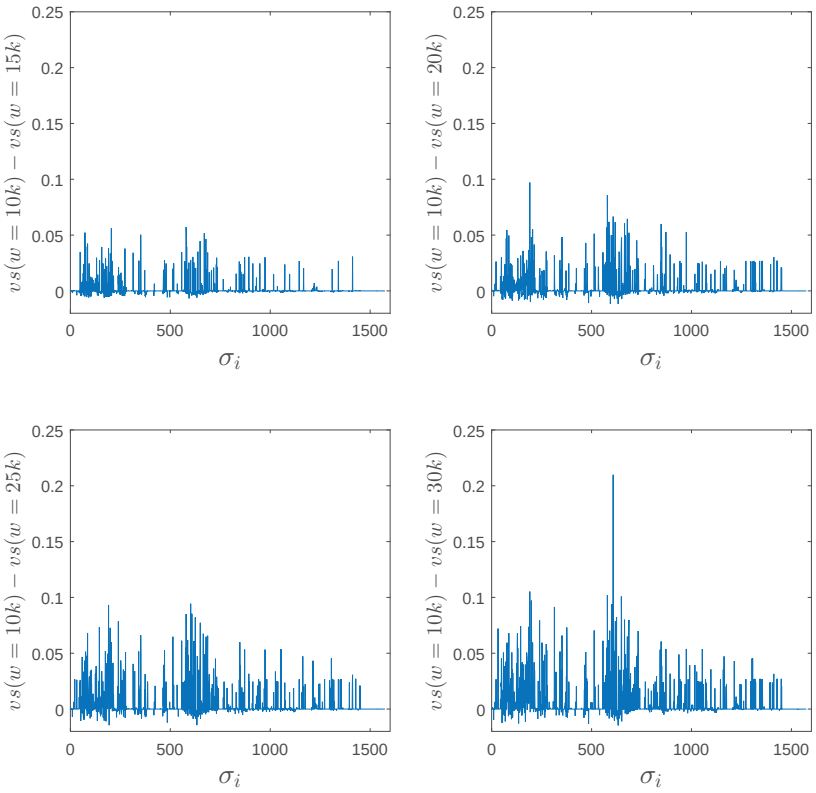


Figure 3 Difference in vertex significance of simplex of same simplices from simplicial complexes for edge weight threshold of 10000 and other edge weight thresholds.

REFERENCES

[1] Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., Hwang, D.-U. (2006). Complex networks: Structure and Dynamics. Phys. Rep. 424, 175-308.

[2] Fortunato, S. (2010). Community detection in graphs. Physics Reports, 486, 75-174

[3] Epstein, C., Carlsson, G., Edelsbrunner, H. (2011). Topological data analysis. Inverse Probl. 27, 120201.

[4] Munkres, J.R. (1984). Elements of Algebraic Topology. Addison-Wesley Publishing, California.

[5] Maletić, S., Rajković, M., & Vasiljević, D. (2008). Simplicial Complexes of Networks and Their Statistical Properties. Lecture Notes in Computational Science 5102(II), 568-575.

[6] Anđelković, M., Gupte, N., & Tadić, B. (2015). Hidden geometry of traffic jamming. Physical Review E 91 (5), 052817.

[7] Atkin, R. H. (1977). Combinatorial Connectivities in Social Systems. Birkhäuser Verlag, Base und Stuttgart.

[8] Johnson, J.H. (1981). Some structures and notation of Q-analysis. Environment and Planning B 8, 73.

[9] Casti, J.L. (1979). Connectivity, Complexity, and Catastrophe in Large-Scale Systems. International Institute for Applied Systems Analysis, New York University.

[10] Maletić, S., & Zhao, Y. (2017). Multilevel integration entropies: The case of reconstruction of structural quasi-stability in building complex datasets. Entropy 19 (4), 172.

[11] Degtiarev, K.Y. (2000). Systems analysis: mathematical modeling and approach to structural complexity measure using polyhedral dynamics approach. Complexity International 7, 1-22.

XLVIII Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23. September 2021.
MATΦ University of Belgrade Faculty of Mathematics
Mathematical Institute SANU

DISEASE PREVENTION AND/OR IMPROVEMENT OF PATIENTS' OUTCOMES THROUGH HIGHER ACCURACY OF PREDICITVE MODELS IN DIFFERENT AREAS OF MEDICINE IN THE ERA OF (MOBILE) MEDICAL DEVICES AND APPS – A LITERATURE REVIEW

SARA GRAČIĆ[1]

[1], University of Novi Sad, Faculty of Economics, Subotica, saritta4u@gmail.com

Abstract: *Medical professionals need reliable, accurate and on-time information and prediction models to make the right decision regarding a patient's course of treatment. Traditional machine learning approaches are not sufficient for big data abnormality prediction. The purpose of this paper is to conduct a literature review in the field of healthcare data mining to discover the latest trends in developing accurate prediction models in different areas of healthcare. Two research paper repositories, Science Direct and IEEE xplore, were chosen, and after applying inclusion and exclusion criteria, the search resulted in 24 research papers. Research was focused on improving machine learning algorithms for better prediction accuracy in cancer, cardiovascular diseases, diabetes etc. with the purpose of improving patients' outcomes.*

Keywords: *Healthcare, Data Mining, Literature Review, Diseases.*

1. INTRODUCTION

Process of healthcare digitalization has provided many opportunities in e.g. chronic disease management. However, that abundance of generated information also carries a risk of not identifying important variables that could change a doctor's approach in a treatment. E.g. cervical cancer may develop from abnormal cells that were not treated on time. Without understanding relations between risk factors and outcomes, inapropriate screening could lenghten treatment process [10].

Therefore, medical professionals need reliable, accurate and on-time information and prediction models to make the right decision regarding a patient's course of treatment. Data mining enables pattern detection and retreival of knowledge from abundant medical data, thus enabling the creation of accurate and on-time prediction models [16].

Wearables have also ifluenced on creation of significant amount of healthcare data [3]. E.g. Sense4Baby fetal monitor measures baby's and mom's heartbeat and uterin contractions during antepartum. This mobile medical device enables moms-to-be to conduct check-ups, save and send the results to their OBG via mobile phone or tablet, without going to a hospital. This user-generated data can be timely examined by an OBG and necessary courses of action taken, if needed. The amount of data created this way (i.e. not just from medical professionals, but from patients via mobile devicess and apps) is becoming so large, that the existing healthcare monitoring systems cannot efficiently extract valuable information, while traditional machine learning approaches are not sufficient for big data abnormality prediction [3].

After the Introduction, the rest of the paper is structured in the following order. Research methodology is presented in Section 2. Review results and discussion are presented in Section 3, while conclusion is given in Section 4.

2. RESEARCH METHODOLOGY

Literature review is designed to provide researchers with detailed information regarding a specific phenomenon. It is a form of identification, evaluation and interpretation of available research related to a field of interest. Review has three main phases: planning a review, conducting a review and reporting review findings [9].

This review is focused on how data mining techniques can reap benefits of healthcare data in practice, having in mind that this data is not only generated in the healthcare facilities (e.g. lab results, X-Ray, CT or MRI images), but is also being created by patients when using different home/wearable medical devices e.g. blood pressure monitors, Holter monitors, Sense4Baby, which are then sent to a healthcare professional for evaluation. The review is conducted with the objective of providing the latest achievements in the field of healthcare data mining.

Based on the set objective, following research questions were constructed. **RQ1**: How many studies focused on data mining in healthcare were published from January till May 28th 2021? **RQ2**: What were the main topics discussed in these papers? and **RQ3**: What are current trends in the area of data mining in healthcare?

To provide answers to research questions, a literature review was conducted to identify topics and trends discussed. Two scientific databases were chosen for conducting review: IEEE xplore and Science Direct. Research string was set in the following way: "healthcare" AND "data mining" and applied in the above stated scientific databases.

Publishing period was set to this year (2021), to collect the latest research results. Only review and research papers published in journals and conferences were included in the initial population. Grey literature (e.g. blog posts, white papers) was not taken into consideration. Only primary and secondary studies in the domain of healthcare data mining were examined. Language was not set as a barrier for entering the initial population, although it may pose one in the next stages (if title or abstract are not in English).

Advanced search was chosen in all databases. After applying search string and criteria " title, abstract, keywords " in Science Direct and "abstract" in IEEE xplore search resulted in initial population of 36 hits, structured in the following order: Science Direct (15) and IEEE explore (21).

Titles, keywords and abstracts were evaluated to ensure that a study is in function of answering research questions. All papers that were not in the field of interest (e.g. mental health, working environment safety, social media, vet medicine) were eliminated. 13 papers from IEEE xplore and 11 from Science Direct entered the final population. Most of the papers were published in journals that are ranked in Q1 and Q2 category according to Scimago Journal & Country Rank. The author of this paper was unable to find rankings for conferences. However, it is important to emphasize than content of a paper is more important than journal/conference ranking, i.e. research papers can provide quality content despite not being published in journals of Q1 category. Therefore, valuation of a research paper has an element of subjectivity. Due to the limited number of pages, result extraction and discussion are presented in the next section.

3. FINDINGS AND DISCUSSION

The author of this paper aimed to provide a summary of state-of-the-art knowledge regarding data mining in healthcare. Thus, a review was conducted and 24 papers were in focus of this research, which provides answer to **RQ1** *(How many studies focused on data mining in healthcare were published from January till May 28th 2021?).* Answers to **RQ2** *(What were the main topics discussed in these papers?)* and **RQ3** *(What are current trends in the area of data mining in healthcare?)* are given in the following paragraphs.

Electronic healthcare records represent an abundant source of valuable information that could be used for predicting treatment outcomes and even prevent certain conditions from developing. It was pointed out in [16] that timing of a clinician's treatment choices and predicting accuracy of patients' outcomes is important, so the authors summarized numerous publications in healthcare data mining regarding **methods, algorithms and performance**. Revision of statistical models for healthcare remedies resulted in clarification of uncertainty between statistical methods and machine learning, as well as that prediction of forecasting models differed despite the use of the same dataset. Authors concluded that predictive models were also important, while new approaches needed improvement.

Authors in [19] conducted a **survey of machine learning techniques** for classification and regression analysis in healthcare predictions and the study of sentiments between 2010 and 2020, while authors in [23] conducted a **review** which was focused on implementation of data mining in the field of cardiology.

3.1. Diabetes, cardiovascular and kidney diseases in predictive models

In [13], authors applied a data mining technique based on decision trees called CHAID (Chi-square Automatic Interaction Detection) for classification of **glucose profiles** based on week days (each day was divided into six sections) and different time slots. Clustering was performed according to recorded glucose levels. Authors reported significant differences ($P < 0.05$) and dependencies between classified glucose profiles depending on the 'day of the week' and 'time slot'. They also reported that these dependencies were different for each patient, thus implying individualized studies. This will enable prediction of individuals' glucose levels for days and time slots, which will give opportunity for the healthcare professionals to improve patients' therapies and life habits.

Revision of data mining techniques for **predicting diabetes** was performed in [17]. The authors applied RapidMiner for predicting development of diabetes. They also compared different models based on their prediction accuracy, running and scoring time.

In [8], authors developed a model that predicts the risk of **cardiovascular diseases (CVD) in type 2 diabetes (T2D)** patients by using administrative data with network-based features and machine learning techniques. Two cohorts (CVD+T2D patients and T2D patients) were identified; two baseline disease networks were generated, while a final network was generated from those two normalization. Prevalence of comorbidities, transition patterns and clustering membership were extracted from the final network, while demographics were extracted from dataset. Six prediction models were developed based on these risk factors, with accuracy ranging from 79% to 88%. These models could become useful in medical practice as well as for developing health strategies for fighting against these diseases.

Random Forest, Support Vector Machine and Artificial Neural Network were applied in [18] to identify an **early diagnosis of Chronic Kidney Disease** in patients. Developed models achieved good accuracy.

3.2. Predicting cancer

Cancer is ruthless. However, if changes are diagnosed early – based on medical data, it can be successfully treated. Therefore, authors in [10] developed a data-mining framework for extracting knowledge regarding improvement of **cervical cancer screening processes**, which is based on association rules. Extracted knowledge is designed to back up physicians' experience and suggest adequate screening strategies, which are developed by taking into account patients' risk factors. This means that patients who have a higher risk of this type of cancer can get appropriate treatment before it occurs.

In [22] authors used Support Vector Machine for manual categorization of histology images of **breast cancer** samples into benign and malignant to anticipate interpretation. All features were visualized and apprehended for a better insight into future diagnosis. Principal component analysis (PCA) for reducing dimensionality was applied. Designed model achieved 97% accuracy.

Big Data in oncology was in focus of authors in [25]. 50 000 cases of seven cancers (**liver, lung, kidney, breast, uterine, stomach and bowel**) were collected. Improved twin support regression vector machine TSVR algorithm was used to predict cancer recurrence. Prediction accuracy was higher than 91% depending on the cancer, which was higher than "that of convolutional neural network and e-TSVR models".

Authors in [2] were focused on why, when and how to apply biclustering in mining patterns related to **post-surgical risks**. These patterns give insight into: post-surgical complications, survival and hospitalization based on patient profile, cancer histopathology and entailed surgical procedures. The resulting patterns are already in use by healthcare professionals.

3.3 Contagious disease prediction

Predicting contagious diseases is also very important, so authors in [5] presented a novel technique for diagnosing coronavirus by applying Naive Bayes classifier. According to these authors, it could be used for **predicting the COVID – 19**.

In [14], authors were focused on automatic **identification of Chagas Disease (CD)** and proposed four different identification approaches for classification of several vectors of kissing bugs with "acceptable and promising" accuracy rates. Three are data mining-based approaches (preprocessing, feature extraction and selection, data balancing and classification). Feature extraction was performed with Principal component analysis (PCA) algorithm, while classification was performed with Decision Tree (DT), Random Forest (RF) and Support Vector Machine (SVM). Two different convolutional neural networks (CNN) were applied for preprocessing in the fourth approach. The authors achieved 100% accuracy with PCA + DT and PCA + RF. Their system could have great impact on healthcare providers in early identification and treatment of CD.

Authors in [12] developed a classification model for **malaria** based on twenty-eight-year climate variability across six countries of Sub-Saharan Africa. Climate factors that affect the incidence of malaria were identified, clustered for outlier detection and then classified using XGBoost algorithm. Results showed that climate has varying influence on malaria (depending on region), while three climatic factors (precipitation, temperature and surface radiation) significantly contribute to malaria outbreak. They showed that their model outperformed other classification models. It is designed to help in early malaria detection and development of preventive and adaptive public health strategies.

3.4. Patients and healthcare professionals

Authors in [15] presented a new technique in predicting **workload** of local health department, which was based on a real dataset with over 20 million administrative e-health records.

In [1], authors developed an "**IoT-based non-invasive automated patient's discomfort monitoring/detection system**" using a deep learning-based algorithm. It has IP camera, while Mask-RCNN

method was used to extract different key body points. These points are "transformed into six major body organs using association rules". Coordinates of key body points are measured; distance and temporal threshold are applied to classify patient's comfort or discomfort. These key points also determine posture. Monitoring is continuous, so dis/comfort levels are discriminated. Based on two-bed monitoring, their system achieved "true-positive rate of 94% and a false-positive rate of 7%".

In [21], authors wanted to compare manual and automated screening of patients for **trial eligibility** from electronic healthcare records (EHRs) in cardiology department. Manual screening was done by research personnel, while text-mining was used to automate this process. Yield and accuracy of screening were compared. Manual screening considered 92,466 patients, out of which 568 were chosen for trial. Automated screening showed that the number of patients considered could have been reduced to 18,603. This number contained 458 patients, which were also chosen by personnel. The overall accuracy of automatically extracted data was 88.0%. Authors concluded that data extraction from EHRs via text-mining can be applied in identifying and collecting basic information regarding trial participants.

In [7], focus was on **predicting healthcare insurance cost** that needed to be covered by the patient. Algorithms - decision tree, random forest, polynomial regression and linear regression were implemented; predicted and actual costs were compared. Correctness of each algorithm was measured by Coefficient of determination (r2_score), Root Mean Squared Error and Mean Squared Error. Random Forest had the best performance with an r2_score of 0.862533. This means that the algorithm can predict healthcare insurance cost with high accuracy.

3.5 Other topics

Authors in [24] used data mining to investigate **associations between drugs and delayed progression to neovascular age-related macular degeneration (nAMD)**. Out of 4000 evaluated generic drugs and drug classes, 19 distinct drug exposures with statistically significant, large relative risks were detected. They concluded that further studies are necessary to determine if identified targets may prevent or delay progression to advanced AMD.

Data mining was used to **evaluate manual EEG image annotation** tasks in [11]. Portable EEG sensor and supervised learning methods were applied. Data were collected from five volunteers. The authors argued that results were promising.

It was stated in [3] that current healthcare monitoring systems could not efficiently extract and analyze valuable health information from sensors and social networks. On the other hand, traditional machine learning approaches were not sufficient to handle big data and predict abnormalities. For improving classification accuracy, these authors proposed a **cloud based monitoring framework and big data analytics engine** for storing and analyzing healthcare data. Framework was developed employing Protégé Web Ontology Language tool with Java; the engine was based on data mining techniques, ontologies and bidirectional long short-term memory (Bi-LSTM). Data mining techniques preprocess and reduce data dimensionality, while ontologies provide semantic knowledge regarding entities, aspects and their relations in the area of diabetes and blood pressure. Bi-LSTM was able to correctly predict drug side effects and abnormalities in patients. Results showed that their model can work with heterogeneous data and has better accuracy in classifying health conditions and predicting drug side effects.

Artificial Intelligence and Block chain techniques for creation of "strong and secure decentralized system" for healthcare were integrated in [6].

Authors in [4] proposed a "**multi-level health knowledge mining process in a P2P edge network**". Their approach can solve overload, noise and security problems in cloud computing and mine healthcare information with F-measure using recall and precision 83%, 79%, 75%, 74%, and 73% for the support ratings of 10%, 20%, 30%, 40%, and 50%. Authors argued that real-time processing and analysis of healthcare data is possible through "a multi-level based health knowledge tree based on the association of data collected by P2P edge computing".

A "**deep learning-based clinical decision support system trained and managed under a federated learning paradigm**" was proposed in [20]. The authors wanted to benefit from rich health data when training each local neural network. So, they developed a strategy that guarantees patient privacy and overcomes cyber-attacks. They stated that their goal is to personalize clinical decision support system, that evolves and can be useful in medical diagnostics.

4. CONCLUSION

Medical professionals require reliable, accurate and on-time information and prediction models to make the right decision regarding a patient's course of treatment, whether to prevent diseases from occurring or improving the outcomes. With many mobile medical devices and apps which patients can use, they also create medical data (e.g. images, video clips) and predicting abnormalities in big data with traditional machine learning approaches is simply not enough**.**

The purpose of this paper was to conduct a literature review in the field of healthcare data mining to discover the latest trends in developing accurate prediction models in different areas of healthcare. The author of this paper conducted a literature review using only two scientific databases (Science Direct and IEEE xplore) and one search string. Due to the limitation in number of pages, focus was on providing deeper insight into the latest (2021) trends from the above mentioned databases, which certainly does limit the collected body-of-knowledge. Now, if more scientific databases were used and/or variations in search string were applied e.g. "data science AND healthcare" or "healthcare data science", the search would probably provide more detailed information regarding other tasks in data mining (e.g. visualization) as well, not just prediction.

Based on the criteria presented in Section 2, the search resulted in 24 research papers. Examined papers were focused on improvement and/or development of approaches for better accuracy in contagious disease and chronic disease prediction. However, certain papers were focused on different topics like healthcare insurance cost prediction, patient (dis)comfort detection or prediction of patients that would be suitable as participants in clinical trials.

With the rising quantity and variety of healthcare data generated by healthcare professionals and patients, it can be expected that the academic community will continue to improve existing and develop new approaches for data mining. This will have a tremendous positive impact on disease prevention, detection of health issues in the early stages and prescription of adequate treatment, which will lead to higher quality of healthcare services and improvement of patients' life quality.

REFERENCES

[1] Ahmed, I., Jeon, G., & Piccialli, F. (2021). A Deep Learning-based Smart Healthcare System for Patient's Discomfort Detection at the Edge of Internet of Things. IEEE Internet of Things Journal.

[2] Alexandre, L., Costa, R.S., Santos, L.L., & Henriques, R. (2021). Mining pre-surgical patterns able to discriminate post-surgical outcomes in the oncological domain. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics.

[3] Ali, F., El-Sappagh, S., Islam, S.M.R., Ali, A., Attique, M., Imran, M., & Kwak, K-S. (2021). An intelligent healthcare monitoring framework using wearable sensors and social networking data. Future Generation Computer Systems, 114, 23-43.

[4] Baek, J.W. & Chung, K. (2021). Multi-Level Health Knowledge Mining Process in P2P Edge Network. IEEE Access, 9, 61623-61634.

[5] Bhatia, S., & Malhotra, J. (2021). Naïve Bayes Classifier for Predicting the Novel Coronavirus. Proceedings of the 3rd International Conference on Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks (ICICV 2021), 880-883.

[6] Bhavya, G., Swetha, M.S., Muneshwara, M.S., & Anand, R. (2021). Soft Computing Technique for Block Chain Enabled Secure Healthcare System. Proceedings of the 5th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS 2021), 305-310.

[7] Dutta, K., Chandra, S., Gourisaria, M.K., & Gm, H. (2021). A Data Mining based Target Regression-Oriented Approach to Modelling of Health Insurance Claims. Proceedings of the 5th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC 2021), 1168-1175.

[8] Hossain, M.E., Uddin, S. & Khan, A. (2021). Network analytics and machine learning for predictive risk modelling of cardiovascular disease in patients with type 2 diabetes. Expert Systems with Applications, 164.

[9] Kitchenham, B. (2004). Procedures for Performing Systematic Reviews. Joint Technical Report, Computer Science Department, Keele University (TR/SE-0401) and National ICT AustraliaLtd. (0400011T.1).

[10] Lee, C.K.H., Tse, Y.K., Ho, G.T.S., & Chung, S.H. (2021). Uncovering insights from healthcare archives to improve operations: An association analysis for cervical cancer screening. Technological Forecasting and Social Change, 162.

[11] Massa, S.M., Pibiri, M., & Riboni, D. (2021). Towards EEG-based Performance Assessment in Dataset Annotation Tasks. Proceedings of the IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops and other Affiliated Events (PerCom Workshops 2021), 465-470.

[12] Nkiruka, O., Prasad, R., & Clement, O. (2021). Prediction of malaria incidence using climate variability and machine learning. Informatics in Medicine Unlocked, 22.

[13] Pachón, S.C., Serrano, M.B., Alcázar, O.G., Cabo, J.M.V., Zurimendi A.A., Martínez, R.R., Villaizán, E.M., & Pérez, J.I.H. (2021). Identificación de patrones de glucemia en pacientes con diabetes tipo 1 mediante monitorización continua de glucosa y técnicas de clusterización. Endocrinología, Diabetes y Nutrición, 68, 3, 170-174.

[14] Parsons, Z. & Banitaan, S. (2021). Automatic identification of Chagas disease vectors using data mining and deep learning techniques. Ecological Informatics, 62.

[15] Piccialli, F., Giampaolo, F., Salvi, A., & Cuomo, S. (2021). A robust ensemble technique in forecasting workload of local healthcare departments. Neurocomputing, 444, 69-78.

[16] Ray, A., & Chaudhuri, A.K. (2021). Smart healthcare disease diagnosis and patient management: Innovation, improvement and skill development. Machine Learning with Applications, 3.

[17] Shabtari, M. M., Shukla, V. K., Singh, H., & Nanda, I. (2021). Analyzing PIMA Indian Diabetes Dataset through Data Mining Tool 'RapidMiner'. Proceedings of the International Conference on Advance Computing and Innovative Technologies in Engineering (ICACITE 2021), 560-574.

[18] Shanmugarajeshwari, V., & Ilayaraja, M. (2021). Chronic Kidney Disease for Collaborative Healthcare Data Analytics using Random Forest Classification Algorithms. Proceedings of the International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI 2021), 1-14.

[19] Singh, R. & Singh, R. (2021). Applications of sentiment analysis and machine learning techniques in disease outbreak prediction – A review. Materials Today: Proceedings, In Press.

[20] Thwal, C.M., Thar, K., Tun, Y.L., & Hong, C.S. (2021). Attention on Personalized Clinical Decision Support System: Federated Learning Approach. Proceedings of the IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp 2021), 141-147.

[21] van Dijk, W.B., Fiolet, A.T.L., Schuit, E., Sammani, A., Groenhof, T.K.J., der Graaf, R., de Vries, M.C., Alings, M., Schaap, J., Asselbergs, F.W., Grobbee, D.E., Groenwold, R.H.H., & Mosterd, A. (2021). Text-mining in electronic healthcare records can be used as efficient tool for screening and data collection in cardiovascular trials: a multicenter validation study. Journal of Clinical Epidemiology, 132, 97-105.

[22] Varma, P.S.S, Kumar, S., & Reddy, K.S.V. (2021). Machine Learning Based Breast Cancer Visualization and Classification. Proceedings of the International Conference on Innovative Trends in Information Technology (ICITIIT 2021), 1-6.

[23] Verma, S. & Gupta, A. Effective Prediction of Heart Disease Using Data Mining and Machine Learning: A Review. Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems (ICAIS 2021), 249-253.

[24] Wang, S.V., Kulldorff, M., Poor, S., Rice, D.S., Banks, A., Li, N., Lii, J., & Gagne, J. (2021). Screening Medications for Association with Progression to Wet Age-Related Macular Degeneration. Ophthalmology, 128, 2, 248-255.

[25] Yang, A.M., Han, Y., Liu, C.S., Wu, J.H., & Hua, D.B. (2021). D-TSVR Recurrence Prediction Driven by Medical Big Data in Cancer. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 17, 5, 3508-3517.

XLVIII Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23. September 2021.
MATΦ University of Belgrade Faculty of Mathematics
Mathematical Institute SANU

CLUSTERING ANALYSIS OF TURKEY AND EU COUNTRIES ON THE AXIS OF GREEN GROWTH HEADLINE INDICATORS

YEŞİM OK[1] AND BURCU YILMAZ KAYA[2]

[1] Faculty of Engineering, Turkey, yesim.ok@atauni.edu.tr
[2] Faculty of Engineering, Turkey, burcuyilmaz@gazi.edu.tr

Abstract: *Clustering is the classification of objects into different groups, or the division of a data set into subsets (clusters) so that the data in each subset share some common characteristics. Clustering techniques basically seeks a structure of natural clusters for a dataset, based on their similarities or dissimilarities [1]. Green growth is a complex and multidimensional concept. While this concept is similar to "sustainable development", unlike sustainable development, green growth aims to support economic growth and development in a way that balances environmental damage concerns with long-term economic growth [2]. Five main categories including approximately 150 sub-criteria developed by the OECD balance out the central elements of green growth. While a large number of well-designed indicators are potentially required in economic environmental connectivity to provide background information, they are unlikely to resonate with policy makers and the wider public. Thus, to synthesize the main messages in a clear and easy interpretable way, one of the possible standing out approaches is to assemble a small number of headline indicators. Therefore, in this study, headline indicators are used to cluster the countries. This study was carried out to classify EU countries and Turkey according to the headline indicators of green growth. Considering 5 headline indicators of green growth, Turkey and EU countries were grouped using fuzzy C means clustering with two different tool, MATLAB and R. As a result of the analyses, the countries that provide homogeneity in terms of green growth headline indicators and show similarities among themselves were grouped to determine whether Turkey has similar characteristics with other countries in the same cluster, lastly, the statistical results were evaluated.*

Keywords: *clustering analysis, fuzzy c-means, data analysis, R, MATLAB, green growth indicators, data analysis*

1. INTRODUCTION

Green growth is about promoting economic growth and development while ensuring that natural assets continue to provide the resources and environmental services on which our well-being depends. To do this, it must catalyze investment and innovation with economic opportunities that will support sustainable growth and lead to new developments.

Green growth indicators include five main categories with approximately 150 sub-criteria developed by the OECD. While many well-designed indicators are potentially necessary in the economic-environmental link to provide background information, they are unlikely to resonate with policy makers and the wider public. Therefore, one possible standout approach to synthesizing key messages in a clear and easily interpretable way is to bring together a small number of key indicators. Therefore, headline indicators which are *Production-based CO_2 productivity, Non-energy material productivity, Mean population exposure to PM2.5, Demand-based CO_2 productivity and Environmentally adjusted multifactor productivity growth* are used to cluster countries in this study.

This study was conducted to classify EU countries and Turkey according to the main indicators of green growth. Fuzzy c-means clustering, which is a clustering method that allows each data point to belong to multiple clusters with varying degrees of membership, is used for this purpose with two different tools.

2. LITERATURE

Cluster analysis is a method that is frequently used especially in determining the relative positions of countries. There are many studies conducted for this purpose. OECD statistics provide an important data infrastructure opportunity for these clustering studies. many clustering studies in the literature in which OECD countries are grouped under headings such as health, education, and sustainability. There are many research studies used cluster analysis as a method to define similarity and/or heterogeneity between countries. [3] used clustering for comparing the GDP declines and deaths in per million population for COVID 19 in OECD countries and China. [4] has identified certain grouping of 24 European countries based on their death probabilities with two different clustering methods, k-means and k-median clustering. In [5] Ward's method and Euclidean distance were utilized in cluster analysis, the number of clusters being determined with the use of the Dunn index for comparison of wage levels of OECD countries. [6] re-clustered European economies for detecting similarities and differences between according to have transformation during the last five years. [7] clustered OECD countries with fuzzy clustering analysis in terms of variables determining migration statistics; [8]some of the EU and OECD countries, COVID-19 outbreak results, case, death rate, number of healthcare workers, etc. clustered using parameters.

3. METHOD

Cluster analysis is a multivariate statistical analysis method used to classify units according to their similarity. Fuzzy-C Means Clustering is used to calculate membership functions that determine the degree to which objects belong to clusters and to detect overlapping clusters in the data set. FCM algorithm is the best known and widely used method among fuzzy division clustering techniques. The fuzzy c-means algorithm was introduced by Dunn in 1973 and developed by Bezdek in 1981 [9].

3.1. Fuzzy C-Means Clustering

The fuzzy c-means method allows objects to belong more than one cluster. Fuzzy c-means (FCM) is a clustering method that allows each data point to belong to multiple clusters with varying degrees of membership between [0,1]. The sum of the membership values of a data to all classes must be “1”. Whichever cluster center the object is close to, the membership of that cluster will be larger than the membership of other clusters. The clustering process is completed when the objective function gets closer to the determined minimum progress value.

FCM is based on the minimization of the following objective function:

$$J_m = \sum_{i=1}^{D} \sum_{j=1}^{N} \mu_{ij}^{m} \|x_i - c_j\|^2, \tag{1}$$

where

- D is the number of data points.
- N is the number of clusters.
- m is fuzzy partition matrix exponent for controlling the degree of fuzzy overlap, with m > 1. Fuzzy overlap refers to how fuzzy the boundaries between clusters are, that is the number of data points that have significant membership in more than one cluster.
- x_i is the ith data point.
- c_j is the center of the jth cluster.
- μ_{ij} is the degree of membership of x_i in the jth cluster.
- For a given data point, xi, the sum of the membership values for all clusters is one. [9,10]

3.2. Clustering Validity Indices

Validity (or validation) indices are measures that evaluate the goodness or accuracy of the resulting cluster. Validity indices will be useful if the number of clusters is not known beforehand. In this case, clustering experiments are carried out according to different values of c and graphs corresponding to these predefined indices are drawn. The optimum result is found by comparative examination of these indexes and their graphs [11].

Partition Coefficient (PC):

The partition coefficient, one of the most frequently used measures, was defined by Bezdek (1981). The partition coefficient, which measures the amount of overlapping clusters, was defined by Bezdek as follows:

$$PC(c) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{c}\sum_{j=1}^{n}(\mu_{ij})^2 \tag{2}$$

Here, c indicates the number of clusters, while the index values are in the range of [1/c,1]. A PC value approaching 1 indicates better clustering.

Classification Entropy (CE):

Classification entropy, also proposed by Bezdek (1981), measures the fuzziness in cluster splits, similar to the partition coefficient. It is defined as follows:

$$CE(c) = -\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{c}\sum_{j=1}^{n}\mu_{ij}\,ln(u_{ij}) \tag{3}$$

A CE value approaching 0 indicates better clustering; has an increasing trend as the number of clusters c increases.

Partition index (SC):

The partition index is the ratio of the sum of the compaction and segregation in clusters. SC is a useful index for comparing different partitions with equal numbers of clusters (Eq.4). A lower SC value indicates a better partitioning.

$$SC(c) = \sum_{i=1}^{c}\frac{\sum_{j=1}^{n}(\mu_{ij})^m\|x_j - v_i\|^2}{n_i\sum_{k=1}^{c}\|v_k - v_i\|^2} \tag{4}$$

4. IMPLEMENTATION

4.1. Clustering of EU Countries and Turkey in terms of Green Growth Indicators

The main objective of this study is to group Turkey and twenty three European Union countries according to green growth headline indicators using fuzzy c-means clustering with two different tool, fuzzy clustering in MATLAB and both ppclust and fviz_cluster in R.

When the values of PC, CE and SF indices are examined in Table 1, it is seen that PC and SF take the closest value to 1 and PE get the closest value to 0 when the number of clusters is “2”.

Table 1: Validity index values

Cluster Number	PC	CE	SF
2	0,741539	0,411914	0,644475
3	0,577314	0,729285	0,459766
4	0,545657	0,845049	0,50152
5	0,553872	0,904124	0,605697
6	0,534383	0,969069	0,642302
7	0,528362	1,026514	0,602752
8	0,515864	1,093706	0,526116
9	0,498823	1,154209	0,412804

Silhouette statistics, (SC) and average silhouette statistics are used to determine which cluster number is the appropriate clustering among the clusters formed in fuzzy clustering [12]. Also as a result of the average silhouette statistics obtained in the R environment, it is clearly seen in the Figure 1 that the optimal number of clusters is "2".

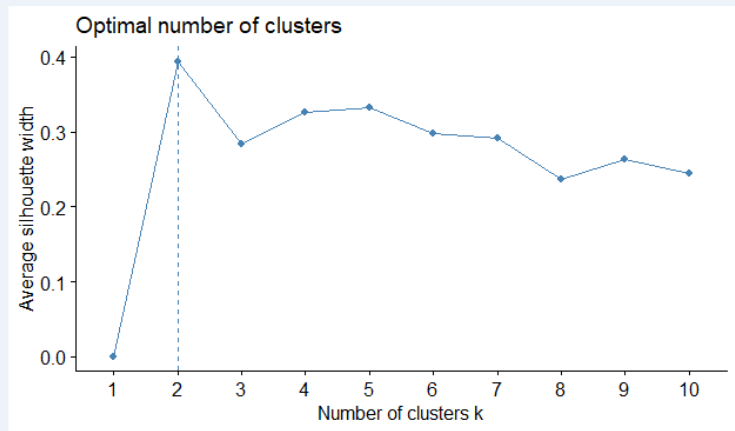


Figure 1: Average silhouette statistics graph

The membership degrees of the examined countries to each cluster were obtained with both MATLAB and R programs are given in Table 2. Countries are assigned to whichever cluster has the higher membership degree. Figure 2 shows the cluster groups to which the countries are assigned as a result of the analysis.

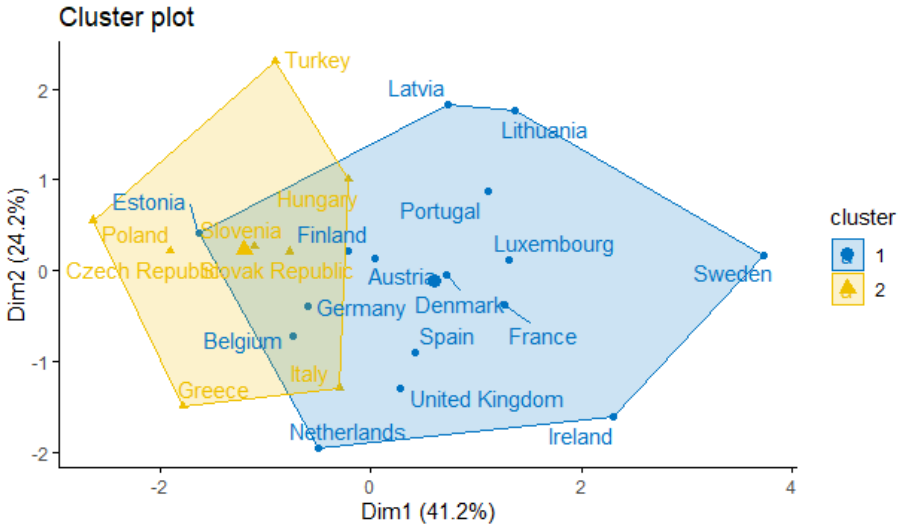


Figure 2: Clustering scatter plot obtained with R (c=2)

Table 2: Clustering results with both MATLAB and R

	With MATLAB			With R	
	1st Cluster	2nd Cluster		1st Cluster	2nd Cluster
Austria	0,756465367	0,243534633	*Austria*	0,81914142	0,18085858
Belgium	0,560106638	0,439893362	*Belgium*	0,63313581	0,36686419
Czech Republic	0,052675302	0,947324698	*Czech Republic*	0,05822532	0,94177468
Denmark	0,938460599	0,061539401	*Denmark*	0,91492994	0,08507006
Estonia	0,727252286	0,272747714	*Estonia*	0,76234023	0,23765977
Finland	0,806910434	0,193089566	*Finland*	0,83119882	0,16880118
France	0,934908008	0,065091992	*France*	0,91875569	0,08124431
Germany	0,695786762	0,304213238	*Germany*	0,78012578	0,21987422
Greece	0,277221684	0,722778316	*Greece*	0,32831683	0,67168317
Hungary	0,071566207	0,928433793	*Hungary*	0,0876363	0,9123637
Ireland	0,855695906	0,144304094	*Ireland*	0,83634356	0,16365644
Italy	0,241662154	0,758337846	*Italy*	0,27548418	0,72451582
Lithuania	0,865893781	0,134106219	*Lithuania*	0,87795171	0,12204829
Latvia	0,67451745	0,32548255	*Latvia*	0,71058228	0,28941772
Luxembourg	0,81441089	0,18558911	*Luxembourg*	0,84551177	0,15448823
Netherlands	0,611569999	0,388430001	*Netherlands*	0,65061079	0,34938921
Poland	0,152528015	0,847471985	*Poland*	0,14122033	0,85877967
Portugal	0,735921247	0,264078753	*Portugal*	0,92729208	0,07270792
Slovak Republic	0,022167751	0,977832249	*Slovak Republic*	0,01543274	0,98456726
Slovenia	0,005432302	0,994567698	*Slovenia*	0,01036852	0,98963148
Spain	0,937511973	0,062488027	*Spain*	0,9603855	0,0396145
Sweden	0,776948891	0,223051109	*Sweden*	0,75955644	0,24044356
Turkey	0,241298847	0,758701153	*Turkey*	0,23152959	0,76847041
United Kingdom	0,876279227	0,123720773	*United Kingdom*	0,88685608	0,11314392

As an additional analysis we use “3” cluster as shown in Figure 3.

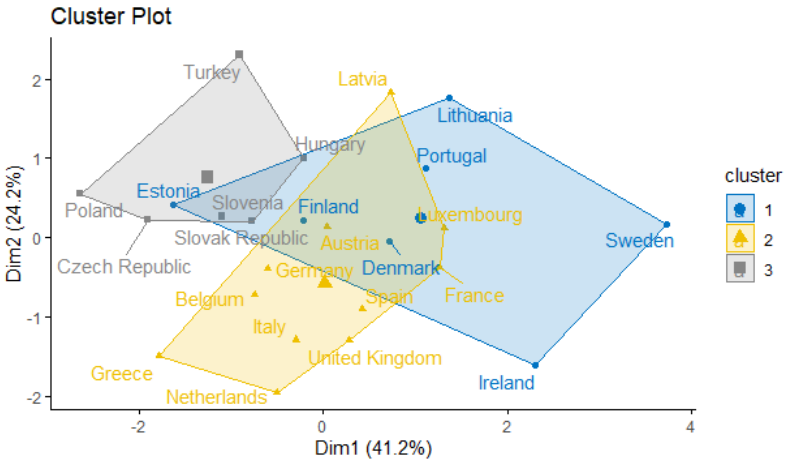


Figure 3: Clustering scatter plot obtained with R (c=3)

5. CONCLUSION

We used FCM for twenty three EU countries and Turkey in aspect of green growth. As a result, it is seen that the countries included in the 1st cluster have a more developed green growth infrastructure. Turkey is included in the 2nd cluster in both analyses. In the 3-cluster analysis, it is seen that it is included in the 3rd cluster with other countries such as Estonia, Solavenia and Poland, which are relatively backward to other countries.

For future researches most effective green growth indicators colud be elected with MCDM methods and then clustering could be used for new analysis.

REFERENCES

[1] Po, R., Guh, Y., & Yang, M. (2009). A new clustering approach using data envelopment analysis. European Journal of Operational Research, 199(1), 276–284.

[2] Popp, D. (2011). The role of technological change in green growth draft report prepared for the World Bank, Syracuse, NY: Syracuse University. Center for Policy Research, The Maxwell School.

[3] KUCUKEFE, B. Clustering Macroeconomic Impact of Covid-19 in OECD Countries and China. Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi, 5(Özel Sayı), 280-291.

[4] Ágoston, K. C., & Vaskoevi, A. (2020). Clustering EU Countries Based On Death Probabilities. In ECMS (pp. 91-96).

[5] Bílková, D. (2020). Evaluation of Standard of Living in OECD Countries.

[6] Kargas, A. D., Kiriakidis, M., & Evangelos, Z. (2020). Europe's Economic Crisis: Re-Clustering European Economies. European Journal of Social Science Education and Research, 7(1), 41-50.

[7] Arı, E. & Yıldız, A. (2018). Oecd Ülkelerinin Göç İstatistikleri Bakımından Bulanık Kümeleme Analizi İle İncelenmesi. Pamukkale University Journal of Social Sciences Institute/Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (33).

[8] Demircioğlu, M. & Eşiyok, S. (2020). Covid–19 Salgını İle Mücadelede Kümeleme Analizi İle Ülkelerin Sınıflandırılması. İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 19(37), 369-389.

[9] Bezdek, J.C., Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms, Plenum Press, New York, 1981.

[10] https://ch.mathworks.com/help/fuzzy/fcm.html

[11] Azar, A. T., El-Said, S. A., & Hassanien, A. E. (2013). Fuzzy and hard clustering analysis for thyroid disease. Computer methods and programs in biomedicine, 111(1), 1-16.

[12] Özdamar K (2004), Paket Programlar ile İstatiksel Veri Analizi (Çok Değişkenli Analizler). Eskişehir: Kaan Kitapevi.

Poslovna analitika

Business Analytics

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

ANALIZA STAVOVA STUDENATA PREMA ONLINE NASTAVI

ANALYSIS OF STUDENTS' ATTITUDES TOWARDS ONLINE TEACHING

MILAN RADOJIČIĆ[1], IVANA MILIĆEV[2]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, milan.radojicic@fon.bg.ac.rs
[2] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, ivanam012@gmail.com

---

Rezime: *Pandemija korona virusa je uslovila da se održavanje predavanja i vežbi na fakultetima prilagodi novonastalim okolnostima, sa ciljem da se spreči širenje virusa. U ovom radu je sprovedeno kvantitativno istraživanje stavova studenata druge godine. Oni su od četiri semestra, čak tri proveli u online režimu nastave koristeći jedinstvenu online platformu za učenje. Analiza je izvršena metodama deskriptivne i inferencijalne statistike. Zaključci navode na to da su studenti, iako svesni prednosti online nastave, ipak privrženiji tradicionalnom režimu nastave.*

Ključne reči: *Online nastava, Tradicionalna nastava, Fakultetsko obrazovanje.*

Abstract: *The corona virus pandemic has caused teaching at faculties to be adapted to the new circumstances, with the aim of preventing the spread of the virus. In this paper, a quantitative research of sophomore students was conducted. In three of the four semesters they used a unique online learning platform. The analysis was performed by methods of descriptive and inferential statistics. The conclusions suggest that students, although aware of the benefits of online teaching, are still more committed to the traditional mode.*

Keywords: *Online teaching, Traditional teaching,Uuniversity education.*

Primene OI u građevinarstvu

OR Applications in Civil Engineering

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

PRIMENA BIM TEHNOLOGIJA U PROCESU PLANIRANJA I PROJEKTOVANJA OBJEKATA

APPLICATION OF BIM TECHNOLOGIES IN OBJECT PLANNING AND DESIGN

LJUBO MARKOVIĆ[1], LJILJANA MILIĆ MARKOVIĆ[2]

[1] Univerzitet u Prištini u Kosovskoj Mitrovici- Fakultet tehničkih nauka, Kosovska Mitrovica, ljubo.markovic@pr.ac.rs
[2] Univerzitet u Banjoj Luci-Arhitektonsko građevinsko geodetski fakultet, Banja Luka, ljiljana.milic-markovic@aggf.unibl.org

Rezime: *BIM (Building Information Modelling) podrazumeva izradu višedimenzionalnog informacionog modela objekta, koji se zasniva na osnovnom 3D modelu. U radu je ukazano na značaj primene BIM tehnologije u građevinarstvu i njenu ulogu u procesu planiranja i projektovanja objekata. Nabrojane su mogućnosti upotrebe BIM-a u svakom od ovih procesa (planiranja i projektovanja), kao i koristi koju primena BIM tehnologija donosi u tim procesima. Istaknuta je uloga i značaj primene BIM tehnologije u komunikaciji i deljenju informacija između učesnika u projektu - investitora, projektanta, projektnih timova.*

Ključne reči: *BIM, informacioni model, građevinarstvo, planiranje, projektovanje, objekat, komunikacija.*

Abstract: *Building Information Modelling (BIM) means developing of multi-dimensional information model of a building, which is established on a basic 3D model. The paper presents the significance of BIM (Building Information Modelling) technology in civil engineering and its role in the process of planning, and designing of a building. The possibilities of using BIM in each of these processes (planning and design) are listed, as well as the benefits that the application of BIM technologies brings in these processes. The role and importance of the application of BIM technology in communication and information sharing between project participants - investors, designers, project teams were emphasized.*

Keywords: *BIM, information model, civil engineering, planning, designing, building,communication*

1. UVOD

Kompleksnost procesa projektovanja i realizacije projekata u građevinarstvu neprestano se povećava pod uticajem ubrzanih ekonomskih, političkih i socijalnih promena, tehnološkog napretka, kao i zahteva za poboljšanje energetske efikasnosti. Povećanjem obima i veličine građevinskog projekta povećava se i broj učesnika u procesu projektovanja i građenja. Zato je u timu za realizaciju građevinskog projekta veoma važno istaći potrebu za multidisciplinarnom saradnjom i efikasnim donošenjem odluka, kako bi se ispunili svi funkcionalni, tehnički, ekonomski i ekološki ciljevi projekta. Ovako postavljeni ciljevi zahtjevaju nove metode planiranja i primenu IT alata kako bi se svladala složenost projekata i upravljanje znanjima u timu. Vodeća metodologija koja objedinjuje takve procese je BIM (eng. Building Information Modeling). BIM je revolucionarna tehnologija i proces koji ima ulogu da brzo transformiše način na koji su objekti zamišljeni, dizajnirani, konstruisani i izvedeni (Hardin 2009).

2. BIM (Building Information Modeling)

BIM kao savremena metoda modelovanja u građevinarstvu predstavlja alat za poboljšanje i povećanje mogućnosti isporuke projekata i smanjenje fragmentacije u građevinskoj industriji. BIM predstavlja zajedničku bazu znanja za sve učesnike na projektu (arhitekte, inženjere građevinarstva, geodezije, mašinstva i elektrotehnike) (Latiffi et al. 2014). Svi podaci o projektu tokom njegovog životnog ciklusa (od ideje o izgradnji do korišćenja i rušenja), obuhvaćeni su tim parametarskim modelom. BIM obuhvata upravljanje informacijama o planiranju, projektovanju i građenju u obliku digitalnih prezentacija prostornih i funkcionalnih karakteristika, uključujući interdisciplinarnu razmenu podataka između različitih aktera (projektnih timova) zaduženih za različite faze realizacije projekta. Zahvaljujući tehnološkim prednostima BIM alata, razvile su se brojne mogućnosti za primenu različitih alata za projektovanje i simulaciju, koje su

najpovoljnije za izvođenje projekta od njegove najranije faze pa sve do kraja životnog ciklusa izgrađenog objekta (NBIMS 2010).

BIM pristup primjenjuje se u svim životnim fazama građevinskih projekta i omogućava:

- bolje i jasnije razumevanje postavljenih ciljeva projekta,
- podršku u procesima donošenja odluka,
- vizualizaciju projektnih rešenja,
- poboljšanja u procesu projektovanja i koordinacije projekata,
- rano uočavanje potencijalnih grešaka na projektu,
- detaljne analize,
- brze izmene i lakše upravljanje promenama,
- povećanje i osiguravanje kvaliteta građevinskih procesa i konačnog proizvoda,
- efikasnost procesa u fazi građenja,
- povećanje sigurnosti u fazi građenja,
- podršku u analizi životnog ciklusa i troškova projekta (Belgian Guide 2015).

Karakteristično za BIM pristup je sigurna, nesmetana i stalna komunikacija i saradnja između saradnika i faza projekta. Za tu svrhu je organizacija Building Smart razvila IF (eng. Industry Foundation classes) – nezavisni format za razmenu podataka među saradnicima koji se koriste različitim softverima, softverskim platformama i verzijama (Strategy paper 2011). Reč je o formatu datoteke koji je otvoren, neutralan i objektno usmeren, koji doprinosi interoperabilnosti građevinskog projekta. Zbog toga je IFC najčešće korišćen format koji teži da postane svetski standard za razmenu BIM podataka - registrovan je kao standard ISO/PAS 16739 (Strategy paper 2011).

3. PRIMENA BIM TEHNOLOGIJA

Dosadašnji način projektovanja podrazumevao je kreiranje objekta u 2d ravni (osnove, karakteristični preseci, izgledi). Proces počinje izradom idejnog projekta, glavnog projekta i građevinske dokumentacije. Svaki korak je završen pre nego što počne sledeći. s tehnološkim napretkom, CAD se razvio i stvoren je 3D CAD (AutoCad-a i ArhiCad-a softveri koji omogućavaju 3D projektovanje). Dalji napredak tehnologije zamenio je CAD tehnologiju BIM tehnologijom, čija je baza 3D model na koji se vežu i razvijaju dodatne dimenzije - vreme (4D), troškovi (5D), održivosti i potrošnja energije (6D), upravljanje i održavanje objekta (7D).

3.1. Primena bim tehnologija u procesu planiranja

U procesu planiranja BIM tehnologije se mogu upotrebiti za: (Hichri et al. 2013)

- Prostornu analizu potencijalnih lokacija objekta (eng. Site Analysis) - proces u kome se BIM/GIS alati koriste za ocenu podobnosti određene lokacije radi određivanja optimalne lokacije za budući objekat. Prvo se prikupljaju podaci za izbor lokacije, a zatim se na izabranu lokaciju postavlja objekat u skladu sa ostalim zahtevima definisanim u projektnom zadatku. Primena BIM tehnologija omogućava lakše donošenje odluke o tome zadovoljava li potencijalna lokacija kriterijume u skladu sa projektnim zahtevima, tehničkim i finansijskim ograničenjima.
- Analizu prostorne interpolacije objekta (eng. Programming) - proces u kome se BIM model primenjuje kako bi se analiziralo i procenilo projektno rešenje u odnosu prema prostornim ograničenjima i zahtevima. Razvijeni BIM model omogućava projektnom timu analizu prostora i bolje razumevanje složenosti prostornih odnosa i zahteva. U ovoj fazi se donose ključne odluke, koje daju najveći doprinos projektu, jer se potrebe i varijante tek dogovaraju s naručiocem- Investitorom (analiza najboljeg pristupa).
- Snimanje postojećeg stanja (eng. Existing Conditions Modeling) - proces u kome projektni tim razvija BIM model postojećeg stanja lokacije, postojećih objekata na lokaciji ili određenog dela postojećeg objekta. Ovaj model može se razviti na nekoliko načina: primjenjujući tehnologiju laserskog skeniranja (eng. Point Cloud) ili konvencionalnih tehnologija geodetskog snimanja, u zavisnosti od toga šta je potrebno, prikladno i najefikasnije. Nakon što je model izrađen, iz njega se mogu izvlačiti informacije za druge primene BIM tehnologije. Potencijalne koristi od primene BIM tehnologije u ovom procesu su: veća tačnost i preciznost u snimcima postojećeg stanja; pomoć u budućem modelovanju i 3D koordinaciji projekta; tačne informacije o trenutnom stanju izvedenih radova; procena količina izvedenih radova daje se u stvarnom vremenu; pruža detaljne informacije o stanju lokacije; prikladno je za potrebe vizualizacije.

3.2 Primena BIM tehnologija u procesu projektovanja

U procesu projektovanja BIM tehnologije igraju važnu ulogu prilikom:

- Analize predloženih projektnih rešenja (eng. Building System Analysis) - proces u kome se analizira i ocenjuje kako se ponaša objekat u zavisnosti od predloženog projektnog rešenja. To može da uključuje analizu mašinskih sistema i količine potrošnje energije. Drugi aspekti takve analize uključuju, ali nisu na njih ograničeni, analizu prirodnog i veštačkog osvetljenja, uređaje za grejanje i klimatizaciju (eng. CFD, Computational Fluid Dynamics). Potencijalne koristi od ove analize ogledaju se u proveri karakteristika predloženih rešenja tako da budući objekat što više zadovoljava postavljene projektne zahteve i zahteve održivosti, identifikaciji mogućnosti modifikacije sistema radi bolje efikasnosti, izrada „što ako“ scenarija primenom različitih materijala radi poboljšanja efikasnosti.
- Projektovanja i dizajna (eng. Design Authoring) - proces u kome se koristi BIM kao softver kako bi se razvio BIM model na osnovu postavljenih zahteva bitnih za dizajn objekta. Dva osnovna skupa softverskih rešenja čine jezgro BIM procesa projektovanja - softverska rešenja za projektovanje u BIM tehnologiji i softverska rešenja za kontrolu i analize. Softverskim rešenjima za projektovanje stvaraju se BIM modeli, a softverska rešenja za kontrolu i analize koriste se za proučavanje ili dodavanje dodatnih informacija u model. Softverska rešenja za projektovanje prvi su korak u BIM-u i ključni za povezivanje 3D modela sa bazom karakterisika i količina materijala, sredstava i metoda rada i troškova. Koristi od primene BIM tehnologija u ovom koraku su: jasnija prezentacija projekta svim učesnicima; bolja kontrola i kontrola kvaliteta projekta, troškova i vremenskog planiranja; detaljnija vizualizacija dizajna; saradnja između učesnika na projektu i BIM korisnika (Arayici et al.2012)..
- Inženjerske analize (eng. Engineering Analysis) - proces u kome se softversko rešenje za inženjerske analize koristi BIM modelom kako bi se odredila najefikasnija inženjerska metoda u skladu sa specifičnim zahtevima projekta. Razvoj ovih informacija predstavlja osnovu za ono što će se prezentovati investitoru ili korisniku objekta (npr. energetska analiza, analiza konstrukcije, planiranje evakuacijskih puteva itd.). Rezultati dobijeni softverskim rešenjima za analize i simulacije pomažu u donošenju boljih odluka tokom projekta čime se znatno mogu pobiljšati performanse objekta u fazi eksploatacije. Koristi od primene BIM modela su: preciznije analize; ušteda vremena i troškova; postizanje optimalnog, energetski efikasnog projektnog rešenja dobijenih analizom; povećanje kvaliteta i smanjenje ponavljajućeg rada; brži povrat investicije (Tomek et al.2014).
- Višedimenzionalne 3D koordinacije (eng. 3D Coordination) - proces kome se, tokom koordinacije u fazi projektovanja, primenjuje softversko rešenje za određivanje mogućih kolizija pri građenju, poređenjem 3D modela različitih elemenata i/ili sistema građevine. Cilj određivanja kolizija je da se otklone glavne neusaglašenosti i potencijalni konflikti između građevinskih sistema pre samog građenja. Potencijalne koristi od primene BIM modela su: koordinacija građevinskog projekta uz pomoć modela; preciznija projektna dokumentacija; vizualizacija građenja; smanjenje i eliminacija kolizija na gradilištu, što znatno smanjuje neplanirane radove i troškove u poređenju s drugim metodama; povećanje produktivnosti na gradilištu; niža cena građenja ili potencijalno manje povećanje cene (npr. manje zahteva za izmenama).
- Procene usklađenosti s propisima (eng. Code Validation) - proces u kome se, primenom odgovarajućeg softverskog rešenja, proveravaju parametri modela u smislu usklađenosti sa primenjenim propisima. Procena usklađenosti sa propisima trenutno je još u ranim fazama razvoja u SAD-u i nije u široj upotrebi u svetu. Kako alati za procenu usklađenosti i s propisima svaki dan napreduju, očekuje se njihova sve veća primena u građevinskoj industriji. Potencijalne koristi od primene BIM modela u fazi procene uskladnosti s propisima su: ocenu da li projektno rešenje zadovoljava specifične propise i norme (npr. pravilnik o otpornosti na požar i drugi propisi koji se primjenjuju na projektu); u ranim fazama projektovanja smanjuje se mogućnost grešaka u projektu i propusta koji mogu prouzrokovati veliki utrošak vremena ili biti vrlo skupi za korekciju u kasnijim fazama projektovanja ili u fazi građenja; daje kontinuirane povratne informacije o usklađenosti s propisima; smanjuje se utrošak vremena pri pregledu i odobravanju projektne dokumentacije (Tomek et al.2014).
- Procene održive gradnje (eng. Sustainability Evaluation) - proces u kome se projekat izrađen BIM tehnologijom ocenjuje na osnovu zahteva za održivom gradnjom. Taj proces treba sprovoditi u svim fazama projekta, od pokretanja i planiranja, tokom faze projektovanja, faze građenja i tokom eksploatacije objekta. Primenom elemenata održive gradnje u projektu tokom faze planiranja i ranih

faza projektovanja može se najviše uticati na ishod projekta u kasnijim fazama. U sveobuhvatnom procesu mora sarađivati više struka u ranim fazama kako bi različiti stručnjaci dali primedbe i smernice. Jednostavnija interakcija, saradnja i koordinacija članova tima u ranim fazama projektnih procesa smatraju se ključnim u projektima koji obuhvataju i održivu gradnju. Da bi se postigli sertifikati održive gradnje, sertifikacijski procesi zahtevaju proračune, dokumentaciju i provere. Energetske simulacije, proračuni i izrada dokumentacije može se sprovesti unutar integrisanog okruženja tek pošto što su jasno dodeljene dužnosti i odgovornosti. Primena BIM modela u ovoj fazi omogućava ranu i pouzdanu procenu alternativnih projektnih rešenja; dostupnost ključnih informacija pomaže u efikasnom rešavanju problema kada je reč o troškovima i planiranju vremena realizacije; skraćuje se proces projektovanja; utiče se na poboljšanje kvaliteta projekta, smanjuje se količina projektne dokumentacije čime se utiče na ubrzavanje procesa sertifikacije (pripremljeni proračuni mogu se koristiti za ocenjivanje u procesu certifikacije izgrađenog objekta); optimizuju se performanse objekta boljim energetskim upravljanjem, daje se prednost ekološkoj i energetski efikasnoj gradnji.

- Pregleda i ocenjivanja uspešnosti projektnog rešenja (eng. Design Reviews) - proces u kome učesnici na projektu mogu nakon pregleda BIM modela da daju svoje sugestije i primedbe na osnovu sagledavanja i vrednovanja različitih aspekata projektnog rešenja. Ti aspekti uključuju ocenjivanje rešenja projektnog zadatka, estetike prostora i rasporeda, osvetljenja, sigurnosti, ergonomije, akustike, teksture, boja itd. Primena BIM tehnologije može se sprovoditi korišćenjem kompjuterskog softvera ili uz pomoć specijalnih tehnika - virtuelne stvarnosti (VR) (eng. Virtual Reality) ili dopunjene stvarnosti (AR) (eng. Augmented Reality). Virtuelni pregled projektnog rešenja moguće je izvesti sa različitim stepenima detaljnosti, sve u zavisnosti od potreba ili trenutne faze u kojoj se projekat nalazi (npr. izrada detaljnog modela čitavog objekta ili nekog njegovog dela, kako bi se brže analiziralo i ocenilo projektno rešenje i eventualno našla alternativa i rešili problemi koji mogu nastati primenom tog rešenja). Primena BIM modela u ovoj fazi omogućava izbegavanje nepotrebnih troškova izrade skupih tradicionalnih i vremenski zahtevnih maketa objekta - različita i alternativna projektna rešenja mogu se jednostavno modelovati i promeniti u realnom vremenu tokom pregleda modela na osnovu primedbi i sugestija dobijenih od krajnjih korisnika ili vlasnika objekta; kraći je i efikasniji proces pregleda i ocenjivanja projektnog rešenja (npr. BIM model može se koristiti kako bi se pregledali i analizirali elementi protivpožarnog sistema ili razmotrila alternativna rešenja puteva evakuacije); jednostavnija je komunikacija sa investitorom, izvođačem ili krajnjim korisnicima; poboljšana koordinacija i komunikacija između projektnih timova za rezultat ima bolju atmosferu u toku realizacije projekta.
- Količine i procene troškova (eng. Cost Estimination – 5D Modeling) - proces u kome se BIM model koristi za izračunavanje potrebnih količina materijala sa ciljem procene troškova u svim fazama projekta (5D model). Taj proces omogućava projektnom timu uvid u to kako njihove promene projektnog rešenja utiču na troškove svih faza projekta, a može pomoći u optimizaciji (smanjenju) troškova, odnosno u postizanju zadatih ciljva projekta za istu ili nižu cenu. Na troškove se najviše može uticati izmenama u projektnom rešenju u ranijim fazama projekta. Primena BIM modela u ovoj fazi omogućava precizno izračunavanje potrebnih količina materijala i/ili elemenata i na osnovu toga detaljnu izradu predračuna; bolja vizualna prezentacija projekta i građevinskih elemenata za koje je potrebno izračunati količine (kao informacija investitoru, od ranih faza projekta kada su podloga za donošenje odluka, do faze građenja u kojima se vide promene količina tokom građenja); ušteda vremena pri izradi predračuna; povezivanje s vremenskim planom građenja, odnosno povezivanje sa 4D BIM modelom koji omogućava praćenje troškova tokom građenja; jednostavnije istraživanje koje pokazuje jesu li različita projektna rešenja unutar predviđenog budžeta; s obzirom da proces ima vizuelnu komponentu, omogućava jednostavniju kontrolu procenjenih količina i troškova.

4. ZAKLJUČAK

Danas se u građevinarstvu sve veći naglasak stavlja na pitanje održivog planiranja i projektovanja objekata. Metoda BIM (eng. Building Information Modeling) omogućava postizanje održivosti u tim postupcima i to prikupljanjem relevantnih informacija i njihovo grupisanje u jednom koordiniranom modelu. BIM sa sobom donosi velike organizacione i tehnološke promene, a sve u cilju ostvarivanja koristi za sve učesnike na građevinskom projektu.

BIM predstavlja izgradnju digitalnog integrisanog modela (informacija) postojećeg ili budućeg izgrađenog objekta. Ako se efikasno koristi, BIM pristup pruža priliku za znatno poboljšanje tradicionalnih metoda planiranja i projektovanja, čime se smanjuje mogućnost skupih izmena na projektu, a investitoru se

otvaraju višestruke mogućnosti kontrole i učestvovanja u samom projektu. Osim toga, BIM pristup omogućava ponovnu upotrebu podataka u više svrha, uključujući građenje i održavanje objekta. Time BIM pristup definiše novi, moderniji i proaktivniji pristup upravljanju objektima u građevinarstvu.

BIM u globalnim okvirima već dugo postoji, konstantno se razvija i u poslednjih 20-ak godina je brzo evoluirao. Međutim, nivo primene BIM-a u građevinarstvu u Srbiji još uvijek je prilično nizak - trenutna percepcija je u okvirima trenda koji 'tek dolazi'.

S obzirom da je građevinarstvo u svakoj državi pokazatelj ali i pokretač ekonomije, jasno je da i državni organi treba da bude zainteresovani za što bržu implementaciju BIM tehnologije u građevinskim projektima.

LITERATURA

[1] Hardin, B. (2009) BIM and Construction Management, Indianapolis: Wiley Publishing, IN

[2] NBIMS (2010) National Building Information Modeling Standard, online at http://www.wbdg.org/pdfs/NBIMSv1_p1.pdf

[3] Marković, Lj., Milic Markovic, Lj. (2020) BIM u građevinarstvu, XLVII International Symposium on Operational Research SYM-OP-IS 2020, Beograd, Septembar 20–23, pp. 327-333.

[4] Building Information Modeling – Belgian Guide for the construction Industry (2015), ADEB-VBA, Avenue Grandchamp/Grootveldlaan 148 – 1150 Brussel.

[5] COBie Data Drops - Structure, uses examples (2012) Cabinet office - BIS, Department for Business Innovation & Skills - BIM, Management for Cost & Carbon Improvement - Ministry of justice – ECS.

[6] BIM Overlay to the RIBA Outline Plan of Work (2012) Dale Sinclair.

[7] Arayici, Y., Coates, P., Koskela, L., Kagiogluo,M, (2012) BIM Adoption and Implementation for Architectural Practices; London; Prentice Hall.

[8] E. William East and William Brodt (2007) BIM for construction handover, Journal of Building Information Modeling (JBIM) National Institute of Building Sciences.

[9] Eastman, at al. (2011) BIM Handbook: A Guide to the Building Information Modeling for Owners, Managers, Desingers, Engineers and Contractors; John Wiley & Sons, Inc.

[10] Hichri, N.; Stefani,C.;De Luca, L.; Veron, P.; Hamon, G. (2013) From point cloud to BIM: a survey of existing approaches; XXIV International CIPA Symposium, 2013, Strasbourg, France. Proceedings of the XXIV International CIPA Symposium, 2013.

[11] Latiffi, A.,A.; Brahim, J.; Fathi, M.,S. (2014) The Development of Building Information Modeling (BIM) Definition; Applied Mechanics and Materials Vol. 567, pp 625-630.

[12] Tomek, A.; Matejka P.; (2014) The impact of BIM on risk management as an argument for its implementation in a construction company; Creative Construction Conference; Procedia Engineering 85, pp. 501 – 509.

[13] Wang, X and Love., P.E.D (2012) BIM+ AR: Onsite information sharing and communication via advanced visualization", Proceedings of the 2012 IEEE 16th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design, IEEE, pp. 850-855

[14] Strategy Paper for the Government Construction Client Group From the BIM Industry Working Group (2011) https://www.cdbb.cam.ac.uk

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

PREDIKTORI AKADEMSKOG USPJEHA STUDENATA GRAĐEVINARSTVA

PREDICTORS OF ACADEMIC SUCCESS OF CIVIL ENGINEERING STUDENTS

LJUBIŠA PRERADOVIĆ[1], SNJEŽANA MAKSIMOVIĆ[1] , SANDRA KOSIĆ-JEREMIĆ[1]

[1] Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Banja Luka,
ljubisa.preradovic@aggf.unibl.org, snjezana.maksimovic@aggf.unibl.org,
sandra.kosic-jeremic@aggf.unibl.org

Rezime: *U radu je analiziran uspjeh diplomiranih studenata građevinarstva na Arhitektonsko-građevinsko-geodetskom fakultetu u Banjoj Luci, u odnosu na pol, prosječnu ocjenu u srednjoj školi, rezultate kvalifikacionog ispita i uspjeha u polaganju matematičkih predmeta. Posmatrani su studenti koji su upisani 2012, 2013. i 2014 godine, a diplomirali do kraja 2020. godine. Korištena je data mining metoda i generisana su odgovarajuća stabla odlučivanja i pravila koji su poslužili u praćenju i predviđanju akademskog uspjeha studenata građevinarstva.*

Ključne reči: *Analiza uspješnosti, stablo odlučivanja, uspjeh u srednjoj školi, kvalifikacioni ispit, matematika*

Abstract: *The paper analyzes the success of graduate students of civil engineering at the Faculty of Architecture, Civil Engineering and Geodesy in Banja Luka, in relation to gender, average grade in high school, entrance exam results and success in mathematics subjects. Students enrolled in 2012, 2013 and 2014 were observed, and graduated by the end of 2020. A data mining method was used and appropriate decision trees and rules were generated that served to monitor and predict the academic success of civil engineering students.*

Keywords: *Analysis of the success, decision tree, high school success, entrance exam, mathematics*

1. UVOD

Studije na Arhitektonsko-građevinsko-geodetskom fakultetu Univerziteta u Banjoj Luci su organizovane po modelu evropskog prenosa bodova (ECTS) i odvijaju se u tri ciklusa. Studijski programi na prvom i drugom ciklusu su Arhitektura, Građevinarstvo i Geodezija, dok se samo na SP Građevinarstvo odvija treći ciklus studija. Većina kandidata koji upišu Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci su iz građevinskih škola i Gimnazija, a najbolje rezultate na kvalifikacionom ispitu postižu učenici Gimnazije [8].

Prema [10] i [11] analiza akademskog uspjeha vrlo je važna za visokoškolske ustanove s aspekta strateškog planiranja upisne politike, promjene i poboljšanja kurikuluma studijskih programa. U [9] je pokazan značaj kvalifikacionog ispita za upis na Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci, kao i veza između uspjeha na kvalifikacionom ispitu i uspjeha u polaganju matematičkih predmeta. Od 2006. godine u Bosni i Hercegovini, kao i na Arhitektonsko-građevinsko-geodetskom fakultetu Univerziteta u Banjoj Luci, studenti studiraju po bolonjskom sistemu studija, gdje studije građevine traju 4 godine (8 semestara).

U posljednjih nekoliko decenija, poraslo je interesovanje istraživača u ispitivanju postignuća kandidata koji upisuju visokoškolske ustanove u odnosu na pol [3,12], u odnosu na završenu srednju školu [4,5], kao i u odnosu na rezultate postignute na kvalifikacionom ispitu [4, 5, 8, 9]. Osim analize rezultata koji kandidati ostvare na kvalifikacionom ispitu, značajno je odrediti algoritme (stabla) pomoću kojih možemo predvidjeti uspješnost kandidata pri polaganju istog, uspješnost kandidata tokom studija i završetku studija [1,2,10].

Ovaj rad sastoji se iz dva dijela. U prvom dijelu je analiziran akademski uspjeh kandidata koji su položili kvalifikacioni ispit na SP Građevinarstvo u prvom upisnom roku tokom 2012, 2013. i 2014. godine, zaključno sa 2020. godinom. U ovom dijelu dajemo odgovore na sljedeća istraživačka pitanja:

1. Da li postoji statistički značajna razlika u broju upisanih (neupisanih) kandidata prema polu?

2. Da li postoji statistički značajna razlika u broju diplomiranih studenata prema polu?
3. Da li postoji statistički značajna razlika diplomiranih studenata u trajanju studija i u odnosu na završenu srednju školu?
4. Da li postoji statistički značajna razlika diplomiranih studenata u prosječnoj ocjeni u odnosu na završenu srednju školu?

U drugom dijelu rada, na osnovu rezultata prvog dijela, dati su, kao primjeri, stabla odlučivanja i pravila koji pomažu pri predviđanju uspješnosti kandidata pri polaganju kvalifikacionog ispita (u odnosu na varijablu-uspjeh u srednjoj školi) i pri završetku studija (u odnosu na varijablu – broj osvojenih bodova tokom kvalifikacionog ispita). Na kraju rada prikazana su i stabla odlučivanja koja prikazuju značaj uspjeha u srednjoj školi, ostvarenih bodova na kvalifikacionom ispitu i polaganja matematičkih predmeta.

2. METODE I ORGANIZACIJA ISTRAŽIVANJA

Uzorak našeg istraživanja čini 175 kandidata (60 ženskog i 115 muškog pola) koji su polagali kvalifikacioni ispit na studijskom programu Građevinarstvo tokom prvog upisnog roka 2012, 2013. i 2014. Kvalifikacioni ispit je položilo 114 kandidata (48 ženskog pola, 66 muškog pola). Upisano je 105 kandidata (43 ženskog i 62 muškog pola). Kvalifikacioni ispit se vrednuje sa ukupno 50 bodova, a za upis na fakultet je potrebno ostvariti minimalno 15 bodova. Uspjeh iz srednje škole se takođe vrednuje sa maksimalnih 50 bodova.
Tokom studiranja 32 studenta su promijenila status u "bez statusa" ili su se ispisali. Do kraja 2020. godine ukupno je diplomiralo 45 studenata.
Pri analizi i grafičkom predstavljenju podataka, primjeni adekvatnih statističkih testova i stabala klasifikacije korišćen je analitičko-statistički alat IBM SPSS Statistics, verzija 24.
U tabeli 1 prikazani su rezultati kvalifikacionog ispita, upisa i diplomiranja kandidati za studij na SP Građevinarstvo.

Tabela 1: Rezultati kvalifikacionog ispita, upisa i diplomiranja kandidati za studij na SP Građevinarstvo

Rod kandidata	Položen kvalifikacioni ispit			Upisan-a			Diplomirao_la		
	Da	Ne	Ukupno	Da	Ne	Ukupno	Da	Ne	Ukupno
ženski	48	12	60	43	17	60	20	10	30
muški	66	49	115	62	53	115	25	18	43

Korištena je data mining metoda. Data mining je metoda pretraživanja velikih količina sirovih podataka i njihovo pretvaranje u informacije i znanje. Generisanje postojećeg skrivenog znanja ostvaruje se eksploracijskim metodama ili tehnikama generisanja pravila iz postojećih podataka (data mining). Stabla klasifikacije predstavljaju najčešće korišćene statističke tehnike u oblasti generisanja pravila iz podataka [7].

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Kandidati su grupisani u četiri kategorije, prema završenoj srednjoj školi i to: Gimnazija, Građevinska škola, Ostale tehničke škole (Mašinska, Saobraćajna, …) i Ostale škole (Ekonomska, Medicinska,Tehnološka, Poljoprivredna). Primjenom χ^2 testa, uz korekciju prema Yates-u, u odnosu na pol kandidata, dobijeni su sljedeći rezultati:

- dobijena je visoko statistički značajna razlika ($\chi^2 = 7.908$, $p = 0.005$) u polaganju kvalifikacionog ispita.
- dobijena je statistički značajna razlika ($\chi^2 = 4.465$, $p = 0.035$) u broju (ne)upisanih studenata.
- nije dobijena statistički značajna razlika ($\chi^2 = .243$, $p = 0.622$) u broju diplomiranih studenata.

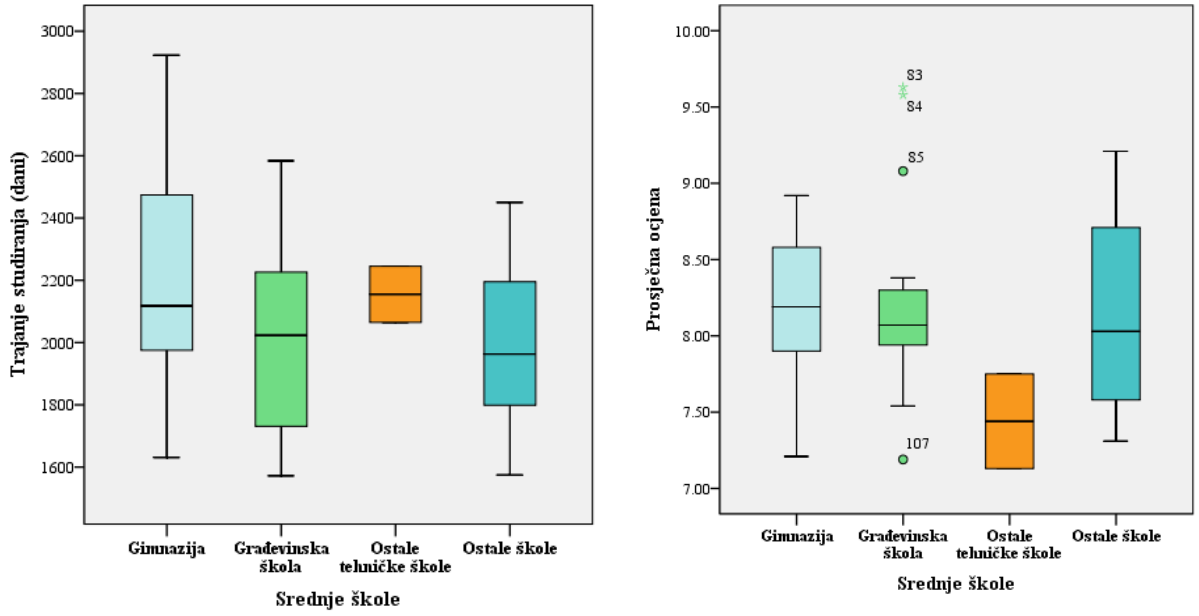
Svaki drugi upisani student koji je završio gimnaziju (13 od 26) ili ostale tehničke škole (dva od četiri) je diplomirao, dok je 20 od 52 studenta sa završenom srednjom građevinskom školom i 10 od 23 sa završenom "ostalom" školom diplomiralo. Prosječna ocjena svih diplomiranih studenata je 8.162, a prosječno najvišu ocjenu (8.213) su ostvarili studenti koji su završili srednju Građevinsku školu. Prosječno trajanje studiranja

diplomiranih studenata je 2067.11 dana (5godina i 8 mjeseci), a prosječno najkraće (1980 dana ili 5,42 godine) su studirali student koji su završili ostale škole (tabela 2).

Tabela 2: Trajanje (dani) i prosječna ocjena tokom studiranja u odnosu na završenu srednju školu

Srednje škole		N	Min.	Max.	Median	Mean	Std. Dev.
Gimnazija	Trajanje studiranja (dani)	13	1631	2923	2118.00	2193.31	402.261
	Prosječna ocjena	13	7.21	8.92	8.1900	8.1808	.52017
Građevinska škola	Trajanje studiranja (dani)	20	1572	2584	2023.50	2019.85	295.741
	Prosječna ocjena	20	7.19	9.63	8.0700	8.2125	.60207
Ostale tehničke škole	Trajanje studiranja (dani)	2	2065	2245	2155.00	2155.00	127.279
	Prosječna ocjena	2	7.13	7.75	7.4400	7.4400	.43841
Ostale škole	Trajanje studiranja (dani)	10	1575	2450	1963.00	1980.00	270.969
	Prosječna ocjena	10	7.31	9.21	8.0300	8.1790	.69991
Ukupno	Trajanje studiranja (dani)	45	1572	2923	2055.00	2067.11	324.164
	Prosječna ocjena	45	7.13	9.63	8.0600	8.1616	.59993

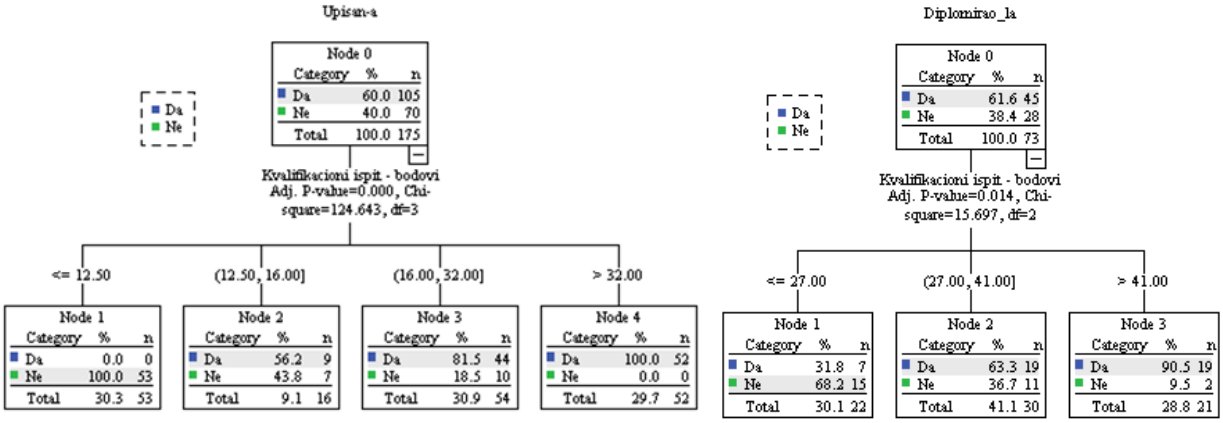
Primjenom Kruskal Wallis-ovog testa nije dobijena statistički značajna razlika ni u trajanju studiranja (dani) (χ^2 = 2.605, p = 0.457) ni u prosječnoj ocjeni (χ^2 = 3.592, p = 0.309) diplomiranih studenata u odnosu na završenu srednju školu.
Na slici 1. prikazano je trajanje studiranja (lijevo) i prosječna ocjena (desno) diplomiranih studenata u odnosu na završenu srednju školu.



Slika 1: Trajanje studiranja (lijevo) i prosječna ocjena diplomiranih studenata u odnosu na završenu srednju školu

Trajanje studiranja (dani) diplomiranih studenata visoko je statistički značajno povezano (uz negativni predznak) sa prosječnom ocjenom (r = -.476, p = .001), a statistički značajno povezano (takođe, uz negativni predznak) sa uspjehom u srednjoj školi (r = -.341, p = .022). Prosječna ocjena diplomiranih studenata je statistički značajno povezana i sa uspjehom u srednjoj školi (r = .336, p = .024) i sa osvojenim bodovima na kvalifikacionom ispitu (r = 0.300, p = 0.046).

Ako nas interesuje „razgranavanje“ stabla po nekoj od varijabli onda se željena varijabla „forsira“. Forsiranjem varijable “Kvalifikacioni ispit – bodovi” generisano je stablo za studente koji su upisali studij na SP Građevinarstvo (slika 2 - lijevo) i koji su diplomirali (slika 2 - desno).



Slika 2: Generisano stablo uz forsiranje varijable "Kvalifikacioni ispit – bodovi" za upisane studente

Generisana pravila za upisane kandidate jesu:

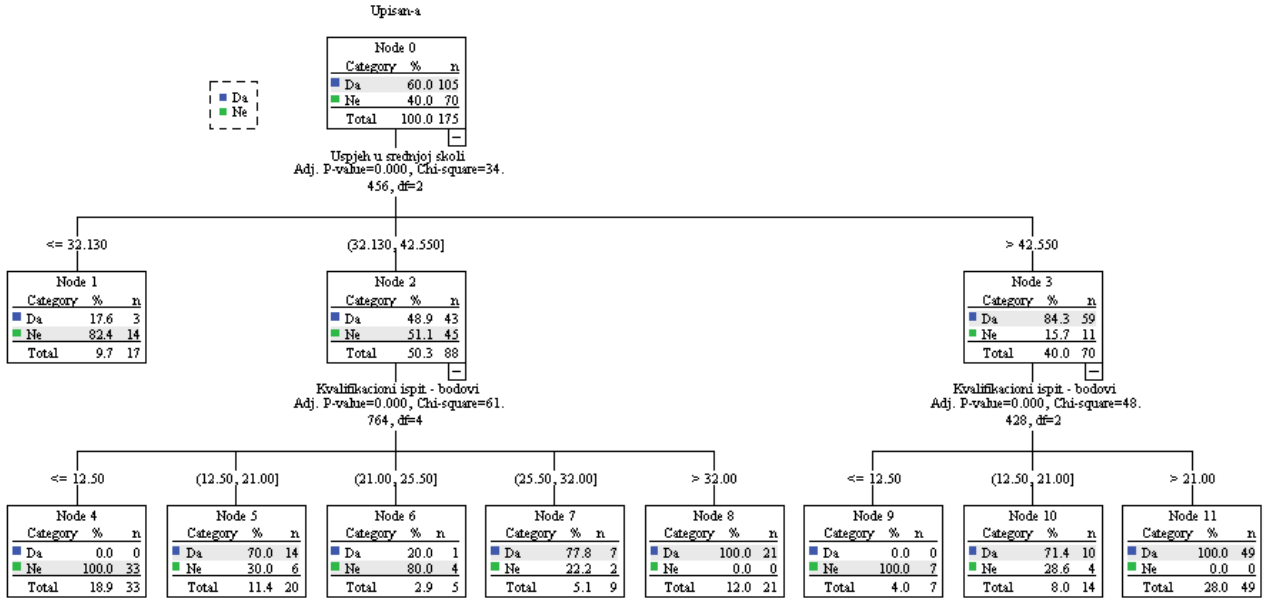
/* Node 1 */.
IF (Kvalifikacioni ispit - bodovi NOT MISSING AND (Kvalifikacioni ispit - bodovi <= 12.5))
THEN
Node = 1
Prediction = 2
Probability = 1.000000

/* Node 2 */.
IF (Kvalifikacioni ispit - bodovi NOT MISSING AND (Kvalifikacioni ispit - bodovi > 12.5 AND Kvalifikacioni ispit - bodovi <= 16))
THEN
Node = 2
Prediction = 1
Probability = 0.562500

/* Node 3 */.
IF (Kvalifikacioni ispit - bodovi IS MISSING OR (Kvalifikacioni ispit - bodovi > 16 AND Kvalifikacioni ispit - bodovi <= 32))
THEN
Node = 3
Prediction = 1
Probability = 0.814815

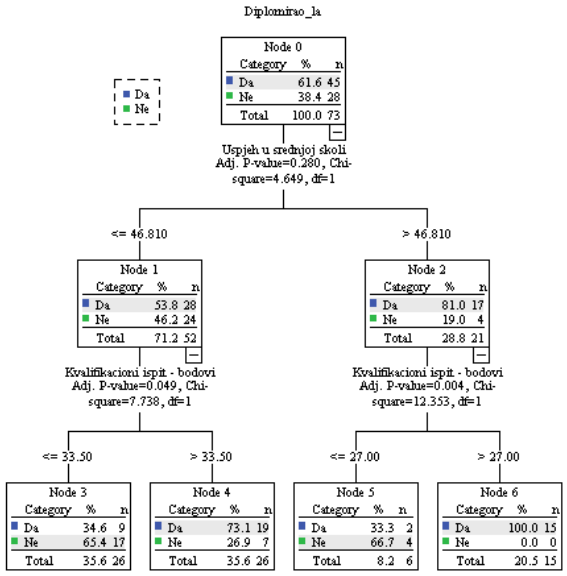
/* Node 4 */.
IF (Kvalifikacioni ispit - bodovi NOT MISSING AND (Kvalifikacioni ispit - bodovi > 32))
THEN
Node = 4
Prediction = 1
Probability = 1.000000

"Praćenjem" uspjeha u srednjoj školi i ostvarenih bodova tokom kvalifikacionog ispita za upisane studente generisano je stablo prikazano na slici 3.

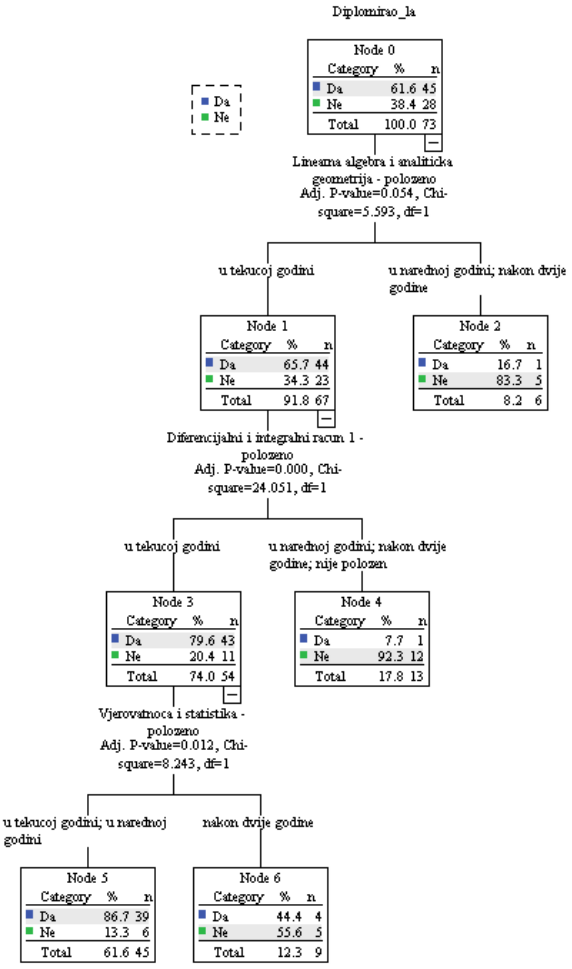


Slika 3: Generisano stablo za upisane studente uz "praćenje" varijabli: uspjeh u srednjoj školi i kvalifikacioni ispit – bodovi

"Praćenjem" uspjeha u srednjoj školi i ostvarenih bodova tokom kvalifikacionog ispita za diplomirane studente generisano je stablo prikazano na slici 4, a na slici 5. prikazano je generisano stablo za diplomirane studente uz "praćenje" polaganja matematičkih predmeta.



Slika 4: Generisano stablo za diplomirane studente uz "praćenje" varijabli: uspjeh u srednjoj školi i kvalifikacioni ispit – bodovi



Slika 5: Generisano stablo za diplomirane studente uz "praćenje" polaganja matematičkih predmeta

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata zaključujemo da postoji visoko statistički značajna razlika u polaganju kvalifikacionog ispita, kao i statistički značajna razlika u broju upisanih studenata u odnosu na pol. Nije dobijena statistički značajna razlika prema broju diplomiranih studenata u odnosu na pol. U odnosu na završenu srednju školu nije dobijena statistički značajna razlika ni u trajanju studiranja (dani) ni u prosječnoj ocjeni diplomiranih studenata.

Prikazana su stabla odlučivanja koja pomažu pri predviđanju uspješnosti kandidata pri polaganju kvalifikacionog ispita i pri završetku studija (praćene su dvije varijable: uspjeh u srednjoj školi i broj osvojenih bodova tokom kvalifikacionog ispita). Sa slike 4 se vidi da je od 45 diplomiranih studenata njih 17 imalo prosječnu ocjenu veću od 4.68 (46.8 bodova) u srednjoj školi, a od tih 17 čak 15 su ostvarili više od 27 bodova na kvalifikacionom ispitu. Od 28 studenata koji su imali manju prosječnu ocjenu u srednjoj školi, 19 je ostvarilo preko 33 boda na kvalifikacionom ispitu. χ^2 test nije pokazao statistički značajnu razliku između studenata koji su diplomirali do 2020. i onih koji još nisu prema uspjehu u srednjoj školi, ali jeste prema broju osvojenih bodova na kvalifikacionom ispitu. Studenti koji su diplomirali su imali i statistički značajno veći broj bodova na kvalifikacionom ispitu.

Pored toga, jedno od prikazanih stabala odlučivanja pokazuje značaj polaganja matematičkih predmeta. Sa slike 5 se uočava da je većina studenata koji su diplomirali položilo matematike u tekućoj godini, u kojoj su i slušali predmet (nisu prenosili u narednu školsku godinu).

Možemo zaključiti da su rezultati na kvalifikacionom ispitu, kao i uspjeh u polaganju matematičkih predmeta značajni prediktori akademskog uspjeha studenata građevinarstva.

Generisana stabla i pravila mogu poslužiti kao osnova za stvaranje šire baze koja bi pomogla pouzdanom predviđanju uspješnosti studenata tokom upisa, studiranja i završetka studija

LITERATURA

[1] Alyahyan, E., & Düştegör, D. (2020). Predicting academic success in higher education: literature review and best practices. *Int J Educ Technol High Educ* 17, 3. https://doi.org/10.1186/s41239-020-0177-7

[2] Hoffman, J.L., & Lowitzki, K.E. (2005). Predicting College Success with High School Grades and Test Scores: Limitations for Minority Students. *The Review of Higher Education 28*(4), 455-474. doi:10.1353/rhe.2005.0042.

[3] King, R. (2010). Gender Differences in Experience of Higher Education: quantitative and qualitatuve Approaches, Educational Psychology: An International Journal of Experimental Educational Psychology, Taylor & Francis Online, vol.11, Issue 3-4, pp. 363-382. doi: 10.1080/0144341910110311

[4] Kosić-Jeremić, S., & Preradović, LJ. (2014). Achievement in university entrance examination relative to attendance in preparation classes and type of secundary school completed: a case study of geodesy undergraduate candidates, International Journal of Education and Research, Vol. 2, No. 9, pp. 59-70.

[5] Preradović, LJ., Antunović, B., Dodig, M., Kosić-Jeremić, S., & Borojević, D. (2015). Projekat: Komparativna analiza postignutih rezultata tokom kvalifikacionih ispita na AGGF-u u periodu 2012 - 2014. godine

[6] Preradović Lj., & Đajić V. (2011). Analitičko-statističke tehnike u savremenim istraživanjima, Banja Luka, Arhitektonsko-građevinski fakultet

[7] Preradović Lj., Đajić V., Račić D., Tadić D., Popović Lj., Rabi Žikić T., Vujinić M. & Žikić M. (2009). Primjena savremenih informacionih tehnologija za analizu podataka i predviđanje u medicini. Aktuelnosti iz neurologije, psihijatrije i graničnih područja, vol. XVII, br. 1-2, str. 13-18.

[8] Preradović Lj, & Kosić-Jeremić S. (2015). Efekti pripremne nastave i analiza uspjeha studenata u polaganju kvalifikacijskog ispita – prikaz slučaja studenata građevinarstva. Tehnički vjesnik 22(3):785-791. https://doi.org/10.17559/TV-20140513114019

[9] Preradović, LJ., & Kosić-Jeremić, S. (2019). Povezanost uspjeha studenata geodezije tokom studija sa kvalifikacionim ispitom i završenom srednjom školom, XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima, Zbornik radova, Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, pp. 586-591.

[10] Preradović, Lj., Stojisavljević, Đ., & Gaćina A. (2018). Primjena informacionih tehnologija u analizi i predviđanju uspjeha studenata, AGG+ časopis za arhitekturu, građevinarstvo, geodeziju i srodne naučne oblasti, br.6, pp. 28-38. doi: 10.7251/AGGPLUS1806028V

[11] Simeunović, V.& Preradović, LJ. (2014). Using Data Mining to Predic Success in Studying, Croatian Journal of Education, Vol. 16, No. 2, pp. 481-523.

[12] Starovoytova Madara, D., & Sitati Namango, S. (2016). Longitudinal Comparative Study: Females' vs. Males' Graduation Outcomes in Undergraduate Engineering, Journal of Education and Practise, Vol.7, No. 30.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

APPLICATION OF ROBOTICS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE IMPLEMENTATION OF CONSTRUCTION PROJECTS

DRAGANA VESELINOVIĆ[1], IGOR PEŠKO[2,3], VLADIMIR MUČENSKI[2]

[1] Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, draganaveselinovic7@gmail.com
[2] Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, igorbp@uns.ac.rs, mucenskiv@uns.ac.rs
[3] Institute of Architecture and Construction, South Ural State University

Abstract: *Technological and digital advances in the construction industry are very slowgoing. All industries have embraced and gladly implemented modern technologies in their work process and are already enjoying the positive outcomes of its implementation. In most cases, all parties involved in a construction project have the same goals, which is to reduce time spent, budget, risk, and construction waste, as well as increase productivity, quality, and safety at work. That further implies finding a solution in which the construction industry can be improved. The focus of this research is the analysis of the application of robotics and automation in construction projects with the help of the use of artificial intelligence and Building Information Modeling technology (BIM). The aim of the paper is to present to the public the general benefits of this implementation and encourage construction companies to gladly adopt these systems and principles in order to achieve more successful projects.*

Keywords: *Robotics, Automation, BIM technology, AI, Construction Projects, Project Management.*

1. INTRODUCTION

The world is shifting towards a new industry known as industry 4.0, some might argue that we are already there, but the truth is that we are partially there and becoming integrated into this paradigm shift step by step (Lee, 2018). The construction industry is one of the most important economic sectors across the world (Hampson, 2014). The spending in construction represents between the 9%–15% of GDP in most countries and up to half of nation's investment can be allocated to the built environment (Oesterreich, 2016).
Construction is an extraordinarily complex industry, which due to its complexity often encounters risks and shortcomings. One of the approaches that could be used to reduce all these shortcomings is robotics. Robotics is an interdisciplinary field that integrates computer science and engineering. Robotics involves the design, construction, operation and use of robots, while it aims to design intelligent machines that can help people in everyday life with a certain degree of physical security. It relies on the achievements of information engineering, electronic and computer engineering, mechanical engineering, and others. At present, they are largely developing machines that can replace human strength and human resources and replace identically human activities. Robots can be used in many situations and for many purposes, but today many are used in hazardous environments (including radioactive material inspection, bomb detection and deactivation), manufacturing processes, or where humans cannot survive (e.g., in space, under water, in high heat and cleaning and retaining hazardous materials and radiation).

With the extensive adoption of artificial intelligence (AI), construction engineering and management (CEM) and architecture, engineering & construction (AEC) and is experiencing a rapid digital transformation. Since AI-based solution in CEM and AEC with Building Information Modelling (BIM) has become the current research focus, it needs to be comprehensively understood. Using the logistic information from BIM, such as unloading and loading point, we can add a pathfinding solution for multi machines to improve the whole construction fleet's productivity. On this way robotics, artificial intelligence (AI) and Building Information Modelling (BIM) can be connected.

The construction industry is one of the least digitized and automated industries in the world. Many construction projects could be completed more efficiently with the use of all the benefits of robotics because it is an industry whose projects follow many tasks and repetitive or similar activities. From this distrust in digitalization and automation arises a desire to research in that direction. The aim of the research is to show all the advantages and possibilities that robotics and automation offer in construction projects in the process of project realization, as well as to investigate all the disadvantages and advantages of their application. Currently, artificial intelligence (machine learning, neural network, deep learning, robotic), information

security, big data, cloud computing, internet, and forensic science are all hotspots and exciting topics of information and communication technology (ICT) (Oludare, 2018).

The application of robots can increase the efficiency and speed of some activities on construction projects. The topic of this research is the application of robotics in construction and how we can increase its efficiency and advantages. The reason that motivated the research is the increasingly frequent diverging and understanding in practice between contractors and designers, inadequate performed works, inadequate workforce, inappropriate weather condition. But, among other things, the appearance of more and more frequent external factors that limit work, pandemics, epidemics, which limit or completely prohibit human work. That is why we come up with the idea of how this can be solved in an efficient way, but that quality and design do not suffer from the limitations that are ubiquitous in such circumstances. For that reason, the use of robots in such situations is very welcome. The industry will not stop, will not suffer from external influences, but will continue to meet the set goals with the help of robots.

2. ADVANTAGES OF ROBOTICS

The spread of innovations in robotics has important positive consequences for the future of work. Robots offer the ability to maintain a high level of production in countries with high labour costs. It enables the production of activities and activities that cannot be performed by humans, such as analysing, auditing, editing mass data or working in conditions and environments that are dangerous to the human workforce. Revising and editing mass data or working in environments that are too difficult or too dangerous. If we look at robotics from the perspective of safety and health at work, the expansion and development of robotics represents opportunities, but also challenges. Robots and intelligent machines enhance productivity, precision, and safety at the construction site. Remote-control systems and 3-D-model guidance enable advanced levels of automation (comparable to computerized numerical control in manufacturing)—for excavators, mobile cranes, and dump trucks, for instance (Gerbert, 2016).

The biggest benefits of safety and health at work that result from the wider use of robotics should be the replacement of people working in unhealthy or dangerous environments. In the space, defence, or nuclear industries, but also in logistics, maintenance and surveillance, autonomous robots are particularly useful for replacing human workers performing dirty, physically difficult, or unsafe tasks, thus avoiding exposure to hazardous means and conditions and thus reducing physical, ergonomic and psychosocial risks. For example, robots are already accustomed to performing repetitive and monotonous tasks, handling radioactive material, or working in an explosive environment. In the future, robots will perform many other repetitive, risky, or unpleasant tasks in various sectors such as agriculture, construction, healthcare, fire protection and the like. The cooperation between humans and robots will change over time and increase their autonomy by taking on a whole new form. Current approaches and technical standards designed to protect employees from occupational risks in combination with robots will need to be amended to prepare for such developments. There are other occupational safety and health challenges related to the future emergence of autonomous robots and service robotics that will need to be explored and discussed over time. Inexperience and little knowledge and experience about the application of robots can significantly affect the quality of their application. This can be changed by increasing the interaction between robots and humans. This influence of communication between humans and robots is not well known, but it could become extremely important for the further development of robotics.

Robots, drones, autonomous vehicles, 3-D printing, exoskeletons are some of the ways to improve the performance of a process or activity. Economic growth directly depends on the progress of automation, so it can be said that it is one of the key factors for the progress and development of the economy. Construction robots can be involved to perform certain tasks, such as masonry, painting, loading, transport, and bulldozers or excavators. The use of these robots contributes to the protection of workers from hazardous work environments, as well as a solution to shortages of skilled labour. However, many companies have prejudices to start using robotic equipment, and these prejudices are accompanied by great fear and mistrust due to the necessary huge investment and the possibility of failure and lost money and time. They are not willing to take risks, but only because they do not have adequate knowledge about these technologies and all the advantages, they bring with them. Figures 1 and 2 show some of the possibilities provided by robotics and automation together.



Figure 1: Blue Ocean Robotics, service robot

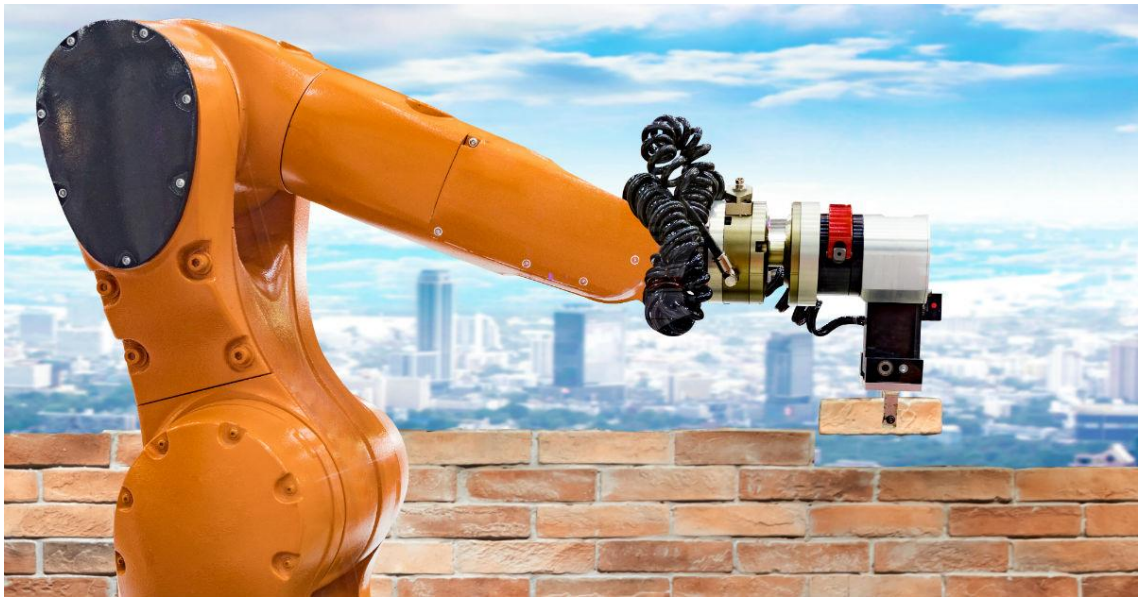


Figure 2: Construction robot

Despite its huge economic importance, the construction industry is beset with inefficiencies. Productivity in many sectors has been increasing steadily in the last five decades; however, productivity in the construction industry has barely increased, and it may have even decreased (JFCC, 2012).

Robotics and automated systems have the potential to revolutionize and provide many advantages to the construction industry and to the Architecture, Engineering and Construction (AEC) area. Construction is a labour-intensive sector. Robotic systems and automation have proved to be highly effective in other sectors for reducing labour costs while improving productivity and quality (Delgado, 2019). Moreover, robotic systems can reduce injuries and free workers from conducting dangerous tasks (Castro-Lacouture, 2009). BIM technology and AI have enabled robotics to thrive in the construction industry. By joint application, all the benefits of these technologies are reached, but also the maximum use of the advantages of the application of advanced technologies.

3. DISADVANTAGES OF ROBOTICS APPLICATION

For robots to be used on a construction site, the construction site, work environment, and types of work to be performed must first be characterized. It must be considered that construction sites have a large geographical distribution, the final products are not considered repetitive, because each project is unique, many different activities are performed on construction sites, construction sites are relatively dynamic places, with

systematic changes of jobs and environment. by being full of obstacles, uneven surfaces, ladders, spans across empty spaces, etc.

There are several shortcomings that occur in the application of robotics and robots in various industries. Different consequences can come from these failures. The most common consequence is a delay in delivery of products which is reported by half of the enterprises. Other less impactful consequences are decrease in products production (28%), quality degradation 17%), and finally maintenance costs (5%). Although there are different consequences that cause productivity loss, it is reported by 60% of the enterprises that the productivity loss does not exceed 5% of their normal production rate, productivity loss can reach a maximum of 20%, but this is only reported by 7% of enterprises. 75% of the industry does reactive/corrective maintenance, and only 25 % follow up with preventive maintenance (Shin, 2018). There are several alternatives for robot programming, different to the box diagram or decision tree programming that is provided with the robot, which has rather limited functionality (Torresa, 2020).

The construction sites are unstructured to the extent that they do not have appropriate conditions for the movement of robots, which requires prior preparation and adjustment of the construction site before the start of the project. The tasks involved in the processes are complex in a cognitive sense, requiring knowledge from experience and the use of certain sensory capacities. Even tasks with repetitive operations would require the robot to systematically change position, usually by shifting orientation so that it could begin a new cycle. All this implies that the use of robots in practice in real workplaces would depend on their portability, ability to move, feelings of the environment, processing of the obtained data and based on all available information, to perform the task. In fact, construction sites pose a significant challenge to mobility and recognition of robot environments. To the use of robots on real construction sites to be effective, robots would have to be able to move with a certain degree of "intelligence", which means providing them with the means to climb and master various levels on the ground. It is therefore necessary to manage these Big Data, correctly, to be able to derive rigorous and reliable interpretations; especially since there are advanced techniques and technologies that can be adopted to deal with Big Data problems (Philip Chen, 2014). Among the different approaches that exist is the Artificial Neural Network (ANN) method, which has been successfully applied to various disciplines including computer science, science, engineering, medicine, environment, agriculture, mining, technology, climate, business, arts, and nanotechnology, as shown in a recent study on the state of the art in ANN applications, evaluating its performance in the different fields studied (Oludare, 2018).

Construction waste can be a danger or an obstacle to the smooth movement and operation of robots, robots in these cases should be "smart" enough to recognize and avoid obstacles. Either it would be necessary to provide the means to guide or organize pre-defined routes or a structured environment with references recognized by robots. Robots need to be ready to work outdoors, move around in difficult conditions, unprotected and subject to unexpected situations, such as falling from a height, falling material, impact, atmospheric agents, as well as performing tasks that involve carrying heavy loads such as beams or mounting plates and large elements. The robot can become a symbol and a basic tool for deep reformation of the discipline. But if we talk about the development and application of robotics in construction, cheap labour is a big obstacle. Many construction companies do not want to invest and implement robotics in their projects. The main reason is the price and too high investments. Guaranteed high quality and shorter realization time and enormous increase in safety at work from injuries and accidents do not seem to be enough reasons for companies to consider changes from traditional realization systems to a new modern way, which 100% uses the capacities offered by robotics and automation.

Obstacles for the application of robots on the construction site are various, but the following are the most common:

- Construction site complexity,
- Costs,
- Technology needs to be improved,
- Legal/health and safety issues,
- Insufficient knowledge of technology.

Robots have been successfully applied in manufacturing, where they have their place and from where they perform the same tasks repeatedly. However, the situation at the construction site is a bit specific, due to the complexity of the terrain itself, unpredictable weather conditions make the work of the robot difficult. The complexity and conditions on the construction site make them particularly challenging places for robots. Investing in robotics involves large initial costs, including research and development. Many construction companies evaluate the application of robotics and robots as too high an investment. According to their understandings, it is cheaper to hire and train people than to invest in robots and technologies. There are a lot

of promising innovations around robots in construction. However, none of the existing robots are still in widespread use and there are few companies that actively use robots on site as part of their regular activities. Technology must advance significantly before it can expect widespread application.

Construction sites can be dangerous places, so in many countries health and safety laws are a serious obstacle to the use of robotics in construction. Fear and distrust in unmanned, autonomous robots that move freely on the construction site are completely justified.

5. CONCLUSION

Robotic machines have been used for decades in factory production lines, which has motivated the greatest demand in the market for prefabricated houses, which are built with the help of this technology. One of the factory constructions companies that uses robotics in its factory lines is the California company Katerra. Construction robots are diverse and provide a great opportunity in development as far as the design itself is concerned, but most of them have found the main idea in man himself and in living beings. By imitating human body parts or the whole person, the robot is enabled to fulfil the set expectations and activities for which it is intended. Fears that the robot will absolutely replace man have been dismissed and the main purpose of the robot is to simplify people's lives and raise standards to a higher level. The slow introduction of robots into the industry can be seen in two ways. On the one hand, robots are emerging as a necessary component of new production lines that are designed to be highly automated and often with flexibility features. In this case, it is exceedingly difficult to observe and notice the progress of the robot outside the whole. While the other way is that robots are often included in existing production plants. Then, "old" and worn-out machines become more economical, which reduces or delays the need for new, larger investments. Of course, the purchase of robots is also an investment, but it turned out that the purchase of robots is much more economical than the purchase of new machines.

After the research, there are unavoidable obstacles for the application of robotics, but if we consider the advantages of its application, it is worth paying attention to this innovation and investing in its development. Some of the advantages that justify the use of robotics are the following less waste, 3D printers and construction robots contribute to using only a certain amount of material needed for the project - which reduces waste, saves money, and has a positive impact on the environment. The shortage of skilled workers is greater than ever, robots are proving to be an appropriate answer to this problem. Minimize injuries at work, because construction sites can be dangerous places, so tools such as exoskeletons or robots for autonomous inspection could reduce the risk of human injuries at work in various ways. One of the great advantages of automation with robots is the possibility of saving costs and time they introduce, and all this results in faster work and lower costs. Robots can work 24/7 without fatigue - which means that certain phases of the project could be completed much faster at a much lower cost than usual.

New technologies provide not only advantages and new opportunities, but also new costs and threats. Robotics is evolving every day, it contributes to improving health, living comfort, productivity, safety and a lot of useful data, information and knowledge for people and organizations. So why not invest in it and maximize its application in construction, and it is generally known that it is in this industry that injuries are most common at work, and that the exposure to human hazards in this area is remarkably high.

Primarily for the protection of people, and then the quality that enables the application of robotics justifies the idea that robotics is implemented in all processes of a construction project. Because certainly the most important thing in a project is time, quality, costs, but also the safety of employees at work. But whether the development of robotics will accelerate depends directly on cheap imported labour, because companies will certainly turn to a cheaper variant instead of investing large amounts of money in the development of this insufficiently researched technology. In the construction process, we face risks that include risks in terms of quality and safety. The use of robots and robotics in general brings numerous possibilities that are almost endless, which greatly increases the success of the project. The most significant factors identified are the high cost of implementation and the fragmented nature of the construction industry. The least significant ones were unavailable technology and not accepted by the worker's unions (Delgado, 2019).

ACKNOWLEDGMENT

The paper presents the part of research realized within the project “Multidisciplinary theoretical and experimental research in education and science in the fields of civil engineering, risk management and fire safety and geodesy” conducted by the Department of Civil Engineering and Geodesy, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad.

LITERATURE

[1] Braun, V. C. (2008). Using thematic analysis in psychology.

[2] Castro-Lacouture, D. (2009). Construction automation, Springer Handbook of Automation,.

[3] Delgado, J. M. (2019). Robotics and automated systems in construction: Understanding industry specific specific challenges for adoption. *Journal of Building Engineering*.

[4] Gerbert, P. C. (2016). Digital in Engineering and Construction.

[5] Hampson, K. D. (2014). The global construction industry and R&D, R&D Investment in the Global Construction Industry. *Journal of Building Engineering*.

[6] JFCC. (2012). *Construction Industry Handbook.* Tokyo.

[7] Lee, G.-Y. e. (2018). Machine health management in smart factory: A review. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 987-1009.

[8] Oesterreich, T. D. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: a triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry.

[9] Oludare, I. A. (2018). State of the Art in Artificial Neutral Applications: A Survey. *Heliyon.*

[10] Philip Chen, C. L.-Y. (2014). Data Intesive Applications, Challenges, Techniques and Technologies: A survey data. *Information Sciences*.

[11] Shin, I. e. (2018). A framework for prognostics and health management applications toward smart manufacturing systems. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 535-554.

[12] Torresa, V. J. (2020). Construction of a robotic arm to improve the communication of people with auditive or non-verbal disabilities. *Procedia Computer Science*.

Figure 1. https://www.electronic-supply.dk/article/view/243996/droner_og_robotter_i_byggebranchen

Figure 2. http://thepropertytimes.in/robotics-in-architecture-a-thoughtful-solution-to-the-present-need/

Primene OI u odbrani

OR Applications in Military Defence

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

PROCENA RIZIKA RADNIH MESTA TOKOM PROCESA DELABORACIJE UBOJNIH SREDSTAVA

RISK ASSESSMENT OF WORKPLACES DURING THE AMMUNITION DISASSEMBLY PROCESS

ZORAN BAJIĆ[1], DUŠAN JEVREMOVIĆ[2], JOVICA BOGDANOV[1], ZLATE VELIČKOVIĆ[1]

[1] Univerzitet odbrane, Vojna akademija, Beograd, dekan@va.mod.gov.rs
[2] Tehnički remontni zavod, Kragujevac, trzk@trzk.co.rs

Rezime: *Pokazalo se da je proces delaboracije ubojnih sredstava mnogo opasniji od bilo kog drugog procesa tokom proizvodnje, skladištenja, manipulacije ili uništavanja. Rizici na radnim mestima prilikom procesa delaboracije ubojnih sredstava nikada nisu dovoljno opisani i procenjeni. Stoga je cilj ovog rada da na primeru postupka delaboracije rakete RBR 64 mm „Zolja“ izvrši identifikacija i analiza hazarda i procena rizika svih radnih mesta tokom izvršenja svih operacija i podoperacija.*

Ključne reči: *Identifikacija hazarda, Procena rizika, Delaboracija, Ubojna sredstva.*

Abstract: *The ammunition disassembly process has been proven to be much more hazardous than any other process during its manufacture, storage, handling or destruction. Risks at the workplaces during the ammunition disassembly process are never sufficiently described and assessed. Hence, the main goal of this paper is to identify and analyse hazards and to assess risk associated with every workplace during the execution of all operations and sub-operations on a rocket 64 mm for a hand-held rocket launcher "Zolja" disassembly process.*

Keywords: *Hazard identification, Risk assessment, Disassembly, Ammunition.*

1. UVOD

Održavanje ubojnih sredstava (UbS) u savremenim uslovima podrazumeva čitav niz aktivnosti pri kojima se vrši manipulacija i delaboracija ubojnih sredstava, ispitivanje ili zamena elemenata, te vrše i aktiviranja i opaljenja tih sredstava. Obzirom na prirodu i karakter ubojnih sredstava, odnosno činjenicu da su ista laborisana eksplozivnim materijama i opremljena različitim mehanizmima za aktiviranje, ljudstvo koje radi na održavanju UbS izloženo je stalnom riziku.

Da bi rizik kontrolisali neophodno je u svakoj organizaciji koji se bavi delaboracijom kao segmentom održavanja ubojnih sredstava izgraditi i održavati integrisani sistem menadžmenta u okviru kojeg će se razvijati i sistem upravljanja rizikom. Procena rizika za radnika i njegova bezbednost jedan je od ključnih faktora uspešnosti kada je u pitanju delaboracija ubojnih sredstava, gde radnik ima kontinualne kontakte sa ubojnim sredstvima i eksplozivnim materijama koje su laborisane u njemu. Imajući u vidu moguće posledice prilikom incidenta/akcidenta, sigurnost i bezbednost radnog mesta jedan je od ključnih faktora pri delaboraciji UbS [1, 3, 4, 5, 7].

2. POSTUPAK DELABORACIJE RAKETE ZA RBR 64 MM M80

Delaboracija UbS predstavlja skup organizacionih i tehničkih radnji rasklapanje UbS na podsklopove i osnovne elemente. Ona predstavlja najrizičniju aktivnost u procesu održavanja UbS [7].

Kumulativna raketa 64 mm M80 (slika 1) namenjena je za izvršenje vatrenog dejstva iz RBR 64 mm M80 „Zolja“. Raketa se sastoji od dva sklopa: kumulativne bojne glave i raketnog motora. Pošto je tokom proizvodnje raketa učvršćena u unutrašnjoj cevi oruđa, kompletan RBR 64 mm M80 smatra se ubojnim sredstvom. Ručni bacači raketa 64 mm M80 pakuju se pojedinačno u hermetizovane folije od plastične mase, nakon čega je 4 RBR spakovano u drvene sanduke, ukupne mase 25 kg [2].

Osnovne taktičko-tehničke osobine su:

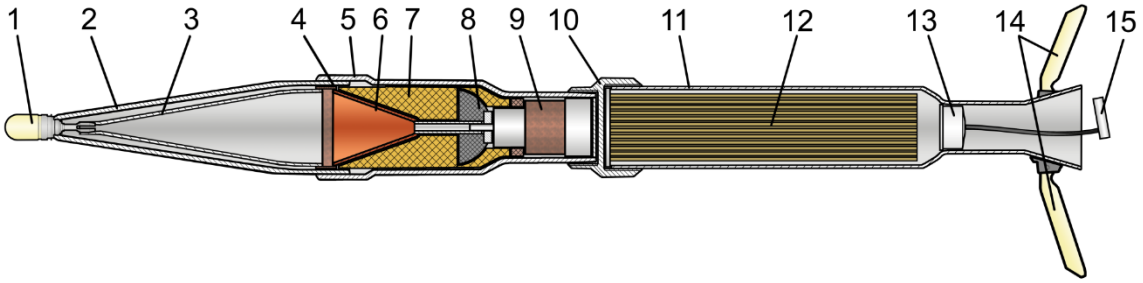
− ukupna masa RBR 64 mm M80: ..... 3182 g,
− masa kumulativne rakete 64 mm M80: .....1570 g,

− masa raketnog goriva (NGR-124): ..... 128 g,
− maksimalni domet: ..... 1280 m,
− masa EP (flegmatizovani oktogen, FO3): ..... 310 g,
− probojnost (HČP pod uglom 90°): ..... 350 mm,
− upaljač: ..... UT-PE M80 SP,
− vreme samolikvidacije: ..... 4-6 s.



Slika 1: Izgled rakete za RBR 64 mm M80

Osnovni sklopovi i podsklopovi rakete za RBR 64 mm su dati na slici 2.



Slika 2: Osnovni elementi rakete za RBR 64 mm M80:
1 – piezogenerator; 2 – balistička kapa; 3 – kontaktna kapa; 4 – izolacioni prsten, 5 – košuljica; 6 – kumulativni levak; 7 – eksplozivno punjenje; 8 – devijator; 9 – upaljač UT-PE M80 SP; 10 – spojnica; 11 – komora raketnog motora; 12 – pogonsko punjenje (raketno gorivo sa nosačem); 13 – pripala raketnog motora; 14 – krilca; 15 – piropatrona sa cevčicom.

Delaboracija RBR 64 mm se odvija kroz operacije koje su date u tabeli 1.

Tabela 1: Spisak operacija na delaboraciji RBR 64 mm M80

R. br.	Naziv operacije
1	Uvoženje paleta sa raketama
2	Vađenje RBR 64 mm M80 iz sanduka i stavljanje na transportna kolica
3	Presecanje cevčice sklopa pripale sa piropatrona i vađenje rakete iz lansera
4	Vađenje piropatrona iz lansera
5	Pakovanje piropatrona u sanduk
6	Odvijanje sklopa motora od bojeve glave i odvijanje komore sa stabilizatorom od spojnice
7	Međuoperacijski transport
8	Odvajanje pogonskog punjenja od spojnice
9	Vađenje pogonskog punjenja iz rešetke
10	Izbijanje pripale iz komore sa stabilizatorom i delaboracija pripale
11	Upravljanje radovima

3. PROCENA RIZIKA RADNIH MESTA PRI DELABORACIJI RAKETE ZA RBR 64 MM M80

Pod pojmom rizika podrazumeva se verovatnoća da će se neki neželjeni događaj desiti kao posledica nekog drugog događaja. Rizik se može definisati i kao verovatnoća gubitka, štete ili povrede, usled nekog neželjenog događaja. Dakle, može se govoriti o nizu uslovnih verovatnoća:
– verovatnoća nastanka početnog događaja koji uzrokuje štetu,
– verovatnoća nastanka neželjenog događaja,
– verovatnoća da opasnost traje dovoljno dugo da dođe do znatne štete,
– verovatnoća da se u okolini akcidenta nađu ljudi u trenutku havarije itd.

Kada su u pitanju tehnički sistemi, u principu je moguće govoriti o matematičkoj verovatnoći (matematičko očekivanje), jer se može doći do podataka koji se odnose na parametre sigurnosti funkcionisanja. Upravljanje rizikom može se definisati kao delatnost čiji je cilj identifikacija i analiza različitih scenarija nastanka štete od rizika kojim je izložena proizvodnja NVO (u užem i širem smislu) i utvrđivanje najboljeg načina za otklanjanje posledica u slučaju štete.

Rizici se nikada ne mogu u potpunosti eliminisati ali se mogu svesti na prihvatljiv nivo. Ključ uspešnog upravljanja rizikom je jasno definisanje oblasti procene rizika, uočavanje i evidentiranje potencijalnih opasnosti koje mogu izazvati događaje sa negativnim posledicama i temeljno razumevanje svih aspekata tih posledica. Koncept rizika obuhvata tri osnovna elementa:
– neželjeni događaj,
– verovatnoća koja se odnosi na mogućnost da se taj događaj desi,
– obim posledica koje mogu nastati kao posledica neželjenog događaja.

U procesu upravljanja rizicima postoje sledeće faze:
– identifikacija rizika
– analiza rizika
– procena rizika
– postupci u rizičnim situacijama
– kontrola predviđenih mera.

Na osnovu izvršenog opisa tehnološkog i radnog procesa rada, opisa sredstava za rad i njihovog grupisanja i opisa sredstava i opreme za ličnu zaštitu, snimanja organizacije rada, uslova rada, izvršenih merenja fizičko-hemijskih štetnosti i mikroklime, pregleda i ispitivanja mašina i uređaja radnih pogona, evidencija o vanrednim događajima, neposrednim uvidom i iz razgovora sa neposrednim izvršiocima vrši se evidentiranje svih opasnosti i štetnosti (realnih i potencijalnih) [7].

Procena, vrednovanje ili određivanje nivoa rizika vrši se za svaku prepoznatu opasnost ili štetnost korišćenjem matrice 3x3 sa 5 nivoa rizika, prema tabeli 2, iz koje se može zaključiti da rizik predstavlja kombinaciju verovatnoće nastanka opasnog događaja i težine mogućih posledica.

Tabela 2: Matrica nivoa rizika

Verovatnoća / Težina posledica	Neznatan	Opasan	Izuzetno opasan
Izuzetno redak	neznatan	dopustiv	umeren
Redak događaj	dopustiv	umeren	znatan
Verovatan događaj	umeren	znatan	nedopustiv

Srž metodologije kao i pristup pri proceni rizika se mogu pronaći u [5]. Analiza posledica eksplozije može biti definisana kao proces koji koristi naučne principe za pružanje dokaza o potencijalnim rizicima prema ljudstvu i infrastrukturi od efekata udarnog talasa i fragmentaciji košuljica UbS, odnosno od neželjene eksplozije u širem smislu. Ovaj proces predstavlja suštinu analize procene rizika u toku razvoja tehnološkog procesa rada odnosno kvalitativne i kvantitativne procene rizika radnih mesta.

Prihvatljiv nivo rizika se dobija iterativnim pristupom preko identifikacije, analize i procene rizika nakon čega nastupa njegovo vrednovanje. Sledeći korak predstavlja prihvatanje rizika, odnosno definisanje aktivnosti za njegovo dovođenje na prihvatljiv nivo ako je moguće.

Prema tzv. Kinney metodi, [6], u tabeli 3 su dati parametri za četvorodimenzioni proračun rizika.

Tabela 3: Parametri za proračun rizika

Verovatnoća 'E'		Učestalost 'F'		Stepen povrede 'L'		Broj osoba 'N'	
Nemoguće	0,0	Retko	0,1	Smrtnost	15,0	1 - 2 osobe	1
Skoro nemoguće	0,1	Godišnje	0,2	Trajno teško povređivanje	8,0	3 - 7 osoba	2
		Mesečno	1,0			8 - 15 osoba	4
Vrlo malo verovatno	0,5	Nedeljno	1,5	Privremeno teško povređivanje	4,0	16 - 50 osoba	8
		Dnevno	2,5			> 50 osoba	12
Malo verovatno	1,0	Po času	4,0	Teške telesne povrede	2,0		
Moguće	2,0	Stalno	5,0				
Podjednako	5,0						
Verovatno	8,0			Lakše telesne povrede	1,0		
Vrlo verovatno	10,0						
Sigurno	15,0			Ogrebotine i uganuća	0,5		

Vrednost rizika se tako može izračunati prema izrazu 1.

$$R = E\,F\,L\,N \tag{1}$$

Dobijeni rezultat vrednosti rizika se onda uporede sa vrednostima iz tabele vrednovanja rizika (tabela 4) i nakon toga se preduzimaju mere, postupci i radnje radi smanjivanja nivoa rizika ukoliko je to potrebno.

Tabela 4: Vrednovanje rizika

Vrednost rizika	Nivo rizika	Aktivnost
0 – 0,9	Prihvatljiv	Redovno kontrolisati
1 – 4,9	Vrlo nizak	Definisati dodatne mere i dati rok za sprovođenje
5 – 9,9	Nizak	Definisati dodatne mere i dati rok za sprovođenje
10 – 49,9	Značajan	Definisati dodatne mere i sprovesti ih u kratkom roku
50 – 100	Visok	Sprovesti mere u što kraćem roku
100 – 200	Vrlo visok	Sprovesti mere odmah
200 – 300	Ekstreman	Uzeti u obzir prekid aktivnosti i preduzeti mere odmah
300+	Neprihvatljiv	Prekinuti aktivnost

Nakon izvršene identifikacija opasnosti na radnim mestima prilikom delaboracije rakete RBR 64 mm po operacijama i primenjena je Kinney metodologija za vrednovanje nivoa rizika korišćenjem izraza 1, tabela 5.

Tabela 5: Identifikovane opasnosti za sve operacije i izračunati nivoi rizika

Operacija	Opasnost	Vrednost nivoa rizika
1	Kidanje	20
	Pad predmeta	60
	Podizanje	12,5
	Teški predmeti	25
2	Pad predmeta	20
	Ručna manipulacija	18,75
	Transport EM	12,5
3	Sistem za pritisak	16
	Pad predmeta	10
	Udarni talas	150
	Povratni udar	150
4	Sistem za pritisak	16
	Statički elektricitet	10
	Pad predmeta	4
	Pirotehničke smeše	4
	Statička inicijacija	16
5	Pad predmeta	4

	Ručna manipulacija	18,75
	Transport EM	18,75
	Pirotehničke smeše	4
	Statička inicijacija	16
6	Kidanje	25
	Lom	30
	Sistem za pritisak	20
	Buka	75
	Udarni talas	120
	Fragmenti	120
7	Klizanje	4
	Ručna manipulacija	30
	Transport EM	30
	Baruti	20
8	Sistem za pritisak	20
	Mašinski alati	8
	Paljenje varnicom	120
	Buka	8
	Baruti	4
9	Lom	16
	Statički elektricitet	5
	Baruti	60
10	Lom	8
	Paljenje varnicom	50
	Baruti	37,5
11	Sve navedene opasnosti za prethodne operacije zbog obaveze kontrole rada i primene mera bezbednosti i prisustva radnim mestima.	

4. ANALIZA RIZIKA RADNIH MESTA PRI DELABORACIJI RAKETE ZA RBR 64 MM M80

Nakon identifikacije opasnosti i kvantifikovanja rizika sledi analizu dobijenih vrednosti i donošenje odluke o definisanju novih mera pirotehničke bezbednosti i zaštite na radu i primeni istih. Radi lakšeg sagledavanja novih mera biće prikazane samo one vrednosti rizika čija je vrednost veća od 50 (visok rizik). Odgovarajuće mere, postupci i radnje su dati u tabeli 6.

Tabela 6: Analiza vrednosti rizika i predlog mera, postupaka i radnji

Operacija	Opasnost	Vrednost nivoa rizika	Mere koje treba preduzeti
1	Pad predmeta	60 (visok)	Osigurati sredstva paletizacijom čeličnim trakama.
3	Udarni talas	150 (vrlo visok)	Redovno vršiti ispitivanja uređaja i sredstava za rad, koristiti propisanu zaštitnu opremu i definisane alate koji su od materijala koji ne mogu izazvati varnicu.
	Povratni udar	150 (vrlo visok)	
6	Buka	75 (visok)	Koristiti antifone (opremu za zaštitu sluha).
	Udarni talas	120 (vrlo visok)	Izvršiti prepravku uređaja tako da se ugrade komande za rad koje će biti izmeštene u zaklon kako bi se ublažile posledice neželjene aktivacije UbS.
	Fragmenti	120 (vrlo visok)	
8	Paljenje varnicom	120 (vrlo visok)	Koristiti alate od materijala koji ne varniče, koristiti antistatik zaštitne rukavice i radove izvoditi u prostoriji sa antistatik podom.

9	Baruti	60 (visok)	Koristiti zaštitna opremu za zaštitu ruku i disajnih organa. Operaciju izvoditi u prostoriji gde je vlažnost vazduha na propisanom nivou i sa mogućnošću kontrole vlažnosti vazduha.
10	Paljenje varnicom	50 (visok)	Koristiti alate od materijala koji ne varniče, koristiti antistatik zaštitne rukavice i radove izvoditi u prostoriji sa antistatik podom.

Izradom odnosno prepravkom uređaja za rad na operaciji broj 6 i izmeštanjem komandi u zaklon znatno bi se doprinelo smanjenju nivoa rizika, sa 120 na 16, i tako značajno smanjile posledice koje nastaju usled aktivacije rakete za RBR 64 mm M80 prilikom njene delaboracije.

5. ZAKLJUČAK

Procena rizika je prevashodno empirijski proces donošenja inženjerskih odluka na osnovu znanja i iskustva u cilju povećanja bezbednosti i zdravlja na radu koristeći izabrane i do sada poznate i priznate metode. Nijedna metoda za procenu rizika ne propisuje izbor preventivnih mera za smanjenje, otklanjanje ili sprečavanje rizika. Danas se može doći do nekih rezultata istraživanja koja su sprovodile industrijske razvijene zemlje, posebno pri uvođenju strategija pri upravljanju rizicima. Metode i efekti tih metoda zaslužuju posebnu pažnju, uz napomenu da se bez savremenih informatičkih programa i učešća stručnjaka različitih profila (inženjera, lekara..) ne mogu, osim parcijalno, dobiti optimalni efekti pri upravljanju rizicima.

Pravilni izbor metode za procenu rizika omogućiće adekvatnu primenu mera, kojima bi se ostvarilo bezbednije radno mesto i radna okolina i manja verovatnoća da će doći do profesionalnih oboljenja i povreda zaposlenih. Izborom adekvatno metode smanjiće se mogućnost subjektivnosti prilikom procene rizika i povećati objektivnost prilikom procene rizika naročito kod predviđanja posledica tj. stepena povreda kod ljudi u slučaju neželjenog aktiviranja UbS prilikom delaboracije.

ZAHVALNOST

Izuzetnu zahvalnost autori rada duguju nedavno preminulom kolegi gospodinu mr Drašku Milosavljeviću na nemerljivom doprinosu iz oblasti održavanja UbS.

LITERATURA

[1] Bajić, Z., & Bogdanov, J. (2017). Risk assessment of explosive charge removal from artillery shell during ammunition disposal process, Proc. of 44th Symposium SYMOPIS 2017. Zlatibor, 25-28 September.

[2] Bogdanov, J. (2015). Poznavanje UbS. Beograd: Medija Centar Odbrana.

[3] Đurić, S., & Vukadinović, N. (2015). Procena rizika za radnika pri laboraciji ubojnih sredstava. Zbornik radova sa 6. Konferencije studenata industrijskog inženjerstva i menadžmenta (FQ 2015), Kragujevac, Srbija, 331-336.

[4] Đurić, S., Nedić, B., Bajić, Z., Bogdanov, J., & Živković, B. (2020). Overview, analysis and research of the possibilities of application of new technologies in the process of demilitarization of the explosive ordnance. Scientific Technical Review, 70(1), 7-16.

[5] International Ammunition Technical Guideline, IATG (2021). UN, Geneva, CH.

[6] Kinney, G. F., Wiruth, A. D., *(*1976). Practical risk analysis for safety management, NWC Technical publication 5865, Naval Weapons Center, China Lake, CA.

[7] Milosavljević, D. (2012). Upravljanje rizikom u raspolaganju UbS. Tehnički seminar Bezbednost u radu sa UbS, skladištenje, čuvanje i uništavanje UbS, Kragujevac, Srbija.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

ANALIZA SISTEMA AKTIVNE ZAŠTITE BORBENIH VOZILA

ANALYSIS OF ACTIVE PROTECTION SYSTEMS FOR COMBAT VEHICLES

JOVICA BOGDANOV[1], ANAS CHABANE[1], DRAGAN PAMUČAR[1], ZORAN BAJIĆ[1]

[1] Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija, jovica.bogdanov@va.mod.gov.rs, chabaneanas1@gmail.com, dragan.pamucar@va.mod.gov.rs, zoran.bajic@va.mod.gov.rs

---

Rezime: *Uočava se vrlo intenzivan razvoj različitih sistema aktivne zaštite borbenih vozila, koji vrše protivdejstvo pomoću ubojnih sredstava odgovarajuće konstrukcije. U radu su definisani odgovarajući kriterijumi za ocenu osobina sistema aktivne zaštite, na osnovu kojih je izvršeno rangiranje 13 modela sistema aktivne zaštite za koje postoje podaci u literaturi. Kvalitativnom analizom dobijene su vrednosti kriterijuma vrste i osobina protivdejstva, koje poseduje sistem aktivne zaštite. Težinski koeficijenti za kriterijume određeni su metodom BWM, dok je rangiranje razmatranih sistema aktivne zaštite izvršeno pomoću tri metode: TOPSIS, COPRAS i MABAC. Ukupan rang ima dobro poklapanje sa rangiranjem dobijenim pomoću pojedinačnih metoda.*

Ključne reči: *Ubojna sredstva, Sistemi aktivne zaštite, Zaštita borbenih vozila.*

Abstract: *Very intense research and development of active protection systems for combat vehicles can be noticed. These systems have countermeasures that are based on appropriately designed explosive ordnance. Criteria for evaluation of characteristics of active protection systems have been defined and are presented in this paper. Using these criteria, 13 models of active protection systems were analyzed, for which characteristics are published in the literature. Qualitative analysis was used to define values for tape and characteristics of countermeasures in an active protection system. Weight coefficients for criteria were determined using BWM method. Ranking of considered active protection systems was done using three methods: TOPSIS, COPRAS and MABAC. Total rank has good correlation with ranks using an individual method.*

Keywords: *Explosive ordnance, Active protection systems, Protection of combat vehicles.*

1. UVOD

Zaštita je ključan element preživljavanja borbenog sistema na savremenom bojištu. Tradicionalno se zaštita borbenog sistema zasniva na tehnologijama pasivne zaštite, tzv. „balistička zaštita“ ili jednostavno „oklop“. Pasivna zaštita zasniva se na konstrukcijama i materijalima, koje izdržavaju ili ublažavaju dejstvo protivničkih ubojnih sredstava. Međutim, i u slučaju upotrebe najsavremenijih tehnologija, povećanje stepena pasivne zaštite izaziva povećanje mase borbenog sistema, što neminovno utiče na pokretljivost. Zbog toga se najviši stepeni pasivne zaštite mogu ostvariti samo kod borbenih sistema velikih dimenzija, kao što su borbena plovila, tenkovi i druga teška oklopna vozila. Razvoj novih tehnologija izrade kao i pojava novih materijala za pasivnu zaštitu podstakao je razvoj vrlo efikasnih protivoklopnih ubojnih sredstava. Naročito je izražen problem zaštite borbenih vozila usled razvoja najsavremenijih modela ručnih protivoklopnih sredstava i vođenih raketa. Njihovo dejstvo može značajno da prevazilazi najviše stepene pasivne zaštite (probojnost i više od 1000 mm homogenog pancirnog čelika).

Do sada razvijene tehnologije reaktivne i aktivne zaštite mogu da značajno poboljšaju zaštitu bez narušavanja zahteva ograničenja mase borbenog sistema. Savremena dostignuća u razvoju kopnenih borbenih sistema ukazuju da se najpovoljniji rezultati mogu ostvariti hibridnom zaštitom, gde je izvršena integracija različitih podsistema za pasivnu, reaktivnu i aktivnu zaštitu. Takav pristup se pretežno koristi kod modernizacije borbenih vozila s ciljem povećanja njihove zaštite od dejstva protivničkog oružja. Podsistemi reaktivne zaštite (prvenstveno tzv. eksplozivni reaktivni oklopi) se skoro pola veka vrlo uspešno koriste za zaštitu od protivoklopnih projektila sa kumulativnim dejstvom na cilju. Međutim, zbog zahteva bezbednosti sopstvenih snaga, primena takvih podsistema moguća je samo na sistemima sa vrlo značajnom pasivnom zaštitom [12]. Značajni rezultati su do sada ostvareni i u razvoju sistema aktivne zaštite (SAZ) [1, 2, 3, 5, 6, 8, 10, 12], od kojih se pojedini mogu koristiti i na borbenim sistemima sa niskim stepenom pasivne zaštite

[2, 3, 5, 12]. Zbog složenosti SAZ, gde su integrisani podsistemi različitih principa funkcionisanja. Njihov razvoj zahteva znanja iz različitih naučnih oblasti, prvenstveno tehnološkog i mašinskog inženjerstva, ali i elektrotehnike i računarstva.

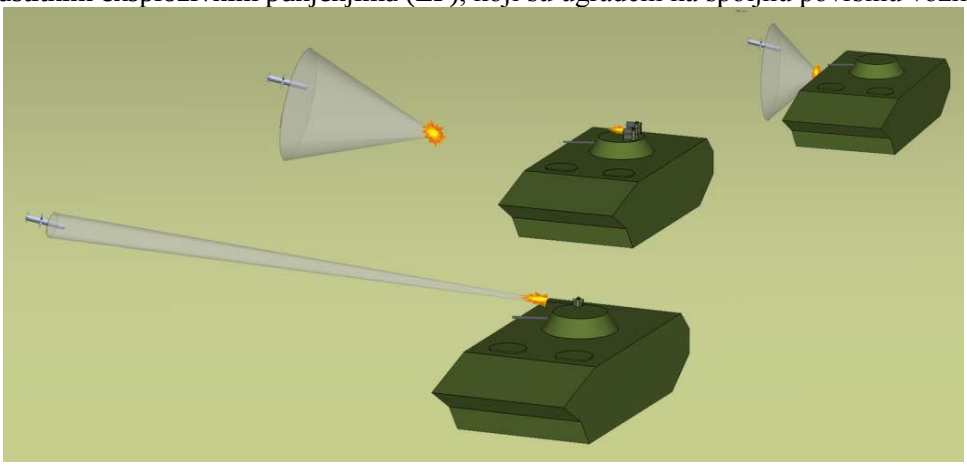
2. VRSTE SISTEMA AKTIVNE ZAŠTITE BORBENIH VOZILA

Razvoj prvih SAZ započet je krajem 50. godina prošlog veka. Tokom naredne tri decenije su u Sovjetskom Savezu razvijeni SAZ „Veer-1“, „Veer-2“, Veer-3“, „AZOT“ i „Dožd“, čija masovna upotreba nije ostvarena [1]. Na osnovu tih rezultata su kasnije u razvijeni SAZ „Zaslon“ (Ukrajina), „Drozd“, „Drozd-2“, „Arena“ i „Afganit“ (Ruska Federacija). Istovremeno su istraživanja i razvoj SAZ realizovani u drugim razvijenim zemljama (Izrael, Sjedinjene Američke Države, Nemačka, Švedska i dr.). Potrebno je naglasiti da se uočava tendencija ubrzanog razvoja i sve masovnije upotrebe SAZ. Pored već razvijenih sistema, opravdano se može očekivati da će se razvoj SAZ realizovati i u drugim zemljama. Jedan od pouzdanih pokazatelja takvim očekivanjima može biti i procena tržišta, gde se do 2028. godine u celom svetu procenjuje stabilan rast godišnjih izdvajanja za SAZ u vrednosti od 1 do 1,5 milijardi američkih dolara [4].

Osnovna podela SAZ je prema vrsti protivmere, kojom se dejstvuje po protivničkom oružnom sistemu. Pojedini imaju jedan ili više podsistema za ometanje u elektromagnetnom spektru, kojima se dejstvuje protiv protivničkih uređaja za osmatranje, praćenje i zahvat ciljeva, prenos podataka između lansera i rakete i sl. Takvi SAZ mogu biti efikasni protiv protivoklopnih vođenih raketa (POVR). Međutim, razvoj novih i modernizacija postojećih modela POVR uključuje i zahteve visoke otpornosti na različite vrste ometanja.

Može se zaključiti da je najbolji način zaštite dejstvo po protivničkom projektilu pre nego što se ostvari njegovo dejstvo. Zbog toga se u većinu savremenih SAZ integrišu i podsistemi, koji mogu efikasno da oštete ili unište protivnički projektil. Dejstvo takvih podsistema po protivničkom projektilu najčešće je zasnovano na dejstvu kinetičke energije parčadi ili udarnog talasa u vazduhu usled eksplozije njihovog punjenja. Na osnovu objavljenih podataka i opisa funkcionisanja [6, 12], SAZ sa eksplozivnim podsistemima mogu se klasifikovati u skladu sa vrstom protivdejstva, prema sledećem (Slika 1.):

1. sa automatizovanom daljinski upravljanom borbenom stanicom (DUBS) sa odgovarajućim sredstvom naoružanja (mitraljez, automatski top, automatski bacač granata i sl.),
2. sa zaštitnim razornim projektilima, koji se lansiraju ka protivničkom projektilu ili
3. sa zaštitnim eksplozivnim punjenjima (EP), koji su ugrađeni na spoljnu površinu vozila.



Slika 1: Prikaz funkcionisanja sistema aktivne zaštite sa različitim vrstama protivdejstva

Svaka od navedenih vrsta protivdejstva direktno utiče na mogućnosti SAZ. Na primer, automatizovane DUBS mogu dejstvovati na daljinama i do 1000 m, ali zahtevaju konstantno i vrlo precizno određivanje položaja protivničkog projektila i usmeravanje oružja. Nasuprot tome, SAZ sa zaštitnim eksplozivnim punjenjima imaju veću brzinu reagovanja i mogu se uspešno koristiti protiv vrlo brzih pretnji, ali se dejstvom njihove eksplozije može narušiti bezbednost sopstvenih snaga. Štićeno vozilo mora posedovati određeni stepen pasivne zaštite, a upotreba SAZ je vrlo ograničena kada se oko vozila nalazi nezaštićeno sopstveno ljudstvo. S ciljem postizanja vrlo visoke efikasnosti i sa minimalnim ograničenjima tokom upotrebe, prisutna je tendencija razvoja SAZ kombinovanog dejstva. Kod takvih sistema je izvršena integracija različitih podsistema za protivdejstvo, koji se koriste u skladu sa trenutnom situacijom na bojištu. Pored toga, naročito je pogodno da SAZ ima modularno integrisane podsisteme, čime se pojednostavljuje ispunjavanje specifičnih zahteva korisnika.

Pregled osnovnih osobina savremenih SAZ borbenih vozila prikazan je u Tabeli 1 [1, 2, 3, 5, 6, 8, 10, 12]. S obzirom da su podaci o SAZ poverljive prirode, objavljene osobine potrebno je razmatrati sa određenim oprezom. Zbog toga su svi podaci iz literature detaljno analizirani i u daljem razmatranju su korišćeni samo realno moguće vrednosti.

Tabela 1: Osnovne osobine savremenih sistema aktivne zaštite borbenih vozila

Naziv SAZ	Država porekla	Sektor zaštite	Vrsta protivmere		
			auto. DUBS	lanser zaštitnih projektila*	zaštitna EP na vozilu*
1030M „Drozd“	Rusija	80°	-	+ (8)	-
„Drozd-2“	Rusija	90-360°	-	+ (1-5)	-
„Arena“	Rusija	360°	-	+ (2-32)	
„Afganit“	Rusija	60-120°	-	+ (1-5)	-
„Zaslon“	Ukrajina	150-180°	-	-	+ (1-2)
„Trophy-H“	Izrael	360°	-	+ (2)	-
„AMAP-ADS“	Nemačka	360°	-	-	+ (3)
„AVePs“	Nemačka, Izrael	240-360°	-	+(4-8)	-
„Iron Fist“	Izrael	360°	-	+ (2-4)	-
„Bright Arrow“	Izrael	360°	+	+ (2)	-
„Quick Kill“	SAD	360°	-	+ (4)	-
„Iron Curtain“	SAD	180°	-	-	+ (3)
„Scudo“	Italija	360°	-	+(6)	+(2-4)

* Broj u zagradi označava količinu protivmera u istom sektoru zaštite.

Na efikasnost SAZ utiče i količina protivmera, koje se mogu upotrebiti u istom sektoru zaštite. Zbog toga se koriste višestruki lanseri projektila, najčešće dvocevni ili četvorocevni. Pored toga, pojedini lanseri se nalaze na rotirajućem postolju i mogu se okretati ka sektoru odakle se očekuje nailazak protivničkih projektila. Takođe, usmeravanjem više lansera ka istom sektoru može se postići vrlo značajno povećanje zaštite borbenog vozila. Takvo tehničko rešenje može biti izuzetno uspešno ukoliko je usklađeno sa taktikom upotrebe vojnih jedinica (borbeni raspored vozila, koordinacija između vozila u jedinici i dr.).

3. KRITERIJUMI I METODE ZA ANALIZU SISTEMA AKTIVNE ZAŠTITE BORBENIH VOZILA

Za analizu SAZ korišćene su metode TOPSIS (engl. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) [7], COPRAS (engl. COmpressed PRoportional ASsessment) [13] i MABAC (engl. Multi-Attributive Border Approximation area Comparison) [9]. U svrhu analize sadržaja izvršen je izbor odgovarajućih osobina SAZ, kojima se jasno i jednoznačno opisuju:

1. Sektor zaštite oko vozila (u horizontalnoj ravni),
2. Daljina protivdejstva od štićenog vozila,
3. Vrsta i osobine protivdejstva,
4. Ukupna masa SAZ i
5. Najveća brzina protivničkog projektila, od kojeg SAZ uspešno štiti.

Vrednosti navedenih kriterijuma prikazani su u Tabeli 2. Dok su ostali kriterijumi precizno određeni tehničkim podacima o SAZ, vrednosti za kriterijum broj 3 (Vrsta i osobine protivdejstva) određene su na osnovu kvalitativnih pokazatelja osobina SAZ (Tabela 1). Viša ocena dodeljena je SAZ u sledećim slučajevima:

- mogućnost korišćenja većeg broja različitih protivmera;
- protivdejstvo pomoću vrlo brzih parčadi ili eksplozijom formiranih projektila;
- niski zahtevi za vrlo preciznim određivanjem položaja i brzine protivničkog projektila;
- slabo dejstvo po štićenom vozilu i sopstvenom ljudstvu u blizini vozila (npr. u slučaju lansiranih zaštitnih projektila ili automatizovanih DUBS).

Vrednosti težinskih koeficijenata W_i (i = 1,…, 13) određeni su metodom BWM (engl. Best-Worst Method). Dobijene vrednosti prikazane su u Tabeli 3. Rezultati dobijeni pomoću TOPSIS metode prikazani su u Tabeli 4, metodom COPRAS u Tabeli 5 i metodom MABAC u Tabeli 6.

Tabela 2: Vrednosti kriterijuma osobina SAZ

Naziv SAZ	Osobine SAZ				
	Sektor zaštite (°)	**Daljina dejstva (m)**	**Vrsta protivdejstva**	**Ukupna masa (kg)**	**Najveća brzina protivničkog projektila (m/s)**
1030M „Drozd“	80	7	2	1000	700
„Drozd-2“	180	7	2,5	850	1200
„Arena“	270	10	3	1100	700
„Afganit“	240	7	3,5	850	1600
„Zaslon“	180	2	3	780	1200
„Trophy-H“	360	20	3	3260	800
„AMAP-ADS“	360	1	3,5	500	2000
„AVePs“	360	25	3,5	800	350
„Iron Fist“	360	25	3	700	350
„Bright Arrow“	360	25	3	270	350
„Quick Kill“	360	3	3,5	140	300
„Iron Curtain“	220	25	3	2600	350
„Scudo“	360	6	3	800	1700

Tabela 3: Vrednosti težinskih koeficijenata za razmatrane kriterijume

Kriterijum	Sektor zaštite	Daljina dejstva	Vrsta protivdejstva	Ukupna masa	Najveća brzina protivničkog projektila
W_{i}	0,118	0,236	0,094	0,079	0,472

Ukupno rangiranje razmatranih SAZ izvršeno je na osnovu vrednosti ranga R_{i}, korišćenjem sledećeg izraza:

$$R_{\mathrm{i}} = \sum_{j=1}^{3} \frac{1}{R_{\mathrm{i,j}}} \tag{1}$$

gde vrednost $R_{\mathrm{i,j}}$ predstavlja *j*-ti rang *i*-tog SAZ.

Pojedinačni i ukupni rang razmatranih SAZ prikazani su u Tabeli 7.

Tabela 4: Rezultati analize osobina SAZ pomoću metode TOPSIS

Naziv SAZ	Q_{i}	Rang
1030M „Drozd“	0,2684	12.
„Drozd-2“	0,4891	4.
„Arena“	0,3010	11.
„Afganit“	0,6482	3.
„Zaslon“	0,4605	5.
„Trophy-H“	0,3999	6.
„AMAP-ADS“	0,6846	1.
„AVePs“	0,3558	9.
„Iron Fist“	0,3562	8.
„Bright Arrow“	0,3619	7.
„Quick Kill“	0,2101	13.
„Iron Curtain“	0,3292	10.
„Scudo“	0,6732	2.

Tabela 5: Rezultati analize osobina SAZ pomoću metode COPRAS

Naziv SAZ	S_i^+	S_i^-	Q_i	P_i	Rang
1030M „Drozd“	0,0459	0,0058	0,0494	51,81%	13.
„Drozd-2“	0,0707	0,0049	0,0747	68,20%	6.
„Arena“	0,0587	0,0064	0,0619	56,47%	11.
„Afganit“	0,0912	0,0049	0,0953	86,99%	3.
„Zaslon“	0,0646	0,0045	0,0690	63,01%	9.
„Trophy-H“	0,0802	0,0189	0,0812	74,14%	5.
„AMAP-ADS“	0,1027	0,0029	0,1095	100,00%	1.
„AVePs“	0,0703	0,0046	0,0746	68,08%	7.
„Iron Fist“	0,0691	0,0041	0,0740	67,55%	8.
„Bright Arrow“	0,0691	0,0016	0,0818	74,68%	4.
„Quick Kill“	0,0364	0,0008	0,0609	55,61%	12.
„Iron Curtain“	0,0646	0,0150	0,0659	60,19%	10.
„Scudo“	0,0965	0,0046	0,1008	92,03%	2.

Tabela 6: Rezultati analize osobina SAZ pomoću metode MABAC

Naziv SAZ	Q_i	Rang
1030M „Drozd“	-0,2186	13.
„Drozd-2“	-0,0025	8.
„Arena“	-0,0489	10.
„Afganit“	0,1965	3.
„Zaslon“	-0,0186	9.
„Trophy-H“	0,0604	5.
„AMAP-ADS“	0,3080	1.
„AVePs“	0,0783	4.
„Iron Fist“	0,0495	7.
„Bright Arrow“	0,0604	6.
„Quick Kill“	-0,1352	12.
„Iron Curtain“	-0,0576	11.
„Scudo“	0,2349	2.

Tabela 7: Rangiranje razmatranih sistema aktivne zaštite borbenih vozila

Ukupan rang	Naziv SAZ	Država porekla	Rangiranje po metodama		
			COPRAS	TOPSIS	MABAC
1.	„AMAP-ADS“	Nemačka	1.	1.	1.
2.	„Scudo“	Italija	2.	2.	2.
3.	„Afganit“	Rusija	3.	3.	3.
4.	„Trophy-H“	Izrael	5.	6.	5.
5.	„Bright Arrow“	Izrael	4.	7.	6.
6.	„Drozd-2“	Rusija	6.	4.	8.
7.	„AVePs“	Nemačka, Izrael	7.	9.	4.
8.	„Zaslon“	Ukrajina	9.	5.	9.
9.	„Iron Fist“	Izrael	8.	8.	7.
10.	„Iron Curtain“	SAD	10.	10.	11.
11.	„Arena“	Rusija	11.	11.	10.
12.	„Quick Kill“	SAD	12.	13.	12.
13.	1030M „Drozd“	Rusija	13.	12.	13.

4. ZAKLJUČAK

Pomoću metoda TOPSIS, COPRAS i MABAC analizirane su osnovne osobine različitih 13 sistema aktivne zaštite borbenih vozila. Definisano je 5 kriterijuma sa odgovarajućim vrednostima parametara za svaki razmatrani SAZ, preuzeti iz literature. Težinski koeficijenti određeni su metodom BWM. Vrednosti kriterijuma „Vrsta i osobine protivdejstva“ određene su kvalitativnim ocenjivanjem protivdejstva, koje određeni SAZ poseduje.

Rezultati rangiranja pokazuju da postoji dobra podudarnost ranga SAZ pomoću sve tri razmatrane metode. SAZ na prva i poslednja tri mesta su skoro identično pojedinačno rangirani. Određena odstupanja uočavaju se između 4. i 10. mesta.

U skladu sa izabranim kriterijumima, najbolje su rangirani SAZ „AMAP-ADS“, „Scudo“, „Afganit“ „AVePS“i „Trophy“. Najslabiji rang zauzeli su noviji modeli slabijih performansi („Iron Curtain“ i „Quick Kill“), čije su osobine do sada već ocenjene kao nezadovoljavajuće na osnovu rezultata opitovanja pre usvajanja u operativnu upotrebu oružanih snaga SAD [11]. Na dnu rang-liste nalaze se i SAZ starije generacije („Drozd“ i „Arena“), koji su do sada zamenjeni novijim modelima poboljšanih osobina. Potrebno je istaći da je SAZ „Scudo“ vrlo povoljno rangiran, što se može pripisati kvalitetno definisanom konceptu sistema, iako se iz literature [12] može zaključiti da su uspeh njegovog razvoja i operativna upotreba vrlo upitni.

LITERATURA

[1] Čistyakov, E. (2015). „Mil’nie puziri“ ukrainskogo kompleksa aktivnoy zashchiti „Zaslon“, Tehnika i vooruženie včera, segodnya, zavtra, 2, 18–21.

[2] Elbit Systems Ltd. (2021). Iron Fist Series of Active Protection System. https://elbitsystems.com.

[3] Elbit Systems Ltd. (2021). Survivability Catalogue. https://elbitsystems.com.

[4] Fortune Business Insights (2021). Active Protection System Market 2021-2028, Report ID: FBI104049. https://www.fortunebusinessinsights.com/active-protection-system-market-104049.

[5] General Dynamics Ordnance and Tactical Systems (2021). Iron Fist Light Decoupled Active Protection System. https://www.gd-ots.com.

[6] Haug, D., & Wagner, H.J. (2009). Active hardkill protection systems – Analysis and evaluation of different system concepts. Strategie & Technik, 52, 42–46.

[7] Hwang, C. L., & Yoon, K. S., (1981). Multiple attribute decision making: Methods and applications. Berlin: Springer Verlag.

[8] KBM J.S.C. (2021). Arena Active Protection System, https://www.kbm.ru/en/production/saz/368.html.

[9] Pamučar, D., & Ćirović, G. (2015). The selection of transport and handling resources in logistics centres using Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC). Expert Systems with Applications, 42, 3016–3028.

[10] Rafael Advanced Defence Systems Ltd. (2021). Trophy Family – Active Protection Suite for Armored Vehicles. https://www.rafael.co.il/.

[11] The Office of the Director, Operational Test and Evaluation (2018). Fiscal Year 2018 Annual Report, 63–65. https://www.dote.osd.mil.

[12] Valpolini, P. (2013). Actively keeping threat at bay. In Compendium Armoured Vehicle Protection (4–11). Bangkok: Armada International.

[13] Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A., Banaitis, A., & Kvederyte, N. (2004). Housing credit access model: the case for Lithuania. European Journal of Operational Research, 155(2), 335–352.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

UNAPREĐENJE BEZBEDNOSTI KOMERCIJALNIH VOZILA U SAOBRAĆAJU

IMPROVING THE SAFETY OF COMMERCIAL VEHICLES IN TRAFFIC

SRĐAN DIMIĆ[1], MILAN KANKARAŠ[1], SRĐAN LJUBOJEVIĆ[2]

[1] Uprava za strategijsko planiranje, Ministarstvo odbrane, Beograd, srdjan.dimic@mod.gov.rs, kankaras.milan@outlook.com
[2] Vojna akademija, Univerzitet odbrane, Beograd, srdjanljubojevic@gmail.com

Rezime: *Bezbednost saobraćaja predstavlja veliki problem u savremenom svetu, jer u saobraćaju svake godine gine i biva povređen veliki broj ljudi i prouzrokuje se velika materijalna šteta. Imajući u vidu da odvijanje saobraćaja sa sobom nosi veliki rizik po sve učesnike, neophodno je konstantno preduzimati preventivne mere i veliku pažnju posvetiti edukaciji svih učesnika u saobraćaju kako bi se taj rizik sveo na prihvatljivu meru. Iz tog razloga upravljanje bezbednošću saobraćaja (rizicima u saobraćaju, saobraćajnim nezgodama) postaje izazov za svaku državu. U radu je prikazan način utvrđivanja uticajnih faktora koji najviše utiču na nastanak saobraćajnih nezgoda komercijalnih vozila (autobusa i teretnih vozila) u Republici Srbiji.*

Ključne reči: *Bezbednost saobraćaja, komercijalna vozila, saobraćajna nezgoda.*

Abstract: *Because of numerous deaths, injuries and costs, a traffic safety is a serious problem in the world. In order to achieve an acceptable level of risk, permanent preventive measures and education of all traffic participants are necessary. This is a reason why traffic safety management (risk management, accidents management, etc.) becomes a challenge for every country. This paper presents the method of determining the factors that most affect traffic accidents of commercial vehicles (buses and trucks) in the case of the Republic of Serbia.*

Keywords: *Traffic safety, commercial vehicles, traffic accident.*

1. UVOD

Saobraćaj je nastao kao potreba čoveka i predstavlja jednu od najvažnijih društvenih delatnosti, kao i jedan od važnih pokazatelja privrednog razvoja države. Značaj saobraćaja je rastao kroz istoriju, ali sa druge strane i negativne pojave u saobraćaju su takođe rasle. Paralelno sa razvojem saobraćaja, u svetu su se razvijali standardi i metode radi smanjenja negativnih posledica saobraćaja, uočavajući značaj bezbednog i efikasnog odvijanja procesa saobraćaja. [3] U skladu sa tim, bezbednost saobraćaja kao nauka poprima nove dimenzije i razvija novu metodologiju istraživanja saobraćajnih nezgoda kroz fenomenologiju (posmatranja saobraćajnih nezgoda kao pojava, odnosno načina na koji je do njih došlo) i etiologiju (posmatranja saobraćajnih nezgoda kroz uzroke, uslove i okolnosti, kao i faktore zbog kojih je do njih došli).

Bezbednost saobraćaja predstavlja veliki problem u savremenom svetu, jer u saobraćaju svake godine gine i biva povređen veliki broj ljudi i prouzrokuje se velika materijalna šteta. Imajući u vidu da odvijanje saobraćaja sa sobom nosi veliki rizik po sve učesnike, neophodno je konstantno preduzimati preventivne mere i veliku pažnju posvetiti edukaciji svih učesnika u saobraćaju kako bi se taj rizik sveo na prihvatljivu meru. Iz tog razloga upravljanje bezbednošću saobraćaja (rizicima u saobraćaju, odnosno saobraćajnim nezgodama) postaje izazov za svaku državu.

Modelovanje saobraćajnih nezgoda predstavlja prioritet mnogih razvijenih zemalja koje sve veću pažnju usmeravaju na bezbednost saobraćaja. Veliki broj postojećih modela bazira se na analizama saobraćajnih nezgoda koje su se dogodile u prošlosti, kao i praćenju efekata pre i posle sprovođenja određenih mera. U skladu sa tim, prognoze saobraćajnih nezgoda su važne radi definisanja strategija, planiranja pojedinih aktivnosti u bezbednosti saobraćaja, vrednovanje procesa rada i sl.

Rad ima za cilj da prepozna faktore koji najviše utiču na nastanak saobraćajnih nezgoda komercijalnih vozila u Republici Srbiji, i da se formulisanjem ciljanih mera utiče na smanjenja ukupnog broja saobraćajnih nezgoda, a samim tim i posledica saobraćajnih nezgoda.

2. UPRAVLJANJE BEZBEDNOŠĆU SAOBRAĆAJA

Savremeni pristup upravljanja bezbednošću saobraćaja podrazumeva aktivnosti usmerene ka praćenju stanja bezbednosti saobraćaja, kao i definisanju i primeni mera usmerenih ka unapređenju nivoa bezbednosti saobraćaja. Praćenje stanja bezbednosti saobraćaja je kontinuiran proces koji podrazumeva praćenje ne samo saobraćajnih nezgoda i posledica, već praćenje svih obeležja bezbednosti saobraćaja, poput obeležja ponašanja (saobraćajni prekršaji), stavova o opasnostima u saobraćaju, praćenje podataka o putevima, saobraćaju, registrovanim vozilima, vozačima, praćenje podataka o rizičnim deonicama i opasnim mestima itd.

Da bi se upravljalo stanjem bezbednosti saobraćaja, neophodno je poznavati postojeće stanje, definisati željeno stanje, odnosno stanje ka kojem se teži i preduzimati mere kako bi se postojeće stanje dovelo na isti nivo sa željenim stanjem. [2] Prilikom definisanja postojećeg stanja, potrebno je uočiti i osnove tendencije u razvoju neke pojave, kako bi se adekvatno sagledali ciljevi i efekti upravljanja. To znači da postojeće stanje podrazumeva i prognozu broja saobraćajnih nezgoda i njihovih posledica. Veoma je važno da se željeno stanje definiše što realnije, tako da se preduzimanjem mera i njegovom realizacijom opravdaju uložena sredstva i stekne podrška svih subjekata bezbednosti saobraćaja, kao i društva u celini.

Značajan problem predstavlja i nepovezanost baza podataka o saobraćajnim nezgodama između institucija (policija, bolnice, sudovi, osiguravajuća društva, itd.). Postojeći način prikupljanja podataka o saobraćajnim nezgodama ne obezbeđuje sagledavanje svih nastalih posledica saobraćajnih nezgoda, već samo onih koje se najčešće evidentiraju u okviru policijskih izveštaja. Pored toga, za analizu saobraćajnih nezgoda neophodno je da protekne duži period kako bi se sakupila dovoljna količina podataka i na taj način izvršila procena bezbednosti saobraćaja.

U skladu sa svim napred navedenim, upravljanje bezbednošću saobraćaja podrazumeva praćenje pojava, utvrđivanje uzroka nastanka saobraćajnih nezgoda, projektovanje mera, realizaciju mera, kao i vrednovanje efekata.

3. ANALIZA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA

Za sprovođenje bilo kog istraživanja u oblasti bezbednosti saobraćaja neophodno je da postoje što precizniji podaci o obeležjima saobraćajnih nezgoda, posledicama i ostalim uticajnim faktorima. Značajan broj radova u literaturi, koji tretira problematiku upravljanja bezbednošću saobraćaja, zasniva se na praćenju određenih indikatora bezbednosti, pri čemu treba imati u vidu da svi indikatori nisu jednako značajni. Značaj indikatora može se oceniti na osnovu jačine veze sa dešavanjem saobraćajne nezgode ili posledice, odnosno da li i u kojoj meri doprinose saobraćajnoj nezgodi i da li se na njih može uticati merama i programima bezbednosti saobraćaja.

Analiza stanja bezbednosti saobraćaja, kao deo procesa praćenja stanja bezbednosti, predstavlja neizostavan deo u sistemu upravljanja bezbednošću saobraćaja. Za sprovođenje analize saobraćajnih nezgoda moguće je koristiti veći broj metoda među kojima se, kao najčešće korišćene, izdvajaju metoda merenja, statistička metoda, metoda ankete, metoda komparacije, Case Study metoda, itd. [4] U konkretnom slučaju, rezultat analize saobraćajnih nezgoda predstavlja pregled učešća komercijalnih vozila u saobraćajnim nezgodama, sa vrstama posledica tih nezgoda.

3.1. Analiza bezbednosti saobraćaja komercijalnih vozila

Evidentiranje uticajnih faktora koji su uticali na nastanak saobraćajnih nezgoda uvedeno je početkom 2016. godine. Naime, prema ovom pristupu za svaku saobraćajnu nezgodu evidentiraju se svi uticajni faktori za koje policijski službenik, koji vrši uviđaj, proceni da su uticali na nastanak konkretne saobraćajne nezgode. Za razliku od prethodnih „uzroka" saobraćajnih nezgoda, gde je najčešće biran jedan uzrok i gde su često mnogi drugi faktori bili zanemareni, prema novom modelu policijski službenik ima više prostora da sagleda celokupnu situaciju, i da navede niz faktora, ukoliko proceni da su na određeni način uticali na nastanak konkretne saobraćajne nezgode. Ukupno su definisana 84 uticajna faktora, grupisanih u devet grupa, tabela 1. [1]

Tabela 1: Grupe uticajnih faktora

Grupa	Grupa uticajnih faktora
I grupa	Uticaj puta i putne okoline
II grupa	Uticaj neispravnosti vozila
III grupa	Preduzimanje nepromišljenih radnji od strane vozača
IV grupa	Pogrešno izvođenje radnji u saobraćaju od strane vozača

Grupa	Grupa uticajnih faktora
V grupa	Propusti vozača zbog lošeg psihofizičkog stanja, nepažnje, rasejanosti
VI grupa	Propusti vozača zbog neiskustva, neprimerenog i nepropisnog ponašanja
VII grupa	Propusti vozača zbog neadekvatne vidljivosti, preglednosti, odnosno kompletnog doživljaja viđenja puta i saobraćaja
VIII grupa	Propusti pešaka
IX grupa	Specijalni slučajevi

Prema podacima Agencije za bezbednost saobraćaja, u periodu od 2016. do 2020. godine, u Republici Srbiji dogodilo se ukupno 174.753 saobraćajnih nezgoda. [5] Prikaz broja saobraćajnih nezgoda dat je u tabeli 2.

Tabela 2: Broj saobraćajnih nezgoda u periodu od 2016. do 2020. godine

Godina	Saobraćajne nezgode			Ukupno
	sa poginulima	sa povređenima	sa materijalnom štetom	
2016.	551	13.864	21.557	35.972
2017.	525	14.286	21.664	36.475
2018.	491	13.744	21.583	35.818
2019.	494	13.735	21.541	35.770
2020.	459	11.849	18.410	30.718
Ukupno	**2.520**	**67.478**	**104.755**	**174.753**

S obzirom da je cilj rada utvrđivanje dominantnih grupa faktora koje najviše utiču na nastanak saobraćajnih nezgoda, u tabeli 3. prikazan je broj faktora koji je uticao na nastanak saobraćajnih nezgoda. Treba imati u vidu da se za jednu saobraćajnu nezgodu evidentira veći broj uticajnih faktora, a može biti evidentirano i više uticajnih faktora iz jedne iste grupe, to je ukupan broj uticajnih faktora (tabela 3) veći nego broj saobraćajnih nezgoda (tabela 2).

Tabela 3. Broj faktora koji je uticao na nastanak saobraćajnih nezgoda

Godina	Saobraćajne nezgode			Ukupno
	sa poginulima	sa povređenima	sa materijalnom štetom	
2016.	1.067	20.832	27.198	49.097
2017.	915	20.242	25.972	47.129
2018.	816	18.991	25.369	45.176
2019.	857	19.641	25.598	46.096
2020.	842	17.912	22.883	41.637
Ukupno	**4.497**	**97.618**	**127.020**	**229.135**

S obzirom na to da je rad usmeren na povećanje bezbednosti učešća komercijalnih vozila, neophodno je bilo izdvojiti podatke koji se odnose na komercijalna vozila. Prikaz broja faktora koji je uticao na nastanak saobraćajnih nezgoda komercijalnih vozila u Republici Srbiji za period od 2016. do 2020. godine, dat je u tabeli 4.

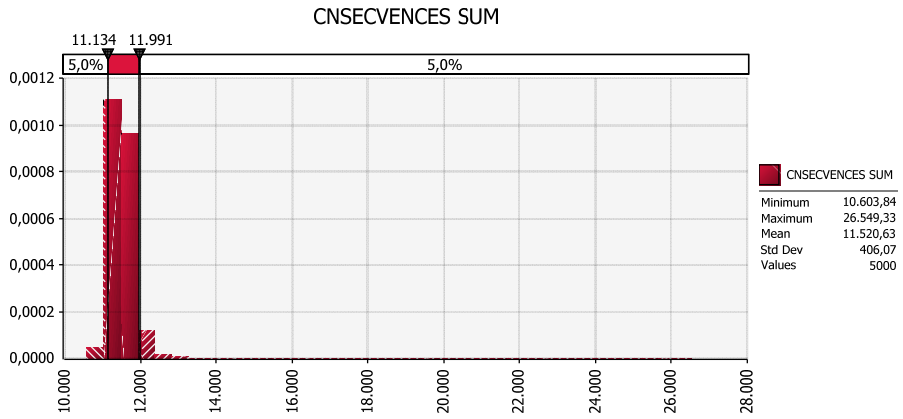
Tabela 4. Broj faktora koji je uticao na nastanak saobraćajnih nezgoda komercijalnih vozila

Godina	Saobraćajne nezgode komercijalnih vozila			Ukupno
	sa poginulima	sa povređenima	sa materijalnom štetom	
2016.	339	4.346	8.183	12.868
2017.	243	4.145	7.750	12.138
2018.	260	4.130	7.717	12.107
2019.	223	4.373	7.351	11.947
2020.	288	3.733	6.316	10.337
Ukupno	**1.353**	**20.727**	**37.317**	**59.397**

Treba imati u vidu da je masa komercijalnih vozila, u većini slučajeva, veća od mase drugog učesnika u sudaru, tako da većina lica koja pogine ili bude povređena u saobraćajnim nezgodama sa komercijalnim vozilima nisu vozači i putnici iz komercijalnih vozila. U sudaru sa teretnim vozilima 85% poginulih lica nije bilo u teretnim vozilima, kao i u sudaru sa autobusima 79% poginulih lica nije se nalazilo u autobusu. U saobraćajnim nezgodama sa komercijalnim vozilima, u kojima je bilo nastradalih lica, drugi učesnik u saobraćajnoj nezgodi najčešće je putnički automobil koji je u saobraćajnim nezgodama sa teretnim vozilima učestvovao u 48% slučajeva, a u nezgodama sa autobusima u 46% slučajeva. [1]

3.2. Utvrđivanje dominantnih grupa faktora

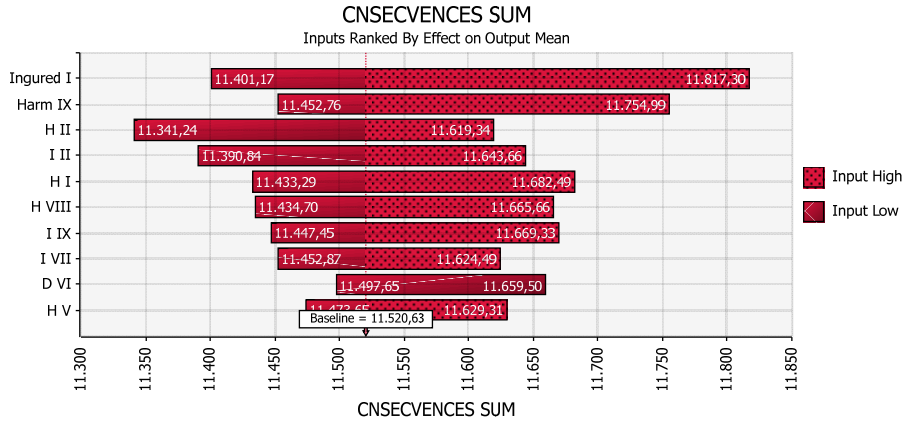
Da bi se formulisale adekvatne preventivne mere, pošlo se od osnovne pretpostavke da će se delovanjem na grupu faktora koja najviše utiče na nastanak saobraćajnih nezgoda, smanjiti posledice tih nezgoda. Utvrđivanje dominantnih faktora, koji najviše utiču na nastanak saobraćajnih nezgoda, izvršeno je primenom softvera @RISK. Ulaz u simulaciju predstavljaju podaci o raspodeli opredeljenih grupa uticajnih faktora za različite vrste saobraćajnih nezgoda (bez obzira na to da li je za konkretnu saobraćajnu nezgodu odabran jedan ili više uticajnih faktora iz određene grupe faktora). Na slici 1. prikazan je izlazni rezultat primene softvera @RISK.



Slika 1: Rezultat simulacije

Analizirajući rezultat simulacije prikazan na slici 1, može se videti da postoji verovatnoća od 90% da će se ukupan broj faktora koji dovode do saobraćajnih nezgoda kretati između 11.134 i 11.991. Naravno da ovaj broj može biti veći, odnosno manji, ali je verovatnoća da se to dogodi 10%.

Nakon izvršene simulacije može se predvideti, sa velikom sigurnošću, broj faktora koji dovode do saobraćajnih nezgoda, ali ta informacija nije dovoljna za efikasno upravljanje bezbednošću saobraćaja. Kao što je već navedeno, potrebno je prepoznati na koje faktore treba prioritetno delovati kako bi se broj saobraćajnih nezgoda smanjio, a samim tim i posledica tih nezgoda. Posebno koristan alat softvera @RISK [6] je „tornado“ dijagram, koji predstavlja svojevrsnu analizu osetljivosti (Slika 2).



Slika 2: Izlazni dijagram „tornado“

Na osnovu podataka prikazanih na slici 2, može se zaključiti da najveći uticaj na promene očekivanog broja saobraćajnih nezgoda ima grupa faktora *Pogrešno izvođenje radnji u saobraćaju od strane vozača* kada su u

pitanju saobraćajne nezgode sa povređenim licima i grupa faktora *Uticaj puta i putne okoline* za saobraćajne nezgode sa materijalnom štetom.

Radi utvrđivanja mogućnosti smanjenja broja saobraćajnih nezgoda, a samim tim i posledica istih, utvrđen je trend faktora *Pogrešno izvođenje radnji u saobraćaju od strane vozača* čije su posledice povređena lica (izraz 1) i faktora *Uticaj puta i putne okoline* čije su posledice materijalna šteta (izraz 2).

$$y = 46{,}5 * x^2 - 212{,}1 * x + 1297 \quad (1)$$

$$y = 34{,}75 * x^2 - 245{,}85 * x + 723{,}25 \quad (2)$$

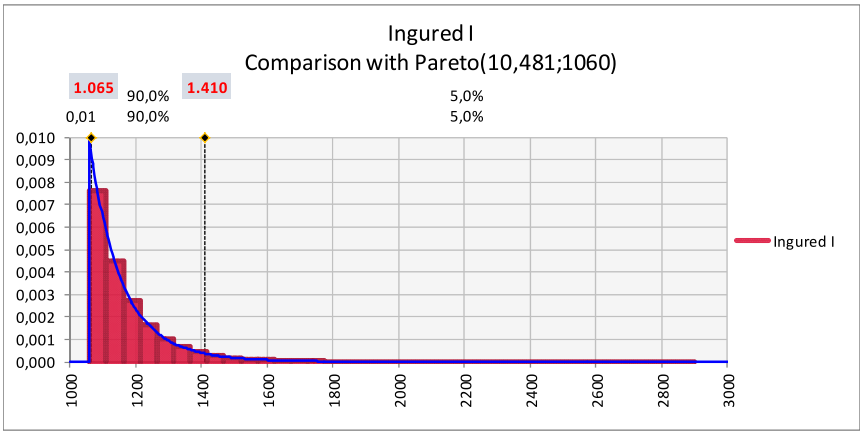
gde je:
y – očekivani broj saobraćajnih nezgoda u x-toj godini;
x – godina (redni broj godine).

Ukoliko se utvrđeni trend nastavi, odnosno ukoliko se ne preduzmu odgovarajuće mere, broj faktora iz navedenih grupa koji će uticati na nastanak saobraćajnih nezgoda imaće znatan trend rasta, u odnosu na 2020. godinu (tabela 5).

Tabela 5: Broj faktora koji će uticati na nastanak saobraćajnih nezgoda u narednom periodu

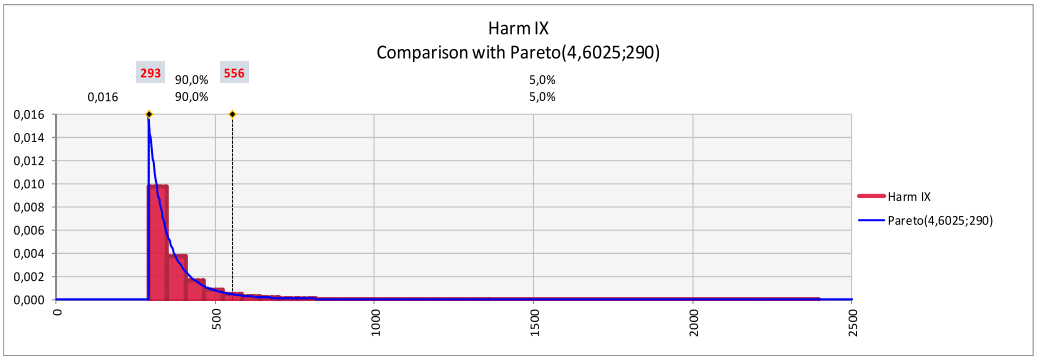
Uticajni faktor	2020	2021	2022	2023
Pogrešno izvođenje radnji u saobraćaju od strane vozača	1036	1.698	2.091	2.576
Uticaj puta i putne okoline	215	499	705	980

Međutim, ukoliko se preduzmu odgovarajuće mere, broj faktora iz grupe *Pogrešno izvođenje radnji u saobraćaju od strane vozača* koji će dovesti do saobraćajnih nezgoda, može se zadržati u rasponu od oko 1.000 do 1.400, odnosno da se smanji za više od 1.300 faktora posmatrajući 2023. godinu (slika 3).



Slika 3: Očekivani broj saobraćajnih nezgoda izazvan pogrešnim izvođenjem radnji u saobraćaju od strane vozača

Takođe, preduzimanjem odgovarajućih mera, može se očekivati i smanjenje broja faktora iz grupe *Uticaj putna i putne okoline* za oko 550 posmatrajući 2023. godinu, ukoliko se broj istih zadrži u očekivanom intervalu od oko 300 do 550 (slika 4).



Slika 4: Očekivani broj saobraćajnih nezgoda izazvan uticajem putna i putne okoline

Na osnovu utvrđenih dominantnih grupa faktora, koje najviše utiču na nastanak saobraćajnih nezgoda komercijalnih vozila u Republici Srbiji, moguće je formulisati preventivne mere koje će biti ciljano usmerene na smanjenje broja saobraćajnih nezgoda, a samim tim i njihovih posledica, bez obzira da li se radi o poginulim licima, povređenim licima ili materijalnoj šteti.

U skladu sa opisanim načinom moguće je i u okviru dominantne grupe faktora sagledati značaj svakog pojedinačnog faktora. Detaljnija analiza faktora u okviru dominantne grupe doprineće još kvalitetnijem formulisanju mera koje će biti usmerene na konkretne uzroke saobraćajnih nezgoda komercijalnih vozila.

5. ZAKLJUČAK

Saobraćaj je prepoznat kao važan činilac strategije održivog razvoja svake zemlje. Pored pozitivnog i značajnog uticaja saobraćaja na društveno-ekonomski razvoj, evidentan je i njegov negativan uticaj na okolinu i stanovništvo. Suština preduzimanja korektivnih mera je u kontrolisanju negativnih efekata/uticaja saobraćaja, koji se uglavnom odnose na saobraćajne nezgode, zagušenja, zagađenja zemljišta, vazduha i vode, buku koju proizvode transportna sredstva i potrošnju energije.

Zahvaljujući neprekidnim i sve obimnijim istraživanjima u oblasti bezbednosti saobraćaja, kao i doslednom sprovođenju strategija bezbednosti saobraćaja, razvijene zemlje su uspele da promene rastući trend u razvoju broja saobraćajnih nezgoda i njihovih posledica.

Na osnovu dobijenih rezultata, primenom softvera @RISK, može se zaključiti da ukoliko se preduzmu mere koje će biti usmerene na dominantne grupe faktora može očekivati smanjenje broja saobraćajnih nezgoda, a samim tim i posledica tih nezgoda. Treba imati u vidu da su napori za upravljanje bezbednošću saobraćajem veliki i da zahtevaju angažovanje brojnih struktura društava, kao i to da se pozitivni efekti utvrđenih mera neće brzo uočiti, već da je potrebno da prođe izvesno vreme.

Pristup opisan u radu omogućava celovito sagledavanje stanja bezbednosti saobraćaja i praćenje učešća komercijalnih vozila u saobraćaju, kao i brzo i jednostavno uočavanje ključnih problema radi preduzimanja odgovarajućih korektivnih mera. Na taj način doprinosi se povećanju bezbednosti odvijanja saobraćaja i smanjenja učešća komercijalnih vozila u saobraćajnim nezgodama. Opisani način utvrđivanja uticajnih faktora moguće je uspešno primeniti i prilikom upravljanja bezbednošću vojnog saobraćaja.

LITERATURA

[1] Agencija za bezbednost saobraćaja (2020). Statistički izveštaj o stanju bezbednosti saobraćaja u Republici Srbiji u 2019. godini, Beograd.

[2] Lipovac, K. (2008). Bezbednost saobraćaja, Službeni list SRJ, Beograd.

[3] Strategija bezbednosti saobraćaja na putevima Republike Srbije za period od 2015. do 2020. godine („Službeni glasnik RS”, broj 64/2015. godine).

[4] Tojagić, M. (2015). Bezbednost drumskog saobraćaja, Evropski univerzitet Brčko.

[5] http://195.222.99.60/ibbsPublic/ (pristupljeno 25.05.2021. godine).

[6] https://www.palisade.com/risk/ (pristupljeno 28.05.2021. godine).

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

KONCEPT PARALAKSE NESAVRŠENOG KOMANDNO-INFORMACIONOG SISTEMA ZA SIMULATORE VOJNIH SISTEMA ROJENJA

IMPERFECT COMMAND INFORMATION SYSTEM PARALLAX CONCEPT FOR MILITARY SWARMING SYSTEMS SIMULATORS

RADOMIR JANKOVIĆ

Računarski fakultet Univerziteta Union, Beograd, rjankovic@raf.rs

Rezime: *U radu su predstavljeni koncepti dvodimenzionalne i trodimenzionalne paralakse nesavršenog komandno-informacionog sistema u okviru simulatora vojnih sistema koji primenjuju ofanzivnu odbrambenu taktiku rojenja, kombinovanu sa sinhronizovanim raketnim udarom. Nesavršenost komandno-informacionog sistema nastaje usled povremenih izostanaka informacije o stvarnom položaju pretnje, što može rezultovati paralaksom sistema i nepravovremenim raketnim udarom, ili čak njegovim izostankom. Uvođenjem treće dimenzije – koordinate visine pretnje, takvi simulatori mogu da se koriste i kada se procenjuju mogućnosti odbrane od naoružane aktivne pretnje koja dolazi iz vazdušnog prostora nad ćelijom teritorije.*

Ključne reči: *simulacija, nesavršeni komandno-informacioni sistem, trodimenzionalna paralaksa, vojni sistemi rojenja.*

Abstract: *The two-dimensional and three-dimensional concepts of an imperfect command information system parallax in simulators of military systems that apply offensive defence swarming tactics combined with synchronized missile attack are presented. The command information system imperfection occurs due to occasional absences of the threat real current position, which can result in system parallax and missile attack in the wrong time, or even its lack. By introducing of the third dimension – a threat height coordinate, such simulators can be used for estimation defence possibility counter an active armed threat, coming from airspace over territory cell.*

Keywords: *simulation, imperfect command-information system, tri-dimensional parallax, military swarming systems.*

1. UVOD

Za vojske neutralnih zemalja, jedna od najboljih investicija mogla bi da bude adaptacija tehnički intenzivnih i skupih delova oružanih snaga, posebno oklopnih i mehanizovanih jedinica (OiMJ) i artiljerijsko-raketnih jedinica (ARJ), radi primene novih taktičkih postupaka koji bi vodili ka njihovom ukupnom boljem učinku u borbenim dejstvima. Jedan od takvih postupaka je rojenje (engl. *swarming*) [1]. Mada se začeci te taktike mogu naći i u prošlosti [2], ona dobija na značaju u današnjem vremenu, zbog naglog razvoja informacionih tehnologija, posebno senzora, računara i komunikacionih sredstava, što omogućava uspešna umrežavanja vojnih sistema koji je koriste.

U toku je istraživanje taktike rojenja, u kome se kao metod koristi simulacija sistema sa diskretnim događajima. Prvi realizovani simulatori [3, 4] odnosili su se na primenu rojenja kao ofanzivne odbrambene taktike OiMJ do nivoa oklopnog bataljona protiv pasivne ili aktivne pretnje.

U [5] u istraživanja su uvedene ARJ – samohodni lanseri raketa koji protiv aktivne pretnje (AP) brane ćeliju teritorije (CT), primenjujući taktiku rojenja kombinovanu sa sinhronizovanim raketnim udarom. U tako realizovanim simulatorima, podrazumevalo se da je komandno-informacioni sistem (KIS) savršen, pa u svakom svom osnovnom intervalu $\triangle t$ obezbeđuje pouzdanu informaciju o položajima svih učesnika u borbenim dejstvima, kako pretnje, tako i branilaca CT. U [6] predstavljen pristup modelovanju nesavršenosti KIS, kada dolazi do povremenih izostanaka informacija o trenutnim položajima pokretnih delova sistema, radi dobijanja na realnosti simulatora i ispitivanja uticaja te pojave na performanse simuliranih vojnih sistema. Uveden je koncept paralakse komandno-informacionog sistema koja se definiše kao razlika između stvarnog trenutnog položaja aktivne pretnje i njenog položaja koji je procenjen na osnovu nepouzdanih informacija nesavršenog KIS.

Svi do sada realizovani simulatori podrazumevali su da se simulirani sistem i svi koncepti u vezi sa njim definišu u dvodimenzionalnom prostoru. Imajući u vidu da postoje samohodni raketni lanseri koji su predviđeni za dejstvo kako po pretnjama koje se kreću po površini kopna ili vode, tako i po pojedinim vrstama pretnji koje dolaze iz vazdušnog prostora nad branjenom ćelijom teritorije, kao što su helikopteri, dronovi ili niskoleteći avioni, u ovom radu se predstavlja pristup uvodjenju treće dimenzije. Redefinisani su svi do sada korišćeni koncepti bitni za realizaciju takvih simulatora, a najvažniji je trodimenzionalna (3-D) paralaksa komando-informacionog sistema.

2. SIMULIRANI SISTEM

Simulirani sistem obuhvata: ćeliju teritorije (CT) koju brane samohodni lanseri raketa (L-*i*), komandno-informacioni sistem (KIS) i aktivnu pretnju (AP).

Ćelija teritorije (CT), na kojoj se odvijaju borbena dejstva predstavlja pravougaoni 3-dimenzionalni prostor (x,y,z), okarakterisan maksimalnim vrednostima pravouglih koordinata (X_m,Y_m,Z_m) i težištem na njenom površinskom sloju ($X_m/2$,$Y_m/2$,0), čije dostizanje predstavlja planirani cilj aktivne pretnje (CILJ).

Samohodni lanseri L-*i* namenjeni su za uništavanje AP koje se kreću na površinskom sloju CT i/ili niskoletećih AP u vazdušnom prostoru nad njom i na početku simulacije L-*i* imaju slučajan raspored. Oni treba da spreče AP da stigne do CILJA, što postižu višestrukim pogađanjem AP raketama koje lansiraju ka AP, prema informacijama o njenom trenutnom položaju koje im dostavlja KIS. Lanseri primenjuju ofanzivnu odbrambenu taktiku u dve faze: rojenje, u kojoj se lanseri usmeravaju ka projekciji trenutnog položaja AP na površinski sloj CT, da bi joj se približili na rastojanje sa koga je moguće lansiranje raketa (ZML), tako da one stignu do AP pre nego što ona stigne do svog CILJA i sinhronizovani raketni udar, gde se rakete, sa svih lansera kojima je to moguće, lansiraju u redosledu tako da u istom trenutku stignu na ivicu njihove zone samonavođenja (ZSN) na AP. Rakete mogu da se lansiraju sa istog lansera u nizu, u razmaku vremena t_{ul}.

Zona mogućeg lansiranja (ZML) definiše se u zavisnosti od trenutnog položaja AP, krajnjeg dometa raketa lansera (R_{lmax}) i maksimalne visine (H_{lmax}) na kojoj te rakete mogu da dejstvuju. Zona mogućeg lansiranja je presek sfere poluprečnika R_{lmax} oko trenutnog položaja AP, ravni koje određuju bočne stranice CT i ravni koja je određena maksimalnom visinom dejstva raketa H_{lmax}.

Zona samonavođenja (ZSN) definiše se u zavisnosti od trenutnog položaja AP, najvećeg rastojanja sa kojega rakete lansera mogu da pređu u režim samonavođenja na AP (R_{sn}) i maksimalne visine (H_{lmax}) na kojoj te rakete mogu da dejstvuju. To je presek sfere poluprečnika R_{sn} oko trenutnog položaja AP, ravni koje određuju bočne stranice CT i ravni koja je određena maksimalnom visinom dejstva raketa H_{lmax}.

Komandno-informacioni sistem (KIS) u svakom svom osnovnom vremenskom intervalu $\triangle t$ izveštava lansere o trenutnom položaju AP. U ovom istraživanju uvodi se nesavršenost KIS, preko verovatnoće izostanka te informacije (p_{fKIS}) u intervalu $\triangle$t.

Aktivna pretnja (AP) na početku simulacije ima slučajni položaj, na bilo kojoj od bočnih stranica CT, a zatim se svojom najvećom brzinom i prema zadatom zakonu kretanja, usmerava ka svom CILJU u CT. AP se brani od samohodnih lansera, tako što pokušava da uništi one lansirane rakete koje se u zoni njihovog samonavođenja (ZSN) nađu u dometu njenih sopstvenih oruđa za protivraketnu odbranu (PRO). Jedno oruđe za PRO može da se bavi sa 1 raketom istovremeno. Imajući u vidu dimenzije ZSN i brzine kretanja raketa u režimu samonavođenja, od presudnog je značaja da raketni udar protiv AP bude sinhronizovan i rakete lansiraju po vremenski usklađenom redosledu, tako da se sve one istovremeno pojave u ZSN. Time se izbegava mogućnost da AP uništava nadolazeće rakete jednu po jednu.

Algoritam simulatora detaljno je opisan je u [5]. U glavnoj petlji programa, za svaki lanser se određuje:

- Da li je moguće lansiranje, tako da raketa stigne do AP pre nego što AP stigne do CILJA;
- Za svaku od takvih raketa brojač mogućih pogodaka (BMP) se povećava za 1.

Ako je trenutni sadržaj BMP veći ili jednak od zadatog kriterijuma BMP_k, pripremaju se svi takvi lanseri i rakete za dejstvo protiv AP. Za svaki lanser (i) i svaku raketu koju može da lansira (j), određuje vreme pristizanja rakete na ivicu ZSN, $T_{pZSN}(i,j)$, kao i vreme pristizanja na ivicu ZSN sledeće rakete u nizu koju može da lansira isti lanser, $T_{pZSN}(i,(j+1))$:

$$T_{pZSN}(i,j) = t + t_{\text{prl}} + \frac{D_{iAP} - R_{sn}}{V_{Mmax}} \tag{1}$$

$$T_{pZSN}(i,(j+1)) = t + t_{\text{prl}} + \frac{D_{iAP} - R_{sn}}{V_{Mmax}} + t_{\text{ul}} \tag{2}$$

gde su: t posmatrani trenutak simuliranog vremena, t_{prl} vreme pripreme za lansiranje, t_{ul} vreme između 2 uzastopna lansiranja sa istog lansera, D_{iAP} rastojanje i-tog lansera od AP, R_{sn} rastojanje od AP kad počinje

samonavođenje i V_{Mmax} maksimalna brzina rakete. Vremena pristizanja raketa na ivicu ZSN sortiraju se po opadajućem redosledu, što daje opadajući niz od:

$$T_{pZSN}(1) \geq T_{pZSN}(2) \geq \cdots \geq T_{pZSN}(\text{BMP}) \tag{3}$$

Za sinhronizovani raketni udar, trenutak lansiranja prve rakete u nizu je $T_l(1) = t$, a za svaku narednu:

$$T_l(k) = t + T_{pZSN}(1) - T_{pZSN}(k) \tag{4}$$

3. PARALAKSA NESAVRŠENOG KOMANDNO-INFORMACIONOG SISTEMA

U radu [6] uveden je pojam nesavršenosti KIS, koja se ispoljava kroz izostanak očekivanih informacija u pojedinim njegovim osnovnim intervalima $\triangle t$. Mera nesavršenosti KIS je verovatnoća izostanka informacija KIS (p_{fKIS}) u posmatranom intervalu $\triangle t$. Verovatnoća p_{fKIS} se u ovakvim simulatorima zadaje kao ulazni parametar koji ima izabranu vrednost u okviru simulacionog eksperimenta. Nesavršenost KIS u simuliranom sistemu ima za posledicu neizvesnost stvarnog položaja aktivne pretnje, što se odražava na aktivnosti samohodnih lansera, koji se usmeravaju ka AP na osnovu nepouzdanih informacija o njenom stvarnom trenutnom položaju. U slučaju izostanka informacija u jednom ili više intervala $\triangle t$, lanseri se usmeravaju ka poslednjem potvrđenom položaju AP, pa se u skladu sa njim ažurira brojač mogućih pogodaka BMP i procenjuje da li su ispunjeni uslovi za lansiranje raketa. Tada se u simulaciji, kao i u realnom sistemu, može pojaviti paralaksa KIS, koja se definiše kao razlika između stvarnog trenutnog položaja AP i njenog položaja koji je procenjen na osnovu nepouzdanih informacija. Mera paralakse KIS je rastojanje d stvarnog i poslednjeg potvrđenog položaja AP, dato izrazom:

$$d = \sqrt{\left(x_{AP} - x_{pAP}\right)^2 + \left(y_{AP} - y_{pAP}\right)^2 + \left(z_{AP} - z_{pAP}\right)^2} \tag{5}$$

gde su (x_{AP},y_{AP},z_{AP}) i (x_{pAP},y_{pAP},z_{pAP}) koordinate stvarnog i poslednjeg potvrđenog položaja AP, respektivno.

Paralaksa nesavršenog KIS može imati dva različita učinka na uspeh sinhronizovanog raketnog udara:

- u okviru posmatranog simulacionog prolaza, može se dogoditi da se, do pristizanja AP do njenog CILJA, usled neizvesnog određivanja položaja AP od strane nesavršenog KIS, ne zadovolji kriterijum brojača mogućih podataka BMP, pa uopšte ne dođe do inače mogućeg lansiranja sinhronizovanog raketnog udara;
- usled paralakse KIS može doći do lažnog zadovoljenja kriterijuma BMP, što rezultuje lansiranjem raketnog udara koji može i da ne uspe.

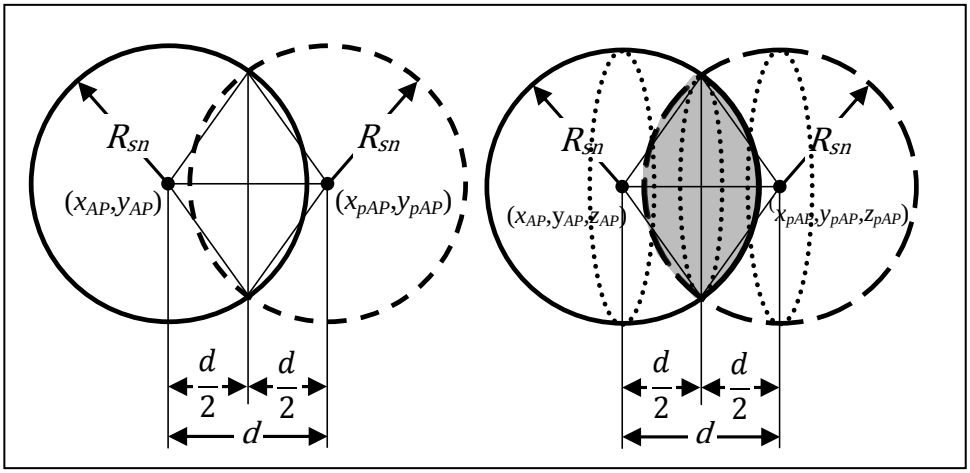
Obe pojave utiču na neuspeh taktike rojenja i sinhronizovanog raketnog udara, što se u simulaciji iskazuje povećanim brojem neuspešnih ishoda. Prva pojava se realizuje tokom cele simulacije: kao i u realnom sistemu, lanseri se usmeravaju ka AP na osnovu informacije o njenom trenutnom položaju (x_{AP}, y_{AP}, z_{AP}), koju u svakom intervalu $\triangle t$ obezbeđuje KIS; ako ova informacija u nekom od tih intervala izostane, tada se lanseri usmeravaju ka poslednjem potvrđenom položaju AP (x_{pAP}, y_{pAP}, z_{pAP}) i nastaviće to da rade sve dok se ne pojavi nova informacija KIS o pravom trenutnom položaju AP.

Sama AP se stalno kreće ka svom CILJU, na osnovu zadatog zakona kretanja i nezavisno od toga šta u međuvremenu rade lanseri.

Posledica je da se u nekim simulacionim prolazima u okviru eksperimenta može dogoditi da se do ispunjenja zadatka AP ne ostvari kriterijum za lansiranje raketa BMP, bez obzira što bi se to desilo da je KIS bio savršen i da je dostavljao informacije o trenutnim položajima AP u svim intervalima $\triangle t$.

Sa druge strane, ako se u trenutku ispunjenja kriterijuma za lansiranje, usled paralakse KIS, takva odluka donose na osnovu neizvesnog položaja AP, može se dogoditi da, bez obzira na prividnu dovoljnu vrednost brojača mogućih podataka BMP, u zoni samonavođenja ZSN ipak ne bude dovoljno lansiranih raketa da bi se uništila AP.

Zavisno od prirode simuliranog sistema, paralaksa KIS (Slika 1) može biti dvodimenzionalna (2-D) ili trodimenzionalna (3-D).



Slika 1: Dvodimenzionalna (2-D) i trodimenzionalna (3-D) paralaksa KIS

Koncept 2-D paralakse KIS može da se koristi u simulatorima klase vojnih sistema u kojima se AP i lanseri kreću u dvodimenzionalnom prostoru, po površini kopna ili vode. Mera 2-D paralakse KIS je rastojanje *d* stvarnog i poslednjeg potvrđenog položaja AP, dato izrazom (5), za slučaj $z_{AP} = 0$ i $z_{pAP} = 0$.

Verovatnoća da je ispravna odluka o dovoljnoj vrednosti BMP da bi se lansirao sinhronizovani raketni udar, p_{SN}, u simulatoru se izračunava na osnovu izraza:

$$p_{SN} = \frac{A_{ZSN}}{R_{sn}^2 \pi} \tag{6}$$

gde su: A_{ZSN} površina preklapanja prave zone samonavođenja i one dobijene na osnovu lažnog položaja AP usled nesavršenosti KIS, a R_{sn} poluprečnik ZSN.

Površina preklapanja A_{ZSN} prave ZSN i one prividne ZSN, posledice 2-D paralakse KIS, predstavlja presek dva kruga poluprečnika R_{sn}, čiji su centri na rastojanju *d*.

U funkciji od *d*, p_{SN} se može odrediti na sledeći način:

- Za $d = 0$, $p_{SN} = 1$
- Za $d \geq 2\ R_{sn}$, $p_{SN} = 0$
- Za $0 < d < 2\ R_{sn}$, p_{SN} se izračunava na osnovu izraza:

$$p_{SN} = \frac{1}{R_{sn}^2 \pi}\left[2R_{sn}^2 arccos\left(\frac{d}{2R_{sn}}\right) - \frac{d}{2}\sqrt{4R_{sn}^2 - d^2}\right] \tag{7}$$

Koncept 3-D paralakse KIS predstavlja prostornu generalizaciju 2-D paralakse KIS, potrebne kada se u u simulatora uvede treća dimenzija (Z koordinata). Verovatnoća da je ispravna odluka o dovoljnoj vrednosti BMP da bi se lansirao sinhronizovani raketni udar, p_{SN}, u simulatoru se izračunava na osnovu izraza:

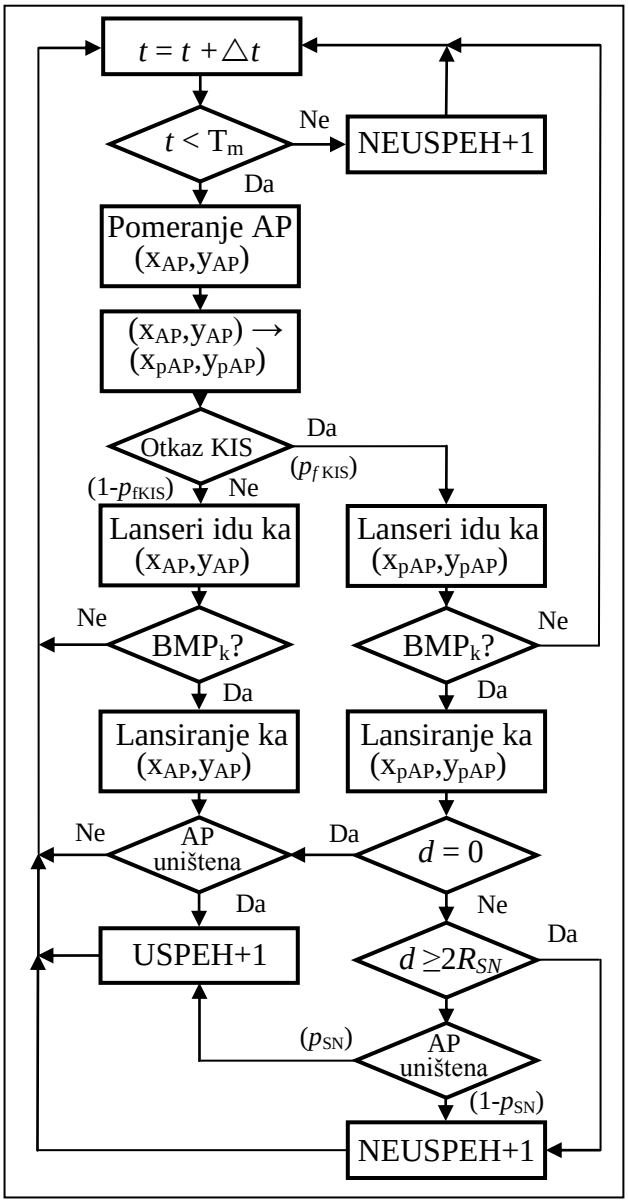
$$p_{SN} = \frac{V_{ZSN}}{\frac{4}{3}R_{sn}^3 \pi} \tag{8}$$

gde su: V_{ZSN} zapremina preklapanja sfere prave zone samonavođenja i one dobijene na osnovu lažnog položaja AP usled nesavršenosti KIS (dve indentične kalote visine $h = R_{SN} - d/2$), a R_{sn} poluprečnik ZSN.

Na Slici 1 prikazan je opšti slučaj 3-D paralakse KIS, kada se i prava ZSN i ona koja je dobijena na osnovu lažnog položaja AP usled nesavršenosti KIS u celosti nalaze u vazdušnom prostoru u okviru CT. U funkciji od *d*, p_{SN} se tada može odrediti na sledeći način:

- Za $d = 0$, $p_{SN} = 1$
- Za $d \geq 2\ R_{sn}$, $p_{SN} = 0$
- Za $0 < d < 2\ R_{sn}$, p_{SN} se izračunava na osnovu izraza:

$$p_{SN} = \frac{\left(R_{SN} - \frac{d}{2}\right)^2\left(2R_{SN} + \frac{d}{2}\right)}{2R_{sn}^3} \tag{9}$$



Slika 2: Proširenje osnovnog algoritma simulatora radi uvođenja nesavršenosti KIS

Osnovni algoritam simulatora rojenja i sinhronizovanog raketnog udara definisan je u radu (Jankovic i Milinovic 2018). Da bi u simulator mogla da se uvede nesavršenost KIS, potrebno je da se osnovni algoritam simulatora proširi (Slika 2). Proširenje počinje od dela osnovnog algoritma u kome se simulirano vreme uvećava za osnovni interval KIS, $\triangle t$ i ispituje da li je dostignuto maksimalno dozvoljeno vreme T_m (vreme ispunjenja misije AP – pristizanje do CILJA u težištu CT).

Ukoliko je nova vrednost simuliranog vremena t veća ili jednaka T_m, posmatrani prolaz se završava neuspehom, a brojač neuspešnih simulacionih prolaza u eksperimentu se povećava za 1 (NEUSPEH+1).

Ako je t manje od T_m, simulacioni prolaz se nastavlja aktiviranjem dela simulatora za novi raspored AP, koja se prema zadatom zakonu kretanja pomera na svoj novi položaj (x_{AP}, y_{AP}, z_{AP}).

U skladu sa zadatom verovatnoćom otkaza KIS, p_{fKIS}, prelazi se na nastavak simulacije u slučajevima kada je nesavršeni KIS ipak dostavio informacije u posmatranom intervalu $\triangle t$ (verovatnoća 1- p_{fKIS}), ili kada je nesavršeni KIS otkazao (verovatnoća p_{fKIS}).

Ako KIS nije otkazao (verovatnoća 1- p_{fKIS}), novi položaj AP (x_{AP}, y_{AP}, z_{AP}) se memoriše kao njen poslednji potvrđeni položaj (x_{pAP}, y_{pAP}, z_{pAP}), a simulacioni prolaz se nastavlja aktiviranjem dela simulatora za novi raspored samohodnih lansera koji se usmeravaju ka pravom novom položaju AP, (x_{AP}, y_{AP}, z_{AP}). Zatim se ispituje da li je brojač mogućih pogodaka BMP veći ili jednak od zadate kritične vrednosti BMP_k. Ako jeste, lansiraju se rakete ka trenutnom položaju AP. Ako nije, simulirano vreme uvećava za osnovni interval $\triangle t$, a simulacija nastavlja kao što je opisano. Posle lansiranja raketa, ispituje se da li je AP uništena. Ako jeste, taj prolaz se završava uspehom, a brojač uspešnih simulacionih prolaza u eksperimentu se povećava za 1

(USPEH+1). Ako nije, taj prolaz se završava neuspehom, a brojač neuspešnih simulacionih prolaza u eksperimentu se povećava za 1 (NEUSPEH+1). Zatim se simulirano vreme uvećava za osnovni interval $\triangle$t, a simulacija nastavlja kao što je opisano.

Ako je KIS otkazao (verovatnoća p_{fKIS}), simulacija prolaz se nastavlja aktiviranjem dela simulatora za novi raspored samohodnih lansera koji se usmeravaju ka poslednjem potvrđenom položaju AP (x_{pAP}, y_{pAP}, z_{pAP}), memorisanom u nekom od prethodnih osnovnih intervala $\triangle t$. Zatim se ispituje da li je brojač mogućih pogodaka BMP veći ili jednak od zadate kritične vrednosti BMP_k. Ako jeste, ispituje se da li postoji paralaksa usled nesavršenosti KIS, čija je mera rastojanje d centara prave i lažne ZSN.

Ako je rastojanje d veće ili jednako $2R_{sn}$, taj prolaz se završava neuspehom, a brojač neuspešnih simulacionih prolaza u eksperimentu se povećava za 1 (NEUSPEH+1).

Ako je $0 < d < 2\ R_{sn}$, lansiraju se rakete ka poslednjem potvrđenom položaju AP (x_{pAP}, y_{pAP}), memorisanom u nekom od prethodnih osnovnih intervala $\triangle t$.

Posle lansiranja raketa, ispituje se da li bi AP bila uništena. Ako ne bi, taj prolaz se završava neuspehom, a brojač neuspešnih simulacionih prolaza u eksperimentu se povećava za 1 (NEUSPEH+1).

Ako bi AP za tu vrednost BMP bila uništena, zbog paralakse nesavršenog KIS to se ne mora obavezno i dogoditi, pa se takav simulacioni prolaz završava ili uspehom sa verovatnoćom p_{SN}, ili neuspehom sa verovatnoćom (1- p_{SN}). Verovatnoća p_{SN} se određuje na osnovu izraza (7) ili (9), zavisno od toga da li je paralaksa dvodimenzionalna ili trodimenzionalna.

Posle ažuriranja brojača uspešnih prolaza (USPEH +1), ili neuspešnih prolaza (NEUSPEH +1), simulirano vreme se uvećava za osnovni interval $\triangle t$, a simulacija nastavlja kao što je opisano.

5. ZAKLJUČAK

Predstavljen je koncept paralakse nesavršenog KIS u okviru simulatora vojnih sistema koji primenjuju ofanzivnu odbrambenu taktiku rojenja, kombinovanu sa sinhronizovanim raketnim udarom.

Pristup modelovanju nesavršenosti KIS u ovom istraživanju je da je njena mera verovatnoća izostanka informacija KIS (p_{fKIS}) u jednom ili više njegovih osnovnih intervala $\triangle$t.

Paralaksa je definisana kao razlika između stvarnog trenutnog položaja aktivne pretnje i njenog položaja koji je procenjen na osnovu nepouzdanih informacija nesavršenog komandno-informacionog sistema. Zavisno od prirode simuliranog vojnog sistema, ta paralaksa može biti dvodimenzionalna ili trodimenzionalna.

Dvodimenzionalna paralaksa KIS može da se koristi u simulatorima vojnih sistema u kojima se AP i lanseri kreću u dvodimenzionalnom prostoru, po površini kopna ili vode.

Trodimenzionalna paralaksa KIS može da se koristi u simulatorima vojnih sistema u kojima se AP i kreće u trodimenzionalnom prostoru, po površini kopna ili vode.

Prikazani koncepti koriste se u simulaciji vojnih sistema sa rojenjem, ali se mogu primeniti i za modelovanje u šire klase vojnih sistema, u kojima nesavršenost komandno-informacionog podsistema može uticati na njihove performanse.

LITERATURA

[1] Arquilla, J., Ronfeldt, D. (1999). Swarming and the Future of Conflict. Rand Corporation.

[2] Edwards, S.J.A. (2005). Swarming and the Future of Warfare. Rand Corporation.

[3] Jankovic, R. (2011) Computer Simulation of an Armoured Battalion Swarming. Defence Science Journal, 61, 1, 36–43.

[4] Jankovic, R. (2012). Data Structures and Control Mechanisms for Multitarget Swarming Simulators. Electronic Letters, 48, 16, 997-998.

[5] Jankovic, R., Milinovic, M. (2018). An Approach to Simulation of the Swarming and Synchronized Missile Attack Against an Active Threat, Proceedings of the 8th International Conference on Defensive Technologies OTEH 2018, Belgrade, Serbia, 101-105.

[6] Jankovic, R., Milinovic, M. (2020). Modelling of Command Information System Imperfection in Military Swarming Systems Simulators, Proceedings of the 9th International Conference on Defensive Technologies OTEH 2020, Belgrade, Serbia, 145-150.

XLVIII Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23. September 2021.
MATΦ University of Belgrade Faculty of Mathematics
Mathematical Institute SASA

STRUCTURING QUEUEING MODEL FOR MOBILIZATION OF VEHICELES FOR WARTIME MILITARY UNITS

NEBOJSA NIKOLIC[1]

[1] Strategic Research Institute, University of Defence in Belgrade, Serbia, nebojsa.nikolic11@mod.gov.rs

Abstract: *Total defence concept relates to obligation of society to mobilize all of its resources which are needed for military purpose. Wartime army is much larger than it is the case for a peace time period. Consequently, there are a size and capability gaps between peacetime and wartime army. In order to manage that gaps, nations rely on mobilization of civilian resources. During mobilization, numerous civilian vehicles have to be checked and receipted by technical team in a proper manner. Mobilized civilian vehicles are of different types and shape and comes from different owners and from different locations. In summary, their arrivals at reception point are stochastic, as well as reception process itself. For military unit, it is important to obtain insight in the reception process dynamics in order to identify what resources are needed and what could happen in cases of different dynamics of arrivals.*

Keywords: *Military logistics, Total defence, Simulation modeling, Queueing, Strategic management.*

1. INTRODUCTION

Evolutive dynamic of hybrid warfare has induced security perceptions and strategic thinking for national defence in many small countires that concept of total defence could be a proper respond in order to assure national security and defence [1]. The total defence concept assumes obligation of a society to mobilize all its resources which are needed for obtaining national security and defence [9]. It is obviously evident that wartime army is usually much larger than it is the case for a peace time period. Consequently, there are a size and capability gaps between peacetime and wartime army. In order to manage that gaps in efficient manner, nations rely on mobilization of civilian resources.

This paper deals with one specific aspect of the total defence concept which relates to obtaining transportation capability for wartime military units by conducting mobilization of some number of civilian transportation vehicles which are owned by various companies, organizations and even individual owners [2]. In the same legal way the society has obligation to support the military in a times of crises and war, on the contrary, the military organization has obligation to properly receive, use and at the end return those mobilized vehicles in the same shape and conditions as those vehicles has been received in military units.

Duration of mobilization period for military unit is relatively short. It depends on unit's main mission and specific tasks, and for many territorial units are about several days. Mobilization calls (for vehicles and for military reservists) are issued at the very beginning of mobilization. During a short period of mobilization, numerous civilian vehicles have to be checked and receipted by technical team from military unit in a proper manner. Due to a varieties of owners and vehicle's purpose, those mobilized vehicles are usually of different types, shape and age, as well as coming from different locations and distances to the place of reception in military unit. In summary, these factors generates stochastic charater of arrivals of mobilized vehicles as well as stochasticity in their reception by military unit. For military unit, it is important to obtain insight in the reception process dynamics in order to identify what resources are needed and what could happen in cases of different dynamics of arrivals.

Situations when some arriving demands have to be processed by some servicing entitets could be perceived as queueing systems and modeled and solved by queueing theory and Monte Carlo simulation modeling. First step in modeling is to structure real proces, situation or system in a proper way so that we get a model of high fidelity, that is, a model which represent reality in a best possible way.

The main purpose of this paper is to present trustworthy modeling [11] of reception process of mobilized civilian vehicles for use in a wartime military units. Main output result is a conceptual model of described real process, structured according to a queueing theory methodology and with perceived worst case scenarios and directions how to solve them.

2. CONCEPTUAL MODELING OF RECEPTION PROCES FOR MOBILIZED VEHICLES

During mobilization period of wartime units, along with other mobilization activities, goes proces of reception of mobilized vehicles of civilian owners at a place which we call here as reception point [8]. This activity is planed and administred a long time before the mobilization starts and if performed in a proper way it may relax whole process and obtain successful ends [10]. Military commands have special bodies (one or few) military oficers which are obligated to administer mobilization issues. They are connected with specialized administrative bodies accros the national teritory which obtain them with proper informations about availability of transportation vehicles and correponding owners [10]. Long before war and crises situation lines of communications and information exchanges are established between those entities: military unit – territorial bodies for mobilization – vehicle owners.

In case of war or great crises, national authorities issues order for mobilization. It further generate orders to military units to transit itself into the wartime mode of organizing and functioning. At the same time are send calls for military reservists to join into theirs military units, and in a similar way are issued calls for mobilized civilian vehicles. Period of mobilization is relatively short and it is not equal for all military units. Order of magnitude for mobilization period of reserve military units could be from one to several days and that is a time framework which will be threated in this paper.

When owner of civilian vehicle receive mobilization call he have to immediately prepare mobilized vehicle and send it into military unit (Figure 1, upper part in figure). That vehicle have to be completed with all additional equipment and spare parts, with full fuel tank, in good shape and in correct technical and trafic conditions. However, in spite of legal obligations of owners to obtain high standards for their vehicles, it is not realistic to expect problem-free mobilization situation.

When mobilized vehicle finaly comes to the reception point of military units, it is technicaly checked by specialists in reception team (Figure 1, middle part in figure). Complete scan of vehicle have to obtain and record information about all real state, shape, characteristics and completeness of mobilized vehicle. In theory, if vehicle do not satisfy prescribed standards, it should be returned and new vehicle have to be called. In practice, it depends, due to available time and could happen that not fully complete vehicles are accepted. In such cases, good reception records are of great importance and very valuable for further use of such vehicles and even more valuable when they should be de-mobilized, that is returned to the original civilian owners. Reception of mobilized vehicles is conducted at place called reception point, by specialy organized team (reception team) engaged on temporary bases from mlitary personnel comming from units for technical support. Reception team consists of technicians for vehicle maintenance, drivers and administrators, with appropriate tools and material for basic technical check of mobilized vehicles. Due to reception resources limitations and depending on mobilization deadlines, as well as taking into account variability of appearance (arrivals) of mobilized vehicles and their technical state and shape, the challenge is to estimate the lowest lewel of reception resources. Does it is enough to have only one reception team (single channel queueing model) or it will be needed two or more?

After finishing reception phase, if successful (positive decision to accept, Figure 1), mobilized civilian vehicles are further considered as military assets. As such, they are further deployed according to plans and needs of military unit. Mobilized civilian vehicles are usually deployed accross all units of brigade (Figure 1, bottom part of figure). This is the last step of the reception point operations. After finished deployment of all mobilized vehicles, reception team concludes their work and make final report to the chief technical oficer in brigade which include all reception recrds for all mobilized vehicles.

Mobililzed vehicles continues their „military engagement“ as long as they are needed. National law on defence obligations and correponding regulations confirm the right of original owners of the mobilized vehicles to have appropriate financial return becauce their properties (vehicles) are mobilized, that is temporarily taken. If not before, the end of war is a usual point when de-mobilization starts. In the de-mobilization phase all previously mobilized vehicles have to be returned to their civilian owners. Mobilized vehicles have to be returned in a same state as they were received.

Reception records which were made during reception proces in a mobilization period play fundamental role as they are referential cornerstone for comparing the two states of the mobilized vehicles: at the beginning and at the end of their military engagement. If the reception proces is not done correctly, then nor return proces could not be done correctly. For example, imagine situation as follows: of about a hundred mobilized vehicles, majority of them comes with almost empty fuel tanks, without reserve wheels and car jack tool kits, while tires were at the end of working life; many of vehicles comes with old bateries at the end of life, some of them had damaged bumpers, windshield or side-view mirrors. If those deficiencies, shortages and imperfections of mobilized vehicles did not registered at the beginning, than it could be conlcuded that they appeared during use in a militray unit, so that all those deficiences have to be processed on the count of

the military organization. This aspect (cost) is additional factor in support of a relevance of the reception proces.

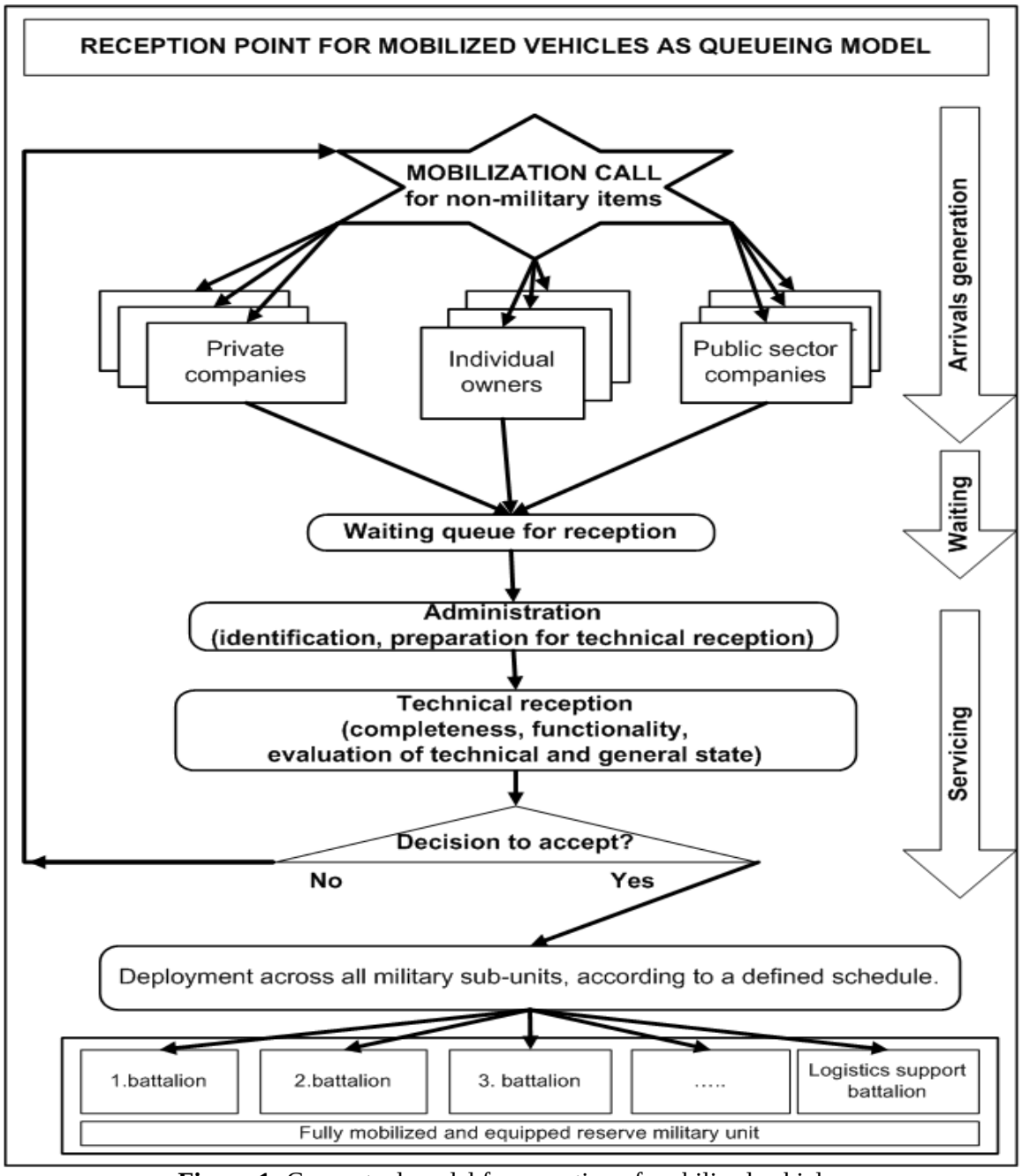


Figure 1: Conceptual model for reception of mobilized vehicles

3. STRUCTURING QUEUEING MODEL FOR RECEPTION OF MOBILIZED VEHICLES

Described conceptual model of reception proces is here modeled further as queueing model, while solutions were obtained by known formulas from the queueing theory. Due to the specifics of the real processes, which are related to the finite mobilization time, we offer also solutions obrained by Monte Carlo simulation modeling as a very appropriate tool for solving various problems in the military field [3].

The most probable situation is that reception team has capacity to establish only one service channel for reception of mobilized vehicles. That is due to a limited number of logistics personnel in logistic units which have to perform a lot of other activities during mobilization of wartime military unit.

For modelling purpose we adopt some quantitative values as follows: arrivals of mobilized vehicles are stochastic with average inter-arrival time of 21 minutes, while arrivals distribution function is considered as exponential type; reception process (servicing) of mobilized vehicles is also stochastic with average inter-arrival time of 20 minutes, while servicing distribution function is considered for two types: exponential and uniform. Those quantitative values are taken arbitrary and are close to intuitive values from everyday life

(like technical check of private vehicles as precondition for regular yearly registration in Serbia). Of course, that values can be changed for further experimentation.

Data in Table 1 are calculated on the basis of classical queueing models of type M/M/1 and M/G/1 in order to show variations in results caused by change of type of distribution function. In third column of Table 1 are results for case of limited population of clients (M/G/1//100) and due to relatively big number of clients (one hundred of mobilized vehicles) diferences are neglecting.

Table 1: Queueing models of reception process and results by queueing theory (steady-state results)

Queueing model Characteristics	M/M/1 Tla = 21 min. Tmi = 20 min.	M/G/1 Tla = 21 min. Tmi = 20 min. (+/-10 min.)	M/G/1//100 Tla = 21 min. Tmi = 20 min. (+/-10 min.)
Server utilization	*0,952*	*0,952*	*0,952*
Number in the system	*20*	*11,27*	*11,27*
Number in the queue	*19*	10,32	10,83
Waiting time in system (min.)	*420*	236,67	236,67
Waiting time in queue (min.)	*400*	216,67	216,67

However, classical queueing theory results in Table 1 are related to the stationary regime of queueing system operations. When simuland, a real system, operates in a relatively short time, then possible influence of transient regime should be taken in account [11]. Data in Table 2 display result obtain by simulation Monte Carlo which simulate operations of queueing system in a finite time. We chose two cases: 24 hours of operations and 48 hours in order to see what happens: what is queue length, what is waiting time and how much clients are processed (that is, how much vehicles are possible to be checked at reception point).

Table 2: Queueing models of reception process and results by Monte Carlo simulation for two variants

Queueing model Characteristics	M/G/1 Tla = 21 min. Tmi = 20 min. (+/-10 min.)	M/G/1 Tla = 21 min. Tmi = 20 min. (+/-10 min.)
Period of work of reception point	24 hours	48 hours
Server utilization	0,95	0,97
Number in the system	5,49	6,71
Number in the queue	4,54	5,74
Waiting time in system (min.)	95,07	137,23
Waiting time in queue (min.)	73,60	116,20
Number of received vehicles	64	133

Simulation results presented in Table 2 (first numerical column), shows that minimal reception team (single channel service system) can not obtain reception of all mobilized vehicles (a hundred of them) for given limitation of 24 hours of mobilization time and for defined technical standards of reception (average service time per one vehicle). Possible solution to the problem can be twofold. Firstly, if it is possible to negotiate (with higher management of military unit) longer time period for reception proces of mobilized vehicles, then two days for reception proces will be enough (last column in Table 2). Secondly, if mobilization time is not negotiable, then service channel cpacity should be enlarged, that is, technical oficer of military unit have to change initial plans and somehow find resources for enlarged reception team. Third logical option is a preasure on a reception team to shorten technologicaly prescribed reception time, which means violation of reception procedure, generating errors, and missing some mandatory checks, so that this option is unacceptible. For numerical calculations of results in Table 1 and 2, it was used freely available software WinQSB, which is very suitable for introductory and learning simulation and queueing theory. For more precize simulation results it should be performed more replications of simulation experiment.

4. CONCLUSION

Relevance of the topic is twofold. First, appropriate reception of mobilized vehicles directly influence transportation capability and operational readines of military units. Second, precise identification of technical state, shape and completeness of mobilized vehicles enables correctnes of return proces of mobilized

vehicles to their owners in de-mobilization proces after the war or crises. Reception proces could be modeled as queueing problem, but for efficent solution of the problem it is more appropriate to apply simulation modeling than classical steady-state solution offered by queueing theory. This is due to two main factors: finite time of reception proces and probable heavy traffic with possibility of saturation and overloading. In presented example reception time has very finite value and that was a main motive to turn towards simulation modeling. Simulation results for presented example contain impact of transient working regime due to a finite time of mobilization process. And that is a main reason for differences of simulation results versus theoretical steady-state results for queueing model under study. Queue length and waiting time are much smaller in a case of applied Monte Carlo simulation modeling compared to the steady-state theoretical results, because of the impact of the transient regime of operations. In our case whole mobilization proces modeled as queueing system will be finished much before steady-state regime could be reached.

In presented example we had a heavy-traffic case with server utilization about level of 0,95. By use of Monte Carlo simulation it is possible and easy to investigate cases of saturation and overloading of service channel capacity, while theoretical approach is much harder to apply in such cases. This will be the subject of further research. Also, presented problem, particularly conceptual model development, could serve as a good example of connecting problems from the field of military sciences with operational research disciplines, simulation modeling at the first place.

Acknowledgement

This work was partially supported by the Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia under Interdisciplinary Project No.III-47029 (title: "Cost Effective Selection of New Technologies and Concepts of Defence Through Social Reforms and Strategic Orientations of Serbia in 21st Century").

REFERENCES

[1] Berzina L. (2020). From 'total' to 'comprehensive' national defence: the development of the concept in Europe. Journal of Baltic Security, 6(2), 1-9.

[2] Brick E.S. (2019). A conceptual framework for defense logistics. Gestão & Produção, 26(4), e4062. https://doi.org/10.1590/0104-530X4062-19

[3] Cody T. (2021). Implementation Strategies for Modeling and Simulation in Military Organizations. Walden Dissertations and Doctoral Studies Collection, Walden university, College of Management and Technilogy, Mineapolis, the USA.

[4] Da Costa P.A. (2019). Defense logistics: fundamentals of logistical process management and the transformation of the Brazilian Army. Colec Meira Mattos, 13(47), September-December 2019, 301-320, Rio de Janeiro, Brazil.

[5] Gotkowska J. (2021). Sweden's Security – The Long Way Towards Total Defence. OSW Point of View No.81, January 2021, Centre for Eastern Studies, OSW, Warsaw, Poland, Lat access March 25 2021, www.osw.waw.pl.

[6] Kaczynski W., Leemis L. & Drew J. (2012). Transient Queueing Analysis. *INFORMS Journal on Computing*, 2012, 24(1), 10-28.

[7] Kund O. (2019). Estonia to draw up backup plan for vehicle mobilization. Estonian News, 11 February 2019, Last access 25 March 2021 https://news.postimees.ee/6521188/estonia-to-draw-up-backup-plan-for-vehicle-mobilization.

[8] Максић Р., Андрејић М. & Николић Н. (2004). Тактика Техничке службе. уџбеник за Војну академију, ГШ ВСЦГ – УШИО, Београд, 2004.

[9] Miklaucic Michael, (2019). "Total Defence – an Interview with Swedish Minister of Defense Peter Hultqvist", PRISM, Editor-in-Chief interview with Minister of Defense, on March 2019, 8(2), 146-150.

[10] Николић Н. (2001). Попуна моторним возилима из пописа. Часопис Нови Гласник, бр.2, стр.65-69. Београд.

[11] Nikolic N. (2004). Fidelity in Studying of Military Queueing Systems. ESIW '04 - European Simulation Interoperability Workshop 2004, Edinburgh, July 2004, www.sisostds.org.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

ODREĐIVANJE BORBENIH MOGUĆNOSTI I EFIKASNOSTI HIBRIDNOG PVO SISTEMA U ODBRANI OD NAPADA DRONOVA KAMIKAZA

DETERMINATION OF COMBAT CAPABILITIES AND EFFICIENCY OF HYBRID ANTI-AIRCRAFT SYSTEMS IN DEFENSE AGAINST THE KAMIKAZE DRONS

DALIBOR PETROVIĆ[1], VLADIMIR STANKOVIĆ[2], MOMIR DRAKULIĆ[1]

[1] Vojna Akademija, Beograd, dalibor.petrovic@mod.gov.rs, drakulic.momir@gmail.com
[2] Aerodrom „Morava“, Lađevci, VP5013, vladastankovic1995@gmail.com

Rezime: *Savremeni oružani sukobi u kojima dominira udar sa distance a naročito skorašnji sukobi u kojima je bila masovna upotreba dronova kamikaza u borbi protiv savremenih, skupih sistema, naveli su na razmišljanje kakve su borbene mogućnosti jednih i drugih u međusobnom sukobu. U skladu s tim, u radu je analiziran sukob koji bi se vodio između hibridnog PVO sistema i dronova kamikaza. Cilj rada je da se kroz sagledavanje borbenih mogućnosti savremenih sredstava, kako hibridnog PVO sistema tako i dronova kamikaza dođe do definisanja njihovog načina najefikasnije upotrebe u smislu kako i koliko dronova kamikaza treba da napadne hibridni PVO sistem da bi ga uništili. A što se tiče borbenog sistema sagledati mogućnost njegove efikasne odbrane u smislu njegovog rasporeda, broja ispaljenih projektila po jednom cilju, način dejstva (sa uvidom u rezultat dejstva ili bez uvida). Za definisanje borbenih mogućnosti korišćene su determinističke jednačine autonomne/direktne vatre.*

Ključne reči: *autonomna/direktna vatra, hibridni PVO sistem, dron kamikaza, borbene mogućnosti.*

Abstract: *Contemporary armed conflicts dominated by long-range strikes, especially recent conflicts involving the mass use of „kamikaze drones“ in the fight against the contemporary, expensive systems, have considered the combat capabilities of each other in the conflict. Accordingly, this paper analyzes the conflict between the hybrid anti-aircraft system and the kamikaze drones. The main goal of this paper is to define the combat capabilities of the modern equipment, both hybrid anti-aircraft system and the kamikaze drones, and to define their the most efficient use in terms of the method and the number of kamikaze drones should attack a hybrid anti-aircraft system in order to destroy it. As for the combat system, the possibility of its effective defense should be considered in terms of its combat deployment, the number of projectiles fired per target, the mode of impact (by taking an insight into the result of the action or without taking an insight). Deterministic equations of autonomous / direct fire were used to define combat capabilities.*

Keywords: *autonomous/direct fire, hybrid air defense system, kamikaze drone, combat capabilities.*

1. UVOD

Promena fizionomije ratovanja, sa uvođenjem novih tehnologija, nametnula je potrebu za sagledavanjem borbenih mogućnosti savremenih sistema i njihove taktike upotrebe u novoj fizionomiji ratovanja. Dinamika borbe modernog ratovanja, naročito na polju hibridnih ratova, učinila je da dronovi postanu deo ratne realnosti, iako je njihova borbena upotreba do skora uglavnom bila u izviđačke svrhe i nije bila tako masovna, poslednjih decenija počela je ideja o njihovom naoružavanju raketama kratkog i srednjeg doleta. Prva upotreba naoružanim dronom bila je sredinom novembra 2001. godine u Avganistanu. Američka administracija i vojska korišćenje dronova u ratnim sukobima vide kao naoružanje koje će se u budućnosti sve više koristiti i razvijati. Prema izveštaju kongresne budžetske kancelarije koji je objavljen 2015. godine, ministarstvo odbrane SAD planira da kupi 730 novih dronova do 2025. godine [1]. Razvoj dronova malih dimenzija (kvadrokoptera) i nosivosti do nekoliko kilograma, dostupnost na komercijalnom tržištu, može dovesti do njihove masovne upotrebe u borbenim dejstvima po principu istovremenog udara na cilj metodom rojenja. S tim u vezi, u zadnje vreme se razvijaju dronovi kamikaze, letelice kojima često upravlja samo jedan vojnik, dizajnirane da udare u metu kako bi detonirale bojevu glavu. Tako na primer, Turska razvija dronove kamikaze ALPAGU (mase 3,7kg, dolet 5km, brzine 80km/h) i KARGU (mase 6,285kg, dolet 5km, brzine 72km/h). Imajući u vidu da su ovakve letelice relativno jeftine počelo se razmišljati o njihovoj masovnoj upotrebi u borbenim dejstvima a naročito njihovog dejstva na složene borbene sisteme. Efikasnost

ovakvih dronova na oklopne i lako oklopne borbene sisteme je neznatna, imajući u vidu malu količinu eksploziva kuju mogu da ponesu. Njihova efikasnost može se razmatrati na dejstvo po otkrivenoj ne zaštićenoj živoj sili. Međutim za veće efekte dejstva po složenim neprijateljskim ciljevima postoje i veći dronovi kamikaze kao što je Izraelska bespilotna letelica IAI Harop, koja je 10. maja 2018. godine uništila sirijski Pancir SA-22. Ova letelica je dužine 2,5m, raspon krila 3m, maksimalne brzine 417km/h, doleta 1000km, visina leta 4600m, masa bojeve glave je 23 kg, CEP<1m).

Pored dronova kamikaza za ispoljavanje većih efekata po složenim neprijateljskim ciljevima mnoge zemlje razvijaju dronove većih dimenzija i nosivosti koji mogu da unište složenije borbene sisteme ali istovremeno predstavljaju laku metu zbog veće odrazne površine kao što su Bayraktar TB2 (dužine 6m, raspon krila 12m, poletne mase 650kg, koristan teret 150kg, maksimalne brzine 220km/h, krstareće brzine 130km/h, dolet 150km, visina leta 5500m).

Imajući u vidu novu fizionomiju ratovanja gde dronovi preuzimaju značajnu borbenu ulogu, potrebno je sagledati efikasnost i ekonomičnost upotrebe jedinica PVO na ovakve ciljeve imajući u vidu da su njihove borbene mogućnosti bile vezane za borbu protiv klasičnih sistema kao što su borbeni avioni helikopteri krstareće rakete (sistemi koji imaju veće brzine ili veće odrazne površine).

Sagledavanje borbenih mogućnosti jedinica PVO predstavlja veoma kompleksan problem koji ćemo u ovom radu vezati za borbenu situaciju u kojoj bi se analizirana jedinica nalazi. Osnovna ideja i cilj rada je da se provere i testiraju karakteristike hibridnog PVO sistema u sukobu sa dronovima kamikazama.

2. PROBLEM KOJI SE REŠAVA I PRETPOSTAVKE

Da bi smo sagledali borbene mogućnosti i efikasnost hibridnog PVO sistema u odbrani protiv dronova kamikaza koji primenjuju taktiku rojenja, pretpostavićemo borbenu situaciju u kojoj se hibridni PVO sistem (naoružan sa PA topovima i raketama kratkog i srednjeg doleta) nalazi na bojištu u zoni očekivanja napada dronova kamikaza. Dronovi kamikaze napadaju PVO sistem sa više pravaca po principu jednovremenog udara na cilj. Dronovi kamikaze naoružani su eksplozivom koji se aktivira prilikom njihovog udara u cilj.

Hibridni PVO sistem dejstvuje samostalno, to jest ima sposobnost da samostalno osmatra vazdušni prostor u rejonu dejstva i prikuplja informacije o cilju potrebne za efikasno dejstvo po njemu. Ovakva sposobnost mu omogućava manje potrebno vreme za dejstvo na neprijateljske dronove kamikaze, koji lete ka njemu sa ciljem da ga unište.

Borbeno vreme jednog napada se razmatra kao konačno vreme koje je potrebno da dronovi kamikaze pređu put od trenutka otkrivanja do trenutka udara u hibridni PVO sistem. Sukob se razmatra kao jedan nalet grupe više letećih objekata (dronova kamikaza) u zoni očekivanja hibridnog PVO sistema. Hibridni PVO sistem uzvraća preciznom vatrom korišćenjem manevra vatrom (to jest prenošenjem vatre sa jedne krstareće rakete na drugu) [2], hibridni PVO sistem se brani raznorodnim naoružanjem, kombinovano raketama i PA topovima.

Predpostavka je da sistem može da gađa jedan cilj (nevezano da li gađa raketama ili PA topom) i dok ne dobije informaciju da li je cilj pogođen ne prenosi vatru na drugi cilj. Hibridni PVO sistem troši sve ili deo raspoloživih granata i raketa na uništenje dronova kamikaza koji lete ka njemu u jednom naletu. Bitka je okončana kad jedan dron doleti i udari u PVO sistem ili PVO sistem obori sve dronove.

Hibridni PVO sistem naoružan topovima kalibra 30mm sa 2500 granata i 12 raketa srednjeg dometa nalazi se u rejonu očekivanja. Pretpostavka je da će hibridni PVO sistem dejstvovati protivavionskim (PA) topom po ciljevima koji mu se nalaze na daljini bližoj od 3000m a na daljinama većim od 3000m raketama. U analizi borbenih mogućnosti ovakve platforme protiv dronova kamikaza tretira ćemo kao jediničnu borbenu platformu koja može da gađa jedan cilj, sa više oruđa raznorodnog tipa, vodeći računa o ograničenjima u vezi borbenog kompleta (granata i raketa) koje se nalaze na njoj.

Brzina leta rakete je 1300m/s vreme reagovanja PVO sistema 6 do 8s, brzina topa je između 3900 do 5000 granata/min brzina leta granate je 960m/s. Verovatnoćom pogađanja jednom granatom je $p_{granata} = 0.03$. Normirani broj raketa je jedna/dve po cilju a normirani broj granata u rafalu definisan je vremenom trajanja rafala. Verovatnoćom pogađanja jednom raketom je $p_{raketa} = 0.3$.

Dronovi kamikaze lete brzinom 54m/s, dron nosi 24kg TNT eksploziva, tako da je jedan dron sposoban da uništi hibridni PVO sistem.

3. JEDNAČINE BORBE

Mogućnosti odbrane hibridnog PVO sistema od napada dronova kamikaza, analizirana je primenom determinističkih jednačina [5], autonomne vatre na više ciljeva koji se kreću ka hibridnom PVO sistemu sa namerom da udare u njega i tako ga unište.

U cilju predstavljanja matematičkog modela boja uvodi se sledeća notacija:

- $m_{R(0)}$ - broj dronova kamikaza na početku boja,
- m_B - hibridni PVO sistem koji gađa grupu dronova kamikaza,
- $M_R = 1$ - konstanta koja predstavlja broj dronova kamikaza koje hibridni PVO sistem gađa u jednom rafalu, a čija je vrednost postavljena na 1,
- $m_{R(i)}$ - preostali broj dronova kamikaza nakon i-tog rafala,
- t_{cg} - vreme trajanja ciklusa hibridnog PVO sistema ($t_{g\,raketa}$ - raketama, $t_{g\,top}$ - PA topom),
- λ - brzina vatre hibridnog PVO sistema (λ_{raketa} - raketama, λ_{top} - PA topom),
- p - verovatnoća pogađanja (p_{raketa} - jednom raketom, $p_{granata}$ - jednom granatom),
- $b_B = \lambda \cdot p$ - koeficijent atricije (brzina verovatne vatre) hibridnog PVO sistema ($b_{B_{top}} = \lambda_{top} \cdot p_{top}$ - PA topom, $b_{B_{raketa}} = \lambda_{rak} \cdot p_{rak}$ - raketama),
- a_R - koeficijent atricije (brzina verovatne vatre) drona kamikaze.

Koristeći gore navedenu notaciju, matematički model boja je zapisan preko sledećih determinističkih jednačina (Przemieniecky 2000):

$$\frac{dm_B}{dt} = -a_R m_R \tag{1}$$

$$\frac{dm_R}{dt} = -b_B m_R \tag{2}$$

Jednačina (1) predstavlja degradaciju hibridnog PVO sistema dok jednačina (2) predstavlja degradaciju dronova kamikaza prilikom jednog dejstva hibridnog PVO sistema bilo raketama ili granatama ispaljenim iz PA topa u jednom normiranom rafalu. Posle direktne integracije jednačina dva može se napisati u sledećem obliku:

$$m_R(t) = M_R e^{-b_B t_{cg}} \tag{3}$$

Ukupan broj dronova kamikaza posle svakog dejstva hibridnog PVO sistema može se predstaviti sledećom jednačinom:

$$m_{R(i)} = m_{R(i-1)} - M_R e^{-b_B t_{cg}} \qquad \text{i=1,2,3,.....} \tag{4}$$

Kako je pretpostavka da hibridni PVO sistem može da dejstvuje na jedan cilj, model borbe, posmatraće se kao dejstvo hibridnog PVO sistema sa uvidom u rezultate dejstva. To jest, hibridni PVO sistem dejstvuje po dronovima kamikazama raketom ili rafalom iz PA topa i čeka da vidi rezultat dejstva (vreme čekanja je vreme potrebno da raketa/granata pređe put od hibridnog PVO sistema do drona kamikaze) a zatim, pošto konstatuje da je cilj uništen, vrši manevar vatrom (tj. vrši prebacivanje vatre) na drugi dron kamikazu. Manevar vatrom [4] hibridnog PVO sistema koji vrši autonomnu vatru karakteriše se ciklusom gađanja (ciklus gađanja je vreme koje se utroši za gađanje jednog cilja i prenošenje vatre na drugi cilj). U radu je korišćeno sledeće vreme ciklusa gađanja:

$$t_{cg} = t_{let} + t_{re}, \tag{5}$$

gde t_{let} označava vreme trajanja leta rakete/granate hibridnog PVO sistema, dok t_{re} predstavlja vreme reagovanja hibridnog PVO sistema.

Imajući u vidu da je analizirani sistem automatizovan i da na sebi ima osmatrački i nišanski radar ukupno vreme reagovanja/prenos vatre uključuje pomeranje raketa/topa po pravcu i mesnom uglu kao i vreme

hvatanja, ocene, uvođenje elemenata o cilju i početak vatre. Vreme reagovanja/prenos vatre PVO sistema je $t_{re} = 6s$.

Prilikom proračuna borbenih mogućnosti PVO sistema, treba voditi računa o daljinu dejstva koja se smanjuje sa približavanjem dronova kamikaza, zbog izbora oruđa kojim se dejstvuje.

$$L_{dej_{rak}} = L - \left(L_{dron} \cdot n_{cg_{rak}}\right) \tag{6}$$

$$L_{dej_{rak}} \approx 3000\,m \tag{7}$$

$$L_{dejPA} = L - \left(L_{dron} \cdot n_{cg_{gr}}\right) \tag{8}$$

gde je n_{cg} broj ciklusa gađanja ($n_{cg_{rak}}$ -raketama, $n_{cg_{gr}}$ - granatama)

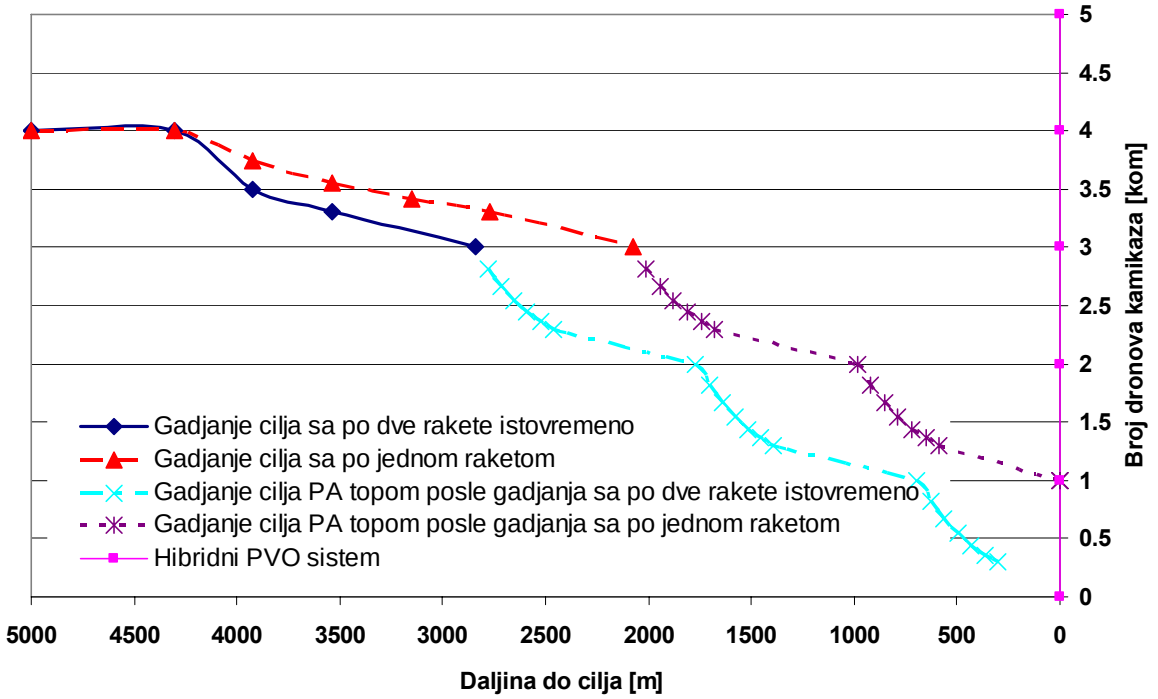
$L_{dron}[km]$ - dužina puta kroz zonu uništenja PVO sistema koju dron kamikaza pređe za jedan ciklus gađanja hibridnog PVO sistema.

$$L_{dron} = V_{dron} \cdot t_{cg} \tag{9}$$

V_{dron} - brzina drona kamikaze

4. REZULTATI ANALIZE

Analiza je izvedena pod pretpostavkom da hibridni PVO sistem napadaju četiri drona kamikaze istovremeno iz različitih pravaca. Hibridni PVO sistem se brani raketama na daljinama preko 3000m a topom posle dejstva raketama na daljinama bližim od 3000m. Računa se da je dron kamikaza pogođen kad je njegova verovatnoća preživljavanja manja ili jednaka od 0.3. Hibridni PVO sistem biva uništen kad dron kamikaza doleti do njega.



Slika 1: Dijagram uništenja dronova kamikaza hibridnim PVO sistemom

Na osnovu prikazane borbene situacije i njenog rešavanja za uzastopno dejstvo po više ciljeva, raznorodnim naoružanjem (raketama i PA topom), kao i na osnovu navedenih početnih uslova, izvedena je analiza borbe i rezultati su prikazani na dijagramu (Slika 1.). Dijagram prikazan na slici 1 pokazuje da je hibridni PVO sistem efikasniji ako dron kamikazu gađa sa po dve rakete istovremeno na daljinama većim od

3000m. Ovakav način gađanja povećava verovatnoću uništenja drona kamikaze na većoj daljini tako da preostane više vremena za njegovo dejstvo po dronovima kamikazama PA topom. U sprovedenoj analizi, hibridni PVO sistem ima četiri gađanja sa po jednom raketom da bi uništio dron na daljini od oko 2770m od sebe, a dva gađanja sa po dve rakete gde je dron kamikaza uništen na daljini od 3537m. Uništenje rakete na većoj daljini omogućilo je hibridnom PVO sistemu da dejstvom PA topa uništi još tri drona kamikaze i tako se odbrani od njih. U slučaju kada hibridni PVO sistem gađa sa po jednom raketom preostalo vreme mu dozvoljava da uništi još dva drona što nije dovoljno za odbranu. U ovoj situaciji jedan dron kamikaza uspe će da doleti do hibridnog PVO sisteme i uništi ga. S tim u vezi možemo zaključiti da PA top, u situaciji kada ima informacije o uništenju cilja, može preživeti napad od maksimalno četiri drona kamikaze, pod uslovom da ih uoči na daljini većoj od 5000m.

5. ZAKLJUČAK

U radu je pokazana mogućnost boja jedne naoružane platforme protiv više tačkastih ciljeva. Prikazane su vatrene mogućnosti hibridnog PVO sistema u odbrani od dronova kamikaza. Analiziran je način upotrebe, koji se ostvaruje uvidom u rezultat dejstva na cilj. Vatrena moć hibridnog PVO sistema analizirana je njegovim dejstvom raketama na daljinama od 3000 do 5000m a nakon toga PA topom po tačkaste ciljeve na daljinama manjim od 3000m. Dejstvo hibridnog PVO sistema raketama na tačkaste ciljeve analizirano je za dva slučaja i to, kada tačkasti cilj gađa sa jednom raketom i kad tačkasti cilj odjednom gađa sa dve rakete. Možemo zaključiti da ako se dronovima kamikazama želi uništiti ovakav sistem njihov broj bi trebao da bude veći od 5-6 u jednom naletu metodom rojenja sa različitih pravaca. Ako se razmatra dejstvo i način preživljavanja PVO sistema mora mu se obezbediti takav položaj u prostoru da može da uoči dronove na krajnjem dometu dejstva raketama i da po njima dejstvuje sa po dve rakete istovremeno, kao i da dejstvo topa krene na daljinama koje su za oko 10% veće od njegovog krajnjeg dometa, kako bi imao vremena da dejstvuje po više dronova kamikaza i tako izbegne uništenje. Analiza je izvršena upotrebom jednačina boja za model sa jednim učesnikom u sukobu čija se efikasnost meri autonomnom vatrom na više tačkastih ciljeve koji uzvraćaju direktnom vatrom.

LITERATURA

[1] Jović, Ž. (2017). Strategijski i legalni aspekti borbene upotrebe dronova u protiv terorističkim operacijama SAD, Vojno delo, 69(7), 468-480.

[2] Milinović, M., Petrović, D., Jeremić, O., Kovač, M. (2014). Discrete Deterministic Modeling Of Autonomous Missiles Salvos, Defence Science Journal. 64(5) 471-476.

[3] Przemieniecky, J.S. (2000). Mathematical methods in defense analyses, Third edition, AIAA, Education Series, Redston, Virginia, USA

[4] Priručnik RV i PVO (1980). Bograd SSNO.

[5] Petrović, D., Milinović, M., Kovač, M. & Jeremić, O. (2013). Determinističko modeliranje kvaliteta vatrene moći vazduhoplova naoružanog vbr lanserima nevođenih raketa. Simpozijum o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2013), Zlatibor, 718-723.

Rudarstvo, geologija i energetika

Mining, Geology, and Energetics

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

OPTIMIZACIJA FUNKCIONISANJA RUDARSKIH KOMPANIJA TOKOM COVID-19 PANDEMIJE

OPTIMIZATION OF THE FUNCTIONING OF MINING COMPANIES DURING THE COVID-19 PANDEMIC

DEJAN BOGDANOVIĆ[1], IVAN JOVANOVIĆ[1]

[1] Tehnički fakultet u Boru, Bor, dbogdanovic@tfbor.bg.ac.rs; ijovanovic@tfbor.bg.ac.rs

Rezime: *U radu je izvršena analiza rudarskih kompanija za vreme pandemije COVID-19 u cilju optimizacije njihovog funkcionisanja. Analiza obuhvata ekonomske i društvene aspekte kompanija, kao i izazove sa kojima se one suočavaju. Rezultati optimizacije daju sliku gde će rudarske kompanije biti pozicirane u narednom periodu, kao i kako da menadžeri kompanija na najbolji način prevaziđu društveno-ekonomske posledice prouzrokavane pandemijom COVID-19. Optimizacija je izvršena pomoću AHP metode, a u radu su razmatrane izabrane rudarske kompanije u Srbiji.*

Ključne reči: *Optimizacija, Rudarske Kompanije, COVID-19, AHP.*

Abstract: *The paper analyzes mining companies during the COVID-19 pandemic in order to optimize their functioning. The analysis covers the economic and social aspects of companies, as well as the challenges they face. The optimization results give a picture of where mining companies will be positioned in the coming period, as well as how company managers can best overcome the socio-economic consequences caused by the COVID-19 pandemic. The optimization was performed using the AHP method, and the paper discusses selected mining companies in Serbia.*

Keywords: *Optimization, Mining Companies, COVID-19, AHP.*

1. UVOD

COVID-19 pandemija je prouzrokovala „javnu zdrastvenu vanrednu situaciju na gobalnom nivou“ (PHEIC). Ova situacija je, pored uticaja na javno zdravlje, izazvala i veliki ekonomski, društveni i politički šok širom sveta. Na primer, pandemija je poremetila političke, ekonomske, finansijske i socijalne strukture širom sveta, ograničila je komunikaciju, trgovinu, pristup svim robama i gotovo je zaustavila turizam i usluge (Dellote 2020, Laing 2020, Hilson *et al.* 2021). Takođe, smanjila se potražnja i prodaja proizvoda i mnoge ekonomske aktivnosti su stale ili su se drastično smanjile, uključujući rudarstvo (Galas *et al.* 2021). Mnogi autori su vršili istraživanja uticaja posledica izazvane COVID-19 pandemije na poslovanje rudarskih kompanija. Jowitt (2020) je istraživao globalni nivo rudarstva i ukazao je na činjenicu da su većina zemalja zahtevala nesmetan nastavak rada kompanija, kao esencijalni deo svoje privrede. Međutim, takav pristup je u suprotnosti sa očiglednim smanjenjem svetske potražnje za metalima kao rezultat krize pandemijom COVID-19. Ova prekomerna ponuda je dovela do značajnog pada cena metala (osim zlata) i povećanja zaliha na svetskom nivou (Laing 2020). Ova situacija dodatno nepovoljno utiče na rudarske kompanije, gde je i ranije bio čest slučaj (pre pojave pandemije) da pojedine kompanije privremeno zaustavljaju proizvodnju do momenta kada se cene metala ne oporave.

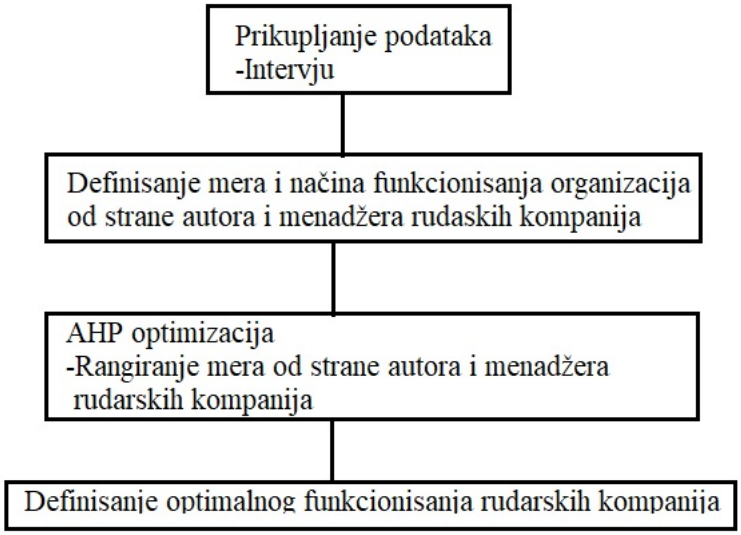
U ovako složenoj situaciji, rudarske kompanije su prinuđene da optimiziju način funkcionisanja kako bi uspešno mogle da prevaziđu trenutnu situaciju i kako bi nastavile sa razvojem i radom u budućem periodu. Pri tome, rudarske kompanije moraju da donesu odluke na osnovu sopstvene situacije, logističkih izazova i promena cena i potražnje metala, kao i zdravstvenu situaciju zaposlenih.

U ovom radu su analizirane izabrane rudarske kompanije iz Srbije u cilju optimizacije njihovog funkcionisanja u novim uslovima prouzrokovanih COVID-19 pandemijom. Analiza se bazira na intervjuima koje su autori obavili sa menadžerima datih kompanija, pri čemu su oni podelili svoja iskustva vezana za navedenu situaciju, kao i mere koje su preduzeli kako bi očuvali svoje poslovanje i one koje smatraju da su neophodne za njihov opstanak i dalji razvoj.

2. METODOLOGIJA RADA

Metodologija rada je definisana sa ciljem dobijanja relevantnih rezultata. COVID-19 pandemija je prouzrokovala značajne probleme, tako da su ovde razmatrane dimenzije uticaja pandemije na rad kompanija, kao i načine organizovanja istih u novonastaloj situaciji. Može se reći da su kompanije definisale optimalne načine rada i funkcionisanja, a u skladu sa uslovima koje trenutno vladaju.

Metodologija rada je definisana od strane autora i ona je jedinstvena. Na slici 1 je prikazana šema metodologija rada.



Slika 1: Šematski prikaz metodologije rada

Sa slike 1 se vidi da istraživanja počinju intervjuima sa menadžerima rudarskih kompanija. Pitanja su tako koncipirana da se dobijaju neophodni podaci o merama koje se trebaju primeniti sa ciljem optimalnog funkcionisanja kompanija.

Nakon intervjua, autori su, zajedno sa menadžerima kompanija, definisali konačnu listu mera koje se trebaju primeniti. Pri tome je neohodna primena većina mera, jer jedino tako se može doći do optimalnog rešenja funkcionisanja rudarskih kompanija.

Nakon toga, urađeno je rangiranje mera sa liste u cilju određivanja prioriteta njihove primene. Rangiranje mera je izvršeno pomoću AHP metode, pri čemu su ocene date metodom grupnog odlučivanja (autori i menadžeri rudarskih kompanija).

Nakon dobijanja rezultata rangiranja, vrši se definisanje optimalnog načina funkcionisanja rudarskih kompanija koje obuhvataju redosled definisanih mera koje se moraju primeniti na osnovu definisanog prioriteta.

3. AHP METODA

AHP je kvantitativna metoda koja polazi od razlaganja složenog problema odlučivanja u višedimenzionalnu hijerarhijsku strukturu ciljeva, kriterijuma i alternativa. AHP vrši procenu uticaja kriterijuma, upoređuje alternative u odnosu na svaki kriterijum i obavlja rangiranje alternativa (Saaty 1980).

U cilju procena relativnog uticaja svakog kriterijuma i poređenje alternativa u odnosu na kriterijume koristi se matrica poređenja. Pomoću odgovarajućih ocena se vrši proračun težinskih koeficijenata za svaki element hijerarhije i procena stepena konzistentnosti. Stepen konzistentnosti mora biti manji od 10% (0,1). Upoređenje kriterijuma i alternativa vrši se na bazi skale sa ocenama od 1 do 9 – tabela 1.

Tabela 1: Skala poređenja elemenata odlučivanja

Dominantnosti	
Opis	**Ocena**
Jednako	1
Slaba dominacija	3
Jaka dominacija	5
Vrlo jaka dominacija	7
Apsolutna dominacija	9
2, 4, 6, 8 su međuvrednosti	

Određivanje konačnog ranga alternativa vrši se sintezom rezultata koji su dobijeni na svim nivoima.

4. REZULTAT OPTIMIZACIJE

4.1. Prikupljanje podataka i definisanje mera i načina funkcionisanja rudarskih kompanija

Kao što je rečeno, istraživanja su se bazirala na rezultatima intervjua sa menadžerima rudarskih kompanija. Tom prilikom, menadžeri su predlagali mere, kao i način najboljeg funkcionisanja kompanija u uslovima COVID-19 pandemije. Na osnovu datog istraživanja, dobijena je lista neophodnih mera za promene koje zahteva novonastala situacija uslovljena pandemijom, a čijom primenom bi se obezbedilo optimalno funkcionisanje kompanija u datim uslovima.

Kada je dobijena prvobitna lista svih predloženih mera, izvršena je analiza datih mera i generisana je konačna lista koja sadrži suštinske mere za optimizaciju funkcionisanja rudarskih kompanija. Ova lista sadrži sledeće mere:

- Privremeno zatvaranje kompanije (M1). Ova mera podrazumeva zatvaranje kompanije u cilju sprečavanja širenja zaraze virusom među zaposlenima dok se ne steknu uslovi da se nastavi sa radom. Zaposleni bi bili poslati na plaćeno odsustvo, a radile bi samo oni delovi organizacije koji su neophodni (odvodnjavanje, provetravanje, održavanje i dr.). Ove mere su dobro poznate kod rudarskih kompanija jer se one primenjuju i kada dolazi do pada cene metala i nemetala, tako da je eksploatacija neisplativa, pa kompanija privremeno prekida sa proizvodnjom do momenta kada se cene ne oporave.
- Smanjenje obima poslovanja (M2). Ova mera je već primenjena u mnogim rudarskim kompanijama. Cilj je da se smanji proizvodnja, ali da sve operacije budu sačuvane i da budu u funkciji. Takođe, smanjeni obim proizvodnje je usaglašen sa postojećom potražnjom koja dolazi sa tržišta. Ova mera podrazumeva i smanjenje radne snage u kompaniji, tako da se deo zaposlenih šalje na odmor ili na plaćeno odsustvo. Neke kompanije gde se virus značajno raširio među zaposlenima, značajan procenat radnika je otišlo na bolovanje ili u izolaciju, tako da je to bio glavni uzrok smanjenja obima poslovanja.
- Nastavak rada bez smanjenja obima proizvodnje (M3). Ovo je mera koju su najčešće naveli menadžeri rudarskih kompanija. Iako je cilj da se radi istim intenzitetom, kao i pre pandemije, mali broj kompanija je uspelo u tome i to samo one koje su proizvodile one vrste rude i nemetala za kojim se nije smanjila potražnja sa tržišta, kao i one kompanije koje nisu imale veliki procenat zaraženih među zaposlenima.
- Primena mera za sprečavanje zaražavanja radnika (M4). Iako je država propisala neophodne mere za sprečavanje širenja virusa, rudarske kompanije su donele dodatne mere u cilju maksimalne zaštite zaposlenih. Te mere su posebno važne u rudnicima sa podzemnom eksploatacijom gde je opasnost najveća, jer je tu prostor ograničen, a za obavljanje pojedinih operacija je potrebno učešće većeg broja radnika. Menadžeri se slažu da je najvažnije dosledno primeniti propisane mere i stalno vršiti kontrole u tom smislu.
- Subvencije i pomoć vlade (M5). Menadžeri rudarskih kompanija su saglasni da su im od velike važnosti pomoć vlade. Ta pomoć može biti u obliku podsticaja, raznih olakšica (smanjenje poreza, odlaganja plaćanja poreza, davanje povoljnih kredita, itd.).
- Novi regulatorni okviri i ulaganja (M6). Ova mera predstavlja način pripreme za nastavak rada kompanija kada bude došlo do oporavka globalne ekonomije. Tada će rudarske aktivnosti polako rasti, ali neće moći odmah da se uspostavi uobičajeno poslovanje. Iz tog razloga, moraće se uspostaviti novi i stalni protokoli i uslovi rada, što će zahtevati nove regulatorne okvire i ulaganja.
- Odbrambene i zaštitne mere (M7). Rudarski sektor mora stvoriti odbrambene i zaštitne mere od neizbežnog ponavljanja sličnih događaja i poremećaja u budućnosti. Industrija treba da izgradi otpornost kako bi izolovala tržište rada i lance snabdevanja od budućih neželjenih sličnih događaja.

4.2. AHP optimizacija

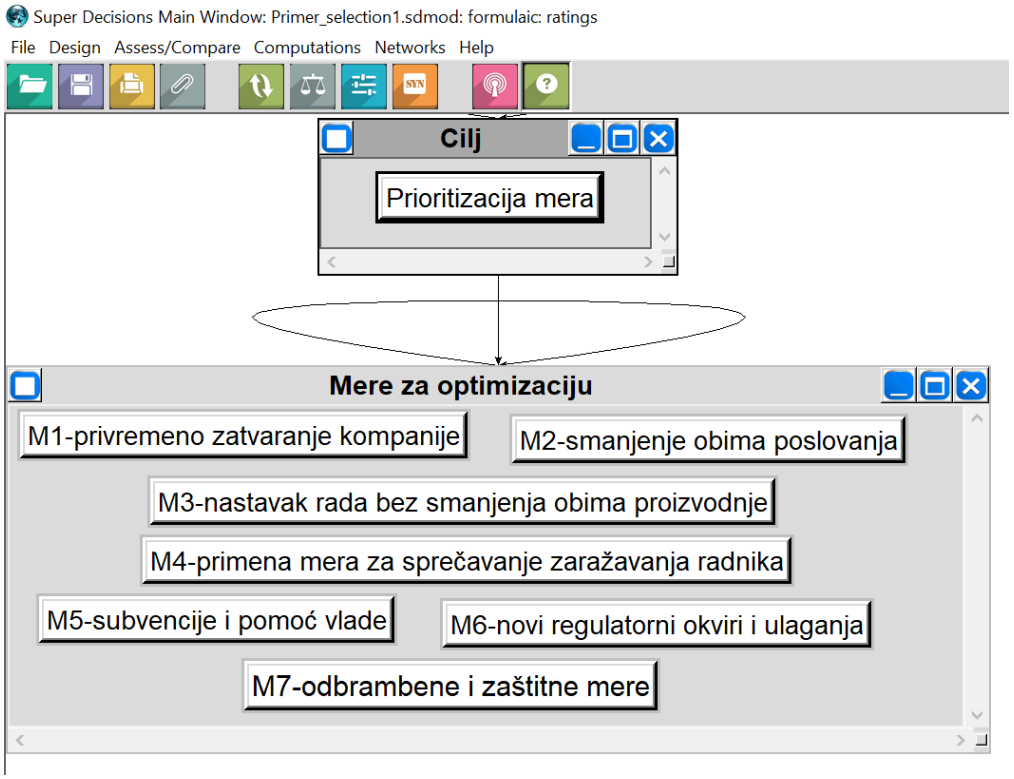
Nakon definisanja svih mera koje imaju za cilj uspostavljanje optimalnog funkcionisanja i rada rudarskih kompanija u uslovima COVID-19 pandemije, vrši se rangiranje datih mera. Cilj rangiranja je prioritizacija mera koje će omogućiti optimizaciju. Na taj način, određuje se redosled primene datih mera koje omogućavaju optimalno funkcionisanje rudarskih kompanija.

Rangiranje mera u cilju optimizacije je izvršeno od strane menadžera rudarskih kompanija i autora ovog rada. U tabeli 2 su prikazane ocene iz tabele 1 prilikom međusobnog upoređivanja definisanih mera u cilju optimizacije funkcionisanja rudarskih kompanija.

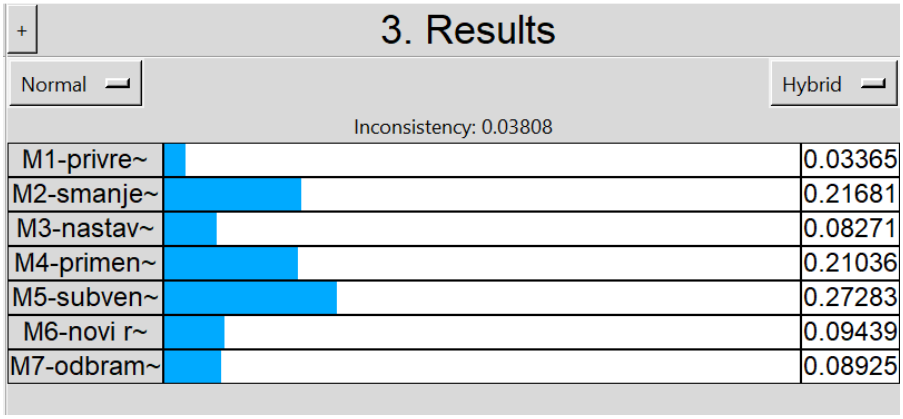
Tabela 2: Ocene poređenja mera za optimizaciju

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
M1	1	1/5	1/3	1/5	1/6	1/3	1/4
M2		1	2	1	1	3	3
M3			1	1/2	1/4	1	1/2
M4				1	1/2	3	4
M5					1	3	3
M6						1	2
M7							1

Nakon toga, pomoću softvera Super Decisions je dobijen rezultat rangiranja mera u cilju njihove prioritizacije. Prvo je izvršeno definisanje višedimenzionalne hijerarhijske strukture ciljeva i mera – slika 2, a onda su određeni težinski koeficijenti predloženih mera (rezultati su prikazani na slici 3).



Slika 2: Višedimenzionalne hijerarhijske strukture ciljeva i mera



Slika 3: Rezultati optimizacije

Stepen nekonzistentnosti iznosi 0,03808, što je manje od 0,1, tako da su rezultati pouzdani.

4.3. Definisanje načina optimalnog funkcionisanja rudarskih kompanija

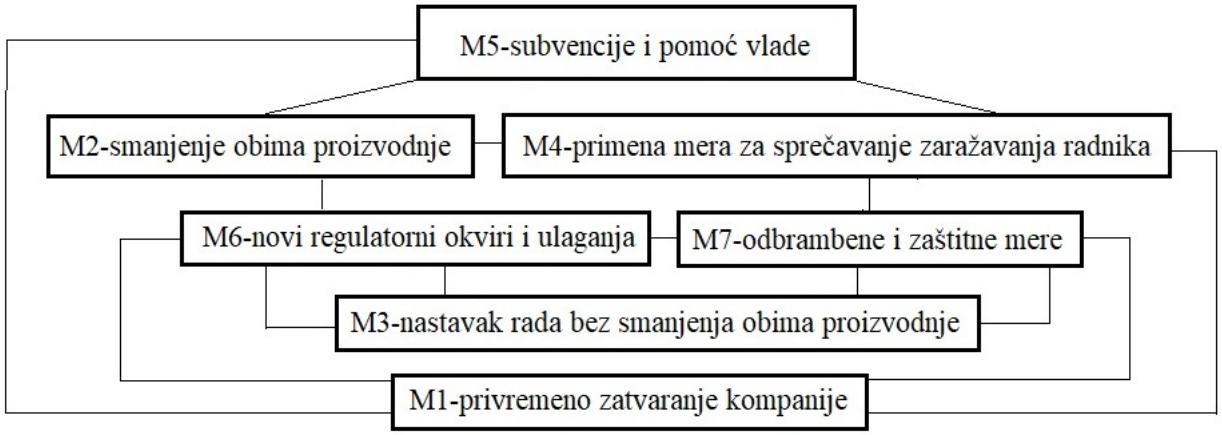
Dobijeni rezultati (tabela 3) se mogu posmatrati kao vodič ili smernice za kompanije kojim redosledom i prioritetom da primene definisane mere.

Rezultati pokazuju da je moguće mere podeliti u dve grupe sa aspekta prioriteta njihove primene. U prvu grupu spadaju mere M5 (Subvencije i pomoć vlade), M2 (Smanjenje obima poslovanja) i M4 (Primena mera za sprečavanje zaražavanja radnika). Njihovi težinski koeficijenti su slični. Generalno, ovo su mere koje imaju zadatak da očuvaju funkcionisanje organizacije, kao i zaštitu zaposlenih. Pri tome, na prvom mestu je mera M5-subvencije i pomoć vlade. To pokazuje da se menadžeri kompanija u uslovima pandemije najviše oslanjaju na pomoć i subvencije vlade. Razne olakšice koje vlada može da odobri može mnogo pomoći rudarskim kompanijama, naročito sa aspekta finansija i likvidnosti. Na drugom mestu je mera M2-smanjenje obima poslovanja. Ova mera ima za cilj prilagođavanje organizacije kriznoj situaciji koja polazi od smanjenja obima proizvodnje i radne snage, ali uz očuvanje neophodnih operacija, a sve zbog pada cena metala i nemetala i zbog manje potražnje sa tržišta, poremećenog lanca snabdevanja i drugih problema. Na trećem mestu je mera M4-primena mera za sprečavanje zaražavanja radnika. Ova mera ima zadatak očuvanja radne snage, jer ako dođe do odsustva velikog broja zaposlenih rudarske kompanije ne mogu da funkcionišu.

Tabela 3: Rezultat rangiranja sa težinskim koeficijentima

Red. br.	Predložene mere	Rezultat
1.	M5 (Subvencije i pomoć vlade)	0,27283
2.	M2 (Smanjenje obima poslovanja)	0,21681
3.	M4 (Primena mera za sprečavanje zaražavanja radnika)	0,21036
4.	M6 (Novi regulatorni okviri i ulaganja)	0,09439
5.	M7 (Odbrambene i zaštitne mere)	0,08925
6.	M3 (Nastavak rada bez smanjenja obima proizvodnje)	0,08271
7.	M1 (Privremeno zatvaranje kompanije)	0,03365

U drugu grupu spadaju mere M6 (Novi regulatorni okviri i ulaganja), M7 (Odbrambene i zaštitne mere), M3 (Nastavak rada bez smanjenja obima proizvodnje) i M1 (Privremeno zatvaranje kompanije). Ove mere imaju znatno manje težinske koeficijente u odnosu na mere iz prve grupe. Razlog je u tome jer se neke mere odnose na pripremu za nastavak rada kada se normalizuje situacija oko pandemije i kada porastu cene i potražnja za proizvodima rudarskih kompanija (mera M6). Takođe, tu su mere koje imaju za cilj da stvore strategije odbrane za buduće slične neželjene događaje (mera M7). Zadnje dve mere (M i M1) predstavljaju dve suprotne opcije. Nastavak rada bez smanjenja obima proizvodnje je bilo moguće samo u nekim kompanijama, a privremeno zatvaranje kompanije kao mera je bila u opticaju samo u slučaju ako takvu meru donese vlada. Na sreću, nijedna od razmatranih kompanija nije uvela ovu meru.



Slika 4: Šema optimalnog funkcionisanja rudarskih kompanija

Na osnovu rezultata rangiranja, na slici 4 je data šema optimalnog funkcionisanja rudarskih kompanija. Mere su poređane po važnosti. Kao što se vidi sa slike 4, na vrhu su mere M5 (subvencije i pomoć vlade),

zatim ispod su mere M2 (smanjenje obima proizvodnje) i M4 (mere za sprečavanje zaražavanja radnika). Ispod su mere M6 (definisanje novih regulatornih okvira) i M7 (stvaranju određene vrste zaštite od budućih sličnih događaja). Na dnu su mere M3 (nastavak rada bez smanjenja obima i proizvodnje) i M1 (privremeno zatvaranje kompanije). Ove zadnje dve mere predstavljaju alternative meri M2 (smanjenje obima proizvodnje). Linije koje spajaju ove mere ukazuje na potrebu njihove kombinacije prilikom primene, tako da, na primer, kompanije koje nisu smanjile proizvodnju ili su za privremeno zatvaranje takođe moraju da primene i druge mere (M4, M5, M6 i M7).

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu je primenjena AHP metoda za rangiranje neophodnih mera i optimizaciju funkcionisanja rudarskih kompanija za vreme COVID-19 pandemije. Razmatrane su sedam mera – M1 (Privremeno zatvaranje kompanije), M2 (Smanjenje obima poslovanja), M3 (Nastavak rada bez smanjenja obima proizvodnje), M4 (Primena mera za sprečavanje zaražavanja radnika), M5 (Subvencije i pomoć vlade), M6 (Novi regulatorni okviri i ulaganja) i M7 (Odbrambene i zaštitne mere).

Na osnovu dobijenih rezultata AHP metodom, mere na koje se najviše oslanjaju rudarske kompanije su M5 (Subvencije i pomoć vlade), M2 (Smanjenje obima poslovanja) i M4 (Primena mera za sprečavanje zaražavanja radnika).

Najmanje popularna mera je M1 (Privremeno zatvaranje kompanije), iako ovu meru do sada nije primenila nijedna razmatrana rudarska kompanija.

Rezultati rangiranja se mogu primeniti kao smernice za rudarske kompanije kojim redosledom i prioritetom da primene definisane mere.

ZAHVALNICA

Istraživanja predstavljena u ovom radu su urađena uz finansijsku podršku Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, u okviru finansiranja naučno istraživačkog rada na Univerzitetu u Beogradu, Tehničkom fakultetu u Boru, prema ugovoru sa evidencionim brojem 451-03-9/2021-14/ 200131.

LITERATURA

[1] Delloite. (2020). Understanding COVID-19's Impact on the Mining & Metals Sector. Guidance for Mining & Metals Executives COVID19: Mining Industry Impact and Response. Available online: https://www.flsmidth.com/en-gb/discover/mining-2020 /mining-industry-impact-and-response.

[2] Gałas´, A., Kot-Niewiadomska, A., Czerw, H., Simic´, V., Tost, M., Wårell, L. & Gałas´, S. (2021). Impact of Covid-19 on the Mining Sector and Raw Materials Security in Selected European Countries. Resources, 10, 39.

[3] Hilson, G., Van Bockstael, S., Sauerwein, T., Hilson, A. & McQuilken, J. (2021). Artisanal and small-scale mining, and COVID-19 in sub-Saharan Africa: A preliminary analysis. World Development, 139.

[4] Laing, T. (2020). The economic impact of the Coronavirus 2019 (Covid-2019): Implications for the mining industry. The Extractive Industries and Society, 7, 580–582.

[5] Saaty, T.L. (1980). The Analytical Hierarchy Process, New York: McGraw-Hill.

[6] Jowitt, S. M. (2020). COVID-19 and the Global Mining Industry, SEG Discovery, 122, 33–41.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

ANALIZA HIDROGEOLOŠKOG UTICAJA EKSPLOATACIJE OPEKARSKIH SIROVINA U LEŽIŠTU "SREDNJA STRANA" NA SPECIJALNI REZERVAT PRIRODE "SLANO KOPOVO" KOD NOVOG BEČEJA

ANALYSIS OF THE HYDROGEOLOGICAL IMPACT OF THE EXPLOITATION OF BRICK RAW MATERIALS IN THE "SREDNJA STRANA" DEPOSIT ON THE SPECIAL NATURE RESERVE "SLANO KOPOVO" NEAR NOVI BEČEJ

VLADAN ČANOVIĆ[1], VIOLETA ČOLAKOVIĆ[1], ŽELJKO PRAŠTALO[1], RADE ŠARAC[1]

[1] Rudarski institut d.o.o. Beograd, vladan.canovic@ribeograd.ac.rs

Rezime: *Budući površinski kop gline »Srednja strana« lociran je na paleomeandru reke Tise na lesnoj terasi, gde se mogu izdvojiti dve hidrogeološke sredine različitih hidrogeoloških karakteristika. Prvu sredinu izgrađuju nisko, srednje i visoko plastične gline žute, sive i plave boje male vodopropusnosti, dok se u njihovoj podini nalaze sitnozrni, srednjezrni i krupnozrni peskovi srednje vodopropusnosti. U blizini površinskog kopa nalazi se specijalni rezervat prirode „Slano kopovo" čiji hidrološki režim i prirodne vrednosti ne smeju biti narušeni eksploatacijom gline. Pre početka eksploatacije opekarskih sirovina na novom ležištu,bilo je neophodno utvrditi da li postoji potencijalni uticaj i hidrogeološka interakcija između planiranog zahvata površinskog kopa i zavodnjene depresije Specijalnog rezervata prirode. Za potrebe rešavanja kompleksnog hidrogeološkog problema urađen je hidrodinamički model ležišta opekarskih sirovina primenom softverskog paketa Groundwater Vistas.*

Ključne reči: *Ležište gline, odvodnjavanje, softver, površinski kop.*

Abstract: *Future clay open pit "Srednja strana" is located on the paleomeandar of river Tisa on the loess terrace where two hydrogeological environments can be distinguished with different hydrogeological characteristics. The first geological environment constitutes of low, medium and high plastic clays of yellow, gray and blue colors and low permeability. Underneath lays a second geological environment with fine-grained, medium-sized and large-grained sands of medium permeability. Special nature reserve "Slano Kopovo", located close by the clay open pit, must remain undisturbed and its hydrological regime and natural values should not be impaired by the clay exploitation. Prior to the commencement of the exploitation of brick raw materials at the new deposit, it was necessary to determine whether there was a potential impact and hydrogeological interaction between the planned surface mine intervention and the seduced depression of the Special Nature Reserve. For the purposes of solving a complex hydrogeological problem, a hydrodynamic model of brick raw material deposit was made using the Groundwater Vistas software package.*

Keywords: *Clay deposit, drainage, software, open pit mine.*

1. UVOD

Obezbeđenje dovoljnih količina kvalitetne mineralne sirovine za kontinuiran rad IGK „Polet" AD N. Bečej nametnulo je potrebu otvaranja novog površinskog kopa gline „Srednja strana", u čijoj blizini je Specijalni rezervat prirode „Slano Kopovo". Novi površinski kop „Srednja strana" je plitkog dubinskog tipa, pravilne prizmične geometrije sa uslovljenom kotom dna zbog zaštite od podzemnih voda iz podinskih peskova. Na definisanje geometrije površinskog kopa "Srednja strana" i podelu po vertikali na etaže, ključni uticaj imali su činioci: geološka građa ležišta, tehnološki kvalitet mineralne sirovine, strukturni odnos litoloških članova u radnoj sredini, prisustvo podzemnih voda, okružujuća ograničenja, fizičko - mehaničke karakteristike radne sredine i tehničko - tehnološki parametri otkopnih mašina. Tehnolgija eksploatacije obuhvata otkopavanje i utovar na površinskom kopu, transport i deponovanje mineralne sirovine u fabričkom krugu „Poleta" radi odležavanja i homogenizacije. Projektnim sagledavanjima i oslanjanjem na iskustva u eksploataciji glina na lokalitetima „Garajevac Istok" i „Garajevac Zapad", proisteklo koncepcijsko rešenje podrazumevalo je zahvat ležišta površinskim kopom po dubini do kote +71 m sa dve etaže, prva ili viša etaža 2 m visine, a

druga niža 5,5 m. Zahvat ležišta po dubini do kote +71 m, a ne do kote +70 m overenih rudnih rezervi, limitiran je potrebom izolacije podinske izdani ostavljanjem zaštitnog sloja gline debljine 1 m. Početna eksploatacija glina obavljala bi se na zemljištu u vlasništvu IGK „Polet“ AD površine 4,6 ha.

Jugozapadno od budućeg površinskog kopa gline „Srednja strana“ na udaljenosti od oko 750 m nalazi se SRP „Slano kopovo” površine 976,45 ha. Morfološki „Slano kopovo” je paleomeandar reke Tise, oblikom podseća na potkovicu, sa kracima okrenutim ka jugu. Sedimentacijom u periodu od miocena do levanta, kasnije rečnom erozijom, stvoreno je udubljenje blagih strana i širokog dna, koje se ispunilo vodom. Na sličan način nastale su brojne bare u Vojvodini, koje narod naziva „kopovi“, a ukoliko su im vode sa povećanim sadržajem soli i „slane“. Otuda naziv za ovu baru „Slano kopovo”, poznatu i kao „Veliko kopovo”. Uprkos delimičnom gubitku izvornih vrednosti „Slano kopovo” je oaza specifičnih biljnih zajednica i jedinstveno slano močvarno stanište ptica u Srbiji [3].

2. HIDRODINAMIČKI MODEL STRUJANJA PODZEMNIH VODA

Na osnovu podataka iz Studije hidrogeološkog uticaja eksploatacije opekarskih sirovina u ležištu „Srednja strana“ na SRP „Slano kopovo“, Akademije inženjerskih nauka Srbije i „Natural Mineral Waters“ d.o.o. iz 2016. i merenja obavljenih tokom 2017 - 2021. izrađen je hidrodinamički model područja površinskog kopa „Srednja strana“.

Koncepcija izrade hidrodinamičkog modela predmetnog područja zasniva se na simulaciji trodimenzionalnog strujanja podzemnih voda. U izradi ovog modela izvršena je interpretacija ulaznih podataka, šematizacija porozne sredine, strujnog polja i uslova strujanja i formiranje i etaloniranje modela.

Za izbor koncepcije modela posmatranog područja, od odlučujućeg značaja su bili prirodni činioci, kao što su tip i karakteristike zastupljenih geoloških članova, rasprostranjenje vodonosnih slojeva, filtracione karakteristike porozne sredine, uslovi, mehanizam i režim strujanja podzemnih voda, kao i željeni cilj u okviru postavljenog zadatka. Pri izboru osnovnih karakteristika modela pristupilo se izradi višeslojevitog modela, sa mogućnošću automatske promene strujnog polja, zavisno od uslova strujanja.

Hidrodinamički model područja PK „Srednja strana“ je koncipiran sa dva sloja, posmatrano u vertikalnom profilu. Svaki od ovih slojeva odgovara određenom realnom sloju, šematizovanom i izdvojenom na osnovu poznavanja terena i rezultata sprovedenih analiza terenskih istražnih radova. Posmatrano od površine terena, odgovarajući slojevi modela i terena su prikazani u tabeli 1.

Tabela 1: Odgovarajući slojevi modela i terena

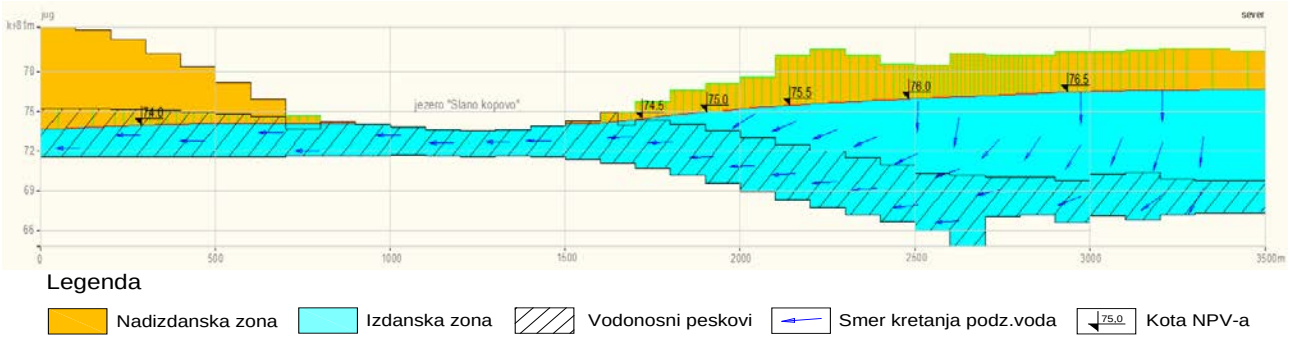
Modelski sloj	**Litološki članovi**	**Kota podine slojeva**
Prvi sloj	Slabo zaglinjeni pesak, zaglinjene prašine, peskovita glina	min = + 67,6 m max = + 75,6 m
Drugi sloj	Sitnozrni i prašinasti pesak	min = + 60,4 m max = + 73,1 m

Realna geometrija vodonosnih slojeva na modelu je predstavljena (simulirana) u skladu sa njihovim realnim rasprostranjenjima, kako u planu, tako i u profilu. „Geometrizacija“ kontura izdvojenih litoloških slojeva i njihovo prenošenje u koordinatni sistem modela, izvršena je na osnovu raspoloživih podataka o litološkim stubovima dobijenih prilikom istražnog bušenja za izradu „Elaborata o rezervama“ i pijezometara raspoređenih na području oko močvare „Slano kopovo“.

Osnovne dimenzije matrice, kojom je obuhvaćen posmatrani teren su 1.700 m x 3.500 m, što obuhvata prostor od 5,95 km^2. Diskretizacija strujnog polja u planu je izvedena sa osnovnom veličinom ćelija 100 m x 100 m, koja je u zoni između površinskog kopa „Srednja strana“ i močvare „Slano kopovo“ (centralni deo modelskog prostora) pogušćena mrežom kvadrata dimenzija 50 m x 50 m. Teren obuhvaćen modelom je izdeljen mrežom kvadrata i pravougaonika dimenzija 66 reda x 30 kolona i sastoji se od 1.980 aktivnih modelskih ćelija [1].

Filtracione karakteristike šematizovanih modelskih slojeva su zadavane preko vrednosti koeficijenata filtracije i specifične izdašnosti izdani. Navedeni parametri porozne sredine su zadavani kao reprezentativne vrednosti u svakoj ćeliji diskretizacije. Svaki modelski sloj je tretiran kao homogen i izotropan. Koeficijenti filtracije su određeni na osnovi granulometrijskih krivih dobijenih iz uzoraka uzetih iz istražnih bušotina primenom metode USBR – a. Intervali korišćenja koeficijenata filtracije po slojevima su za prvi modelski sloj (slabo zaglinjeni pesak, zaglinjena prašina, peskovita glina, lesoidna glina) K = 7,9 x 10^{-6} m/s – 5,7 x 10^{-9} m/s, drugi modelski sloj (sitnozrni i prašinasti pesak) K = 8 x 10^{-4} m/s – 4,5 x 10^{-7} m/s [2]. Kalibracijom hidrodinamičkog modela u stacionarnim uslovima strujanja dobijene su vrednosti koeficijenta filtracije za prvi modelski sloj K_1 = 8 x 10^{-7} m/s i za drugi modelski sloj K_2 = 4,3 x 10^{-4} m/s [1]. Profil po modelu pravca

pružanja sever – jug sa različitim zonama koeficijenata filtracije i prikazom nivoa i pravca kretanja podzemnih voda pre otvaranja kopa u prirodnim neporemećenim uslovima sredine prikazan je na slici 1.



Slika 1: Prikaz nivoa i pravca kretanja podzemnih voda pre otvaranja kopa, profil po modelu pravca pružanja sever – jug sa različitim zonama koeficijenata filtracije

3. PRILIV PODZEMNIH VODA U PK „SREDNJA STRANA“

Proračun dotoka podzemnih voda u površinski kop „Srednja strana“ i močvaru „Slano kopovo“ urađen je na osnovu hidrodinamičkog modela. Kao polazni parametar u hidrodinamičkom proračunu usvojena je projektovana vrednost dna kopa na koti +71 m kao erozioni bazis modelskog prostora. Hidrodinamički model je kalibrisan na osnovu podataka osmatranja NPV – a, koja su vršena u konrinuitetu na mreži pijezometara na prostoru močvare„Slanog kopova“ i PK „Srednje strane“ od aprila 2015. do aprila 2016.

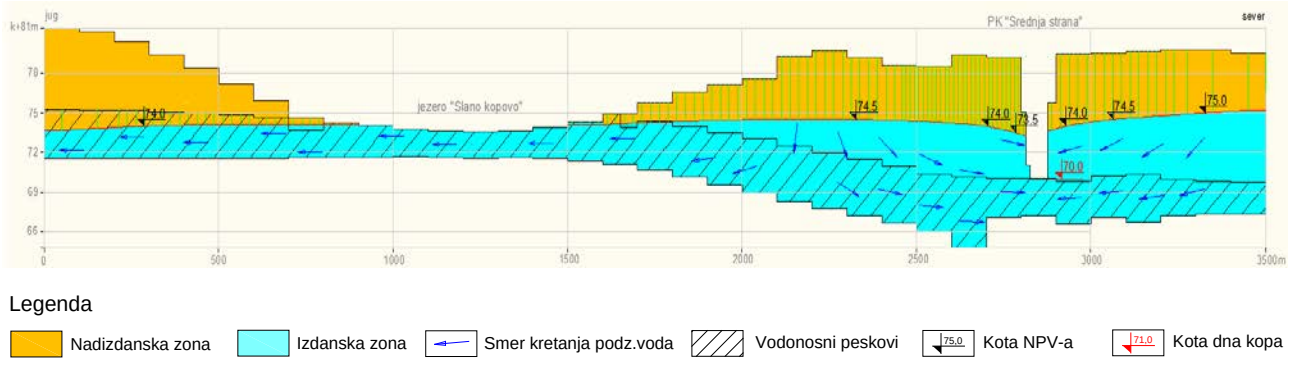
Proračun dotoka podzemnih voda u površinski kop urađen je za dve projektovane situacije u uslovima stacionarnog režima tečenja. Prva situacija prikazuje dinamiku priliva podzemnih voda u slučaju odsustva zaštitnog sloja na dnu kopa dok druga situacija prikazuje dinamiku priliva podzemnih voda u slučaju postojanja zaštitnog sloja gline na dnu kopa debljine 1 m.

Prilivi podzemnih voda u površinski kop po godinama eksploatacije za obe projektovane situacije prikazani su u tabeli 2.

Tabela 2: Prilivi podzemnih voda u PK „Srednja strana“

Projektovana situacija	**Godina eksploatacije – q_p (l/s)**						
	I	II	III	IV	V	X	Sr.vredn.
Bez zaš.sloja	5,17	7,10	8,94	10,11	11,52	13,85	9,44
Sa zaš.slojem	0,19	0,27	0,41	0,52	0,69	1,10	0,53

Na osnovu podataka prikazanih u tabeli 2 može se zaključiti da se u slučaju otkopavanja gline bez zaštitnog sloja na dnu kopa za projektovani vremenski period od deset godina mogu očekivati značajniji prilivi podzemnih voda pre svega iz podinskih vodonosnih peskova. Isticanje podzemnih voda u kop dovodi do formiranja i širenja depresije čiji uticaj se već na kraju prve godine eksploatacije može primetiti u zoni močvare „Slano kopovo“ (slika 2).

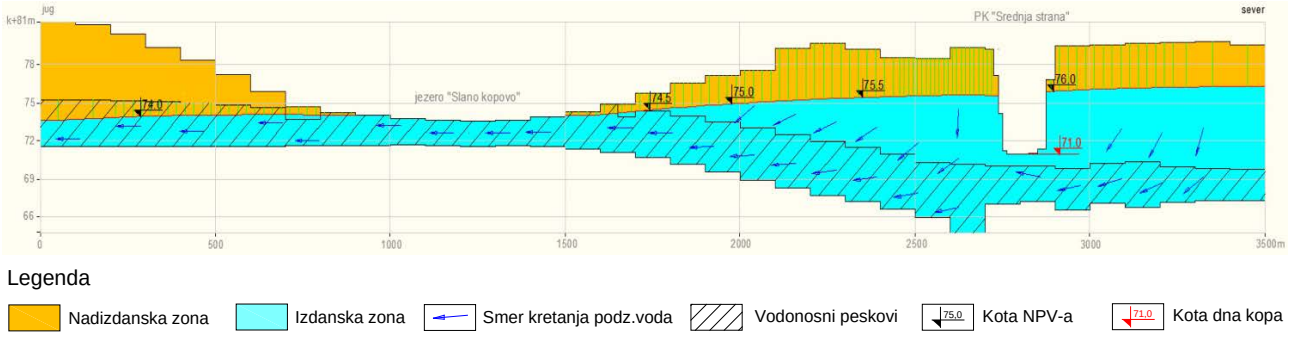


Slika 2: Prikaz nivoa i pravca kretanja podzemnih voda za slučaj bez zaštitnog sloja gline na dnu kopa na kraju prve godine eksploatacije

U slučaju kada se na dnu kopa ostavi sloj gline debljine 1 m, na osnovu podataka prikazanih u tabeli 2 može se zaključiti da dolazi do drastičnog smanjenja priliva podzemnih voda pre svega iz podinskih

vodonosnih peskova. Priliv podzemnih voda u kop je smanjen skoro 18 puta u odnosu na situaciju bez zaštitnog sloja. Minimalno isticanje podzemnih voda formira depresiju ugraničenu samo na usko područje oko projektovane konture kopa i ne širi se prema močvari „Slano kopovo“ za svih deset godina eksploatacije (slika 3). Na taj način održava se u najvećoj meri prirodan režim nivoa podzemnih voda u zoni močvare „Slano kopovo“ i minimalno se remete prirodni uslovi sredine. Takođe zaštitni sloj gline spečava migraciju bilo kakvih zagađivača iz površinskog kopa u izdansku zonu.

Upoređivanjem pijezoemtarskih podatak prikazanih na slikama 1 i 3 može se zaključiti da se u slučaju ostavljanja zaštitnog sloja slabopropusne gline na dnu kopa prirodni režim podzemnih voda remeti u malom obimu.



Slika 3: Prikaz nivoa i pravca kretanja podzemnih voda za slučaj sa zaštitnim slojem gline na dnu kopa na kraju desete godine eksploatacije

4. BILANS VODA NA ISTRAŽIVANOM PODRUČJU

Područje na kome se planira otvaranje površinskog kopa gline „Srednja strana“ spada u grupu ravničarskih terena na kojem se obavlja intenzivna poljoprivredna proizvodnja i gde ne postoji opasanost od priliva površinskih voda u kop sa okolnog slivnog područja. Kao priliv površinskih voda u kop uzete su u razmatranje samo padavine koje se direktno izluče na otvorenu konturu kopa po godinama eksploatacije. Treba naglasiti da je najviša radna kota na površinskom kopu gline „Srednja strana“ na hipsometrijski višem položaju (+ 79,8 m) u odnosu na močvaru „Slano kopovo“ (+ 75,2 m) koja predstavlja prirodni erozioni bazis za celo posmatrano područje. Za nadoknadu deficita u dotoku podzemnih voda u močvaru „Slano kopovo“ predlaže se prepumpavanje vode iz površinskog kopa „Srednja strana“. Pre upuštanja vode iz kopa u jezero ista mora proći kroz odgovarajući taložnik i biti bakteriološki i hemijski ispravna. Iz tabele 3 se može videti da vode akumulirane u PK „Srednja strana“ mogu eliminisati deficit doticaja podzemnih voda u močvaru „Slano kopovo“ u sva tri slučaja minimalnih (268,6 mm), srednjih (580 mm) i maksimalnih (924,6 mm) godišnjih padavina. U slučaju srednjih i maksimalnih godišnjih padavina iz kopa u jezero se mogu prepumpavati značajno veće količine voda od potrebnih za „pokrivanje“ deficita.

Tabela 3: Uporedna analiza bilansa voda

Količina akumulirane vode na dnu PK „Srednja strana“ (m^3)						
Godina	I	II	III	IV	V	X
Min.padav	5.245	6.576	8.747	11.396	14.577	24.871
Sr.padavin	6.418	10.821	14.437	18.521	23.207	39.898
Max.pada	9.699	15.966	21.441	27.386	33.983	58.205
Smanjenje doticaja podzemnih voda u močvaru „Slano kopovo“						
V (m^3)	2.897	6.366	8.573	11.096	14.565	22.449

5. ZAKLJUČAK

Na lokaciji ležišta gline “Slano kopovo” u vodonosnom sloju registrovan je vodeni stub ~ 4m iznad projektovane kote dna +71m površinskog kopa. Imajući u vidu hidrauličku vezu podzemnih i površinskih voda, hipsometrijski položaj konture istraženog dela ležišta „Srednja strana“ (+ 78,5 m - + 79,5 m) i „Slanog kopova“ (+ 74,8 m), zaključak je da će površinska eksploatcija opekarsko - keramičkih mineralnih sirovina ležišta „Srednja strana“, ukoliko se ne primeni adekvatno rešenje odvodnjavanja površinskog kopa, uticati na „Slano kopovo” smanjivanjem dotoka vode i spuštanjem erozionog bazisa. Da bi se sprečili navedeni

negativni efekti po režim podzemnih voda u zoni “Slanog kopova” predviđeno je ostavljanje zaštitnog sloja gline na dnu PK “Srednja strana” debljine 1m kao hidrogeološkog izolatora.

Hidrodinamička modelska ispitivanja predmetnog prostora pokazala su da se u slučaju postojanja zaštitnog sloja gline prilivi podzemnih voda u kop značajno smanjuju, formira se depresija ugraničena samo na usko područje oko projektovane konture kopa i ne širi se prema močvari „Slano kopovo“ za svih deset projektovanih godina eksploatacije. Na taj način održava se u najvećoj meri prirodan režim nivoa podzemnih voda u zoni močvare „Slano kopovo“ i minimalno se remete prirodni uslovi sredine.

Za nadoknadu minimalnog smanjenja u dotoku podzemnih voda u močvaru „Slano kopovo“ predlaže se prepumpavanje vode iz površinskog kopa „Srednja strana“. Pre upuštanja vode iz kopa u močvaru ista mora proći kroz odgovarajući taložnik i biti bakteriološki i hemijski ispravna. Proračun bilansa akumuliranih voda na PK „Srednja strana“ za slučaj minimalnih godišnjih padavina pokazuje da mogu eliminisati deficit u dotoku podzemnih voda u močvaru „Slano kopovo“.

LITERATURA

[1] Čanović, V., Čolaković, V. (2018). GRP površinske eksploatacije ležišta gline „Srednja strana. Knjiga 2: Tehnički projekat odvodnjavanja PK Srednja strana. Rudarski institut, Beograd, 47.

[2] Santrač, P., Bajić, Ž. (2003). Geomehanički elaborat. Univerzitet u Novom Sadu. Građevinski fakultet Subotica,14.

[3] Vujić, S., Matić, I. (2014). Studija hidrogeološkog uticaja eksploatacije opekarskih sirovina u ležištu Srednja strana na specijalni rezervat prirode Slano Kopovo. Akademija inženjerskih nauka Srbije nauka i Natural mineral waters d.o.o. Beograd, 72.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

KLIZIŠTA NA UNUTRAŠNJIM ODLAGALIŠTIMA POVRŠINSKIH KOPOVA LIGNITA

LANDSLIDES ON INTERNAL TAILINGS DUMP OF OPEN PIT LIGNITE MINES

BRANKA JOVANOVIĆ[1], DRAGAN MILOŠEVIĆ[1], ŽELJKO PRAŠTALO[1], RADE ŠARAC[1]

[1] Rudarski institut, Beograd, povrsinska@ribeograd.ac.rs

Rezime: *Tema ovog članka jesu uzroci nestabilnosti na unutrašnjim odlagalištima površinskih kopova lignita na primeru nekoliko evropskih površinskih kopova lignita i površinskog kopa Polje C kolubarskog basena.*

Ključne reči: *Klizište, Unutrašnje odlagalište, Površinski kop.*

Abstract: *The topic of this article is the causes of instability in internal tailings dums of opencast lignite mines on the examples of several European opencast mines and the opencast mine Field C of the Kolubara basin.*

Keywords: *Landslide, Internal tailings dump, Opencast lignite mine*

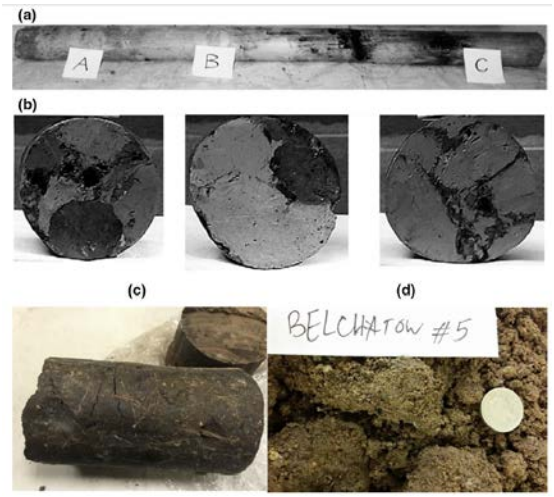
1. UNUTRAŠNJA ODLAGALIŠTA I KLIZIŠTA

Površinsku eksploataciju lignita prati otkopavanje jalovine (najčešće glina, pesak i šljunak i njihovi varijeteti) iznad ugljene serije, između ugljenih slojeva i unutar ugljenih slojeva. U početnoj fazi rada površinskog kopa jalovina se odlaže izvan uže zone otkopavanja, na tzv. spoljašnja odlagališta. Napredovanjem radova na otkopavanju uglja, oslobađa se određena površina po dnu kopa koja se zapunjava jalovinom i na taj način se formira unutrašnje odlagalište.

Pri otkopavanju, transportu i odlaganju pratećih, jalovinskih materijala dolazi do njihovog mešanja, usitnjavanja i rastresanja.

Heterogenost materijala u vertikalnoj i horizontalnoj ravni prikazana je na uzorcima materijala uzetih sa odlagališta nekoliko evropskih površinskih kopova lignita (slika 1) i sa površinskog kopa Polje C kolubarskog basena, Srbija (slika 2).

U skladu sa heterogenošću odloženog jalovinskog materijala, odlagalište karakteriše i izražena varijabilnost geomehaničkih parametara (zapreminska masa, kohezija, ugao unutrašnjeg trenja, modul elastičnosti, modul stišljivosti, vodopropustljivost i dr.).





a) i b) kop Turów (Poljska)
c) kop Vrsany (Češka)
d) kop Bełchatów (Poljska)
e) kop South Field, odlagalište Soulou (Grčka)

Slika 1: Uzorci uzeti sa odlagališta evropskih površinskih kopova lignita [4]




Slika 2: Uzorci (iz 2 bušotine) sa unutrašnjeg odlagališta površinskog kopa Polje C, kolubarski basen [6]

Prema geomehaničkoj definiciji [2], uslov stabilnosti odlagališta jeste ravnoteža spoljnjih sila (težina odloženog materijala i dodatno opterećenje, npr. rudarske mašine) i unutrašnjeg otpora odloženog materijala. Pri konstantnoj količini odložene jalovine i nepromenjenom položaju rudarskih mašina, poremećaj ravnoteže i klizanje materijala nastaje usled smanjenja unutrašnjeg otpora materijala u odlagalištu. Elementi unutrašnjeg otpora odloženih masa jalovine, kohezija i ugao unutrašnjeg trenja, promenljivi su i zavise od količine vode u odlagalištu.

Tabela 1: Pregled geomehaničkih parametara materijala na odlagalištima površinskih kopova lignita

Lokacija	Kohezija (kPa)	Ugao unutrašnjeg trenja (°)	Hidraulična provodljivost (mm/h)
Soulou odlagalište, Southfield Mine, Grčka	0 - 72	8 - 39	3,6
Turów, Poljska	24 -53	14 - 21	-
Eskihisar, Turska	0 – 24	24 – 40	3,02 – 3,13
Central pit, Turska	17,5	30,5	-
Površinski kop Polje C, kolubarski basen, Srbija	0-55	7-34	

Pored uticaja vode, kao glavnog destabilizujućeg faktora, dodatni negativni uticaj na stabilnost odlagališta vrši nehomogenost odloženog materijala, naizmenični položaj propustljivog i nepropustljivog materijala, nagib slojeva i sočiva u pravcu slobodnog prostora, dejstvo mraza, pukotine u glinovitim materijalima, vodonepropusna podloga odlagališta i dr.

Tabela 2: Pregled klizišta na odlagalištima površinskih kopova lignita [4]

lokacija	visina odlaganja (m)	karakteristike klizišta					
		tip, dimenzije (m)	zapremina klizišta (10^6 m^3)	pomeranja masa (m/dan)	ukupno klizanje (m)	uzrok klizišta	ublažavajuća mera
Turów Mine, Poland	70	Klizište sa širenjem 1300x750	6	> 25	92-170	Infiltracija vode, niska čvrstoća glinene jalovine	343m potporni nasip, drenažne bušotine
South Field Mine, Greece	100-110	Klizište, 1100x550	40	>40-50	400-500	Povećanje pritiska vode (~1 Mpa) u podlozi usled sezonskih kolebanja	1500m potporni nasip
Central pit, Turkey	40-115	Klizište velikih razmera	20	nije objavljeno	600	Povećanje pritiska vode u telu odlagališta nakon obilnih kiša	nije objavljeno
Eskihisar Mine, Turkey	15-90	Više klizišta, sa širenjem	nije objavljeno	nije objavljeno	15-25	Smanjenje čvrstoće nakon perioda obilnih kiša	nije objavljeno
Površinski kop Polje C, kolubara, Srbija	15-40	Veliko klizište sa tecištem 2000x800	25	nije objavljeno	500	Infiltracija vode, vodonepropusna podloga pod nagibom	Projektovan potporni nasip i novi drenažni sistem

2. POVRŠINSKI KOP “CENTRAL“, TURSKA [5]

U centralnoj Anatoliji u Turskoj proizvodnja lignita se obavlja na dva kopa: Central Pit i South Pit (Centralni i Južni kop). Sa godišnjom proizvodnjom lignita od 3,8 miliona tona ova dva kopa snabdevaju termoelektranu kapaciteta 300 MW.

Na Centralnom kopu jalovina (otkrivka i međuslojna) se otkopava bagerima dreglajnima (tip Marion 8050 sa 99 m strelom i kašikom od 50 m³) i prebacuje u unutrašnje odlagalište (slika 3).

Pre klizanja, visina unutrašnjeg odlagališta ”Central” kopa“ bila je od 40-115 m, sa generalnim nagibom odlagališta od 12°.

U junu 2001. godine došlo je do pojave klizišta na unutrašnjem odlagalištu. Izmerena dužina klizanja iznosila je oko 600 m. Klizište je obuhvatio 20 miliona m³ jalovine a pokrivena je površina od oko 0,3 km².



a) b)

Slika 3: a) Izgled površinskog kopa “Central“ b) klizište na unutrašnjem odlagalištu

Osnovne karakteristike klizišta bile su:

- u periodu neposredno pred klizanje masa na odlagalištu zabeležene su velike količine padavina;
- klizište je okarakterisano kao kombinovano: u gornjem delu kružna klizna ravan, u donjem delu klizna ravan je bila kontakt odložene jalovine sa glinom iz podine otkopanog uglja;
- na osnovu istražnih bušotina, nakon klizanja masa, zaključeno je da je voda, infiltrirana od padavina i podzemnih voda, zadržana unutar materijala u odlagalištu;
- dominantna veličina zrna u materijalima bila je veličine mulja;
- izmeren je relativno visok sadržaj vlage u odloženim jalovim materijalima, 30,7-49,7%;
- zaključeno je da je kretanje materijala u odlagalištu inicirano omekšavanjem materijala osetljivog na vlagu u bazi odlagališta i njegovim raspadanjem usled pokreta poravnavanja i sabijanja;
- klizanje je omogućeno i nagibom podloge unutrašnjeg odlagališta.

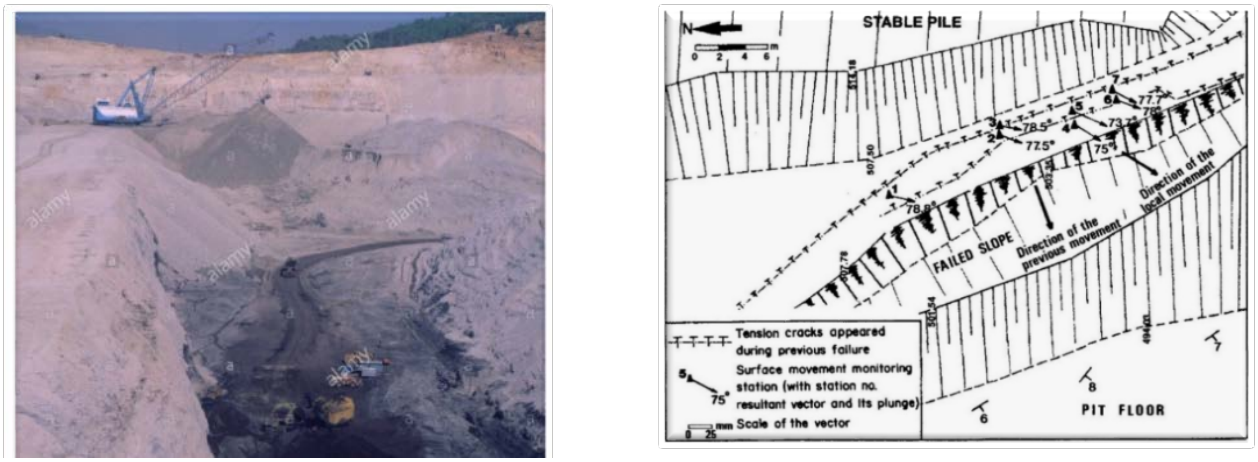
3. POVRŠINSKI KOP “ESKIHISAR“, TURSKA [1]

Površinski kop uglja “Eskihisar**“** lociran je na na jugozapadu Turske i zajedno sa još dva površinska kopa snabdeva termoelektranu “Yatagan Termal Power Station“ 3x210 MW. Klizišta su prateća pojava odlaganja na unutrašnjem i spoljašnjem odlagalištu.

Godišnja proizvodnja uglja iznosi 3,5 miliona tona, otkrivka se otkopava sa koeficijentom otkrivke 4,1 m³/t uglja.

Ugalj se otkopava sa dva hidraulična bagera sa kašikom od 7,6 m³ i transportuje kamionima do termoelektrane. Otkrivka moćnosti 20-25 m otkopava se bagerom dreglajnom, tipa Merion i prebacuje u otkopani prostor, odnosno unutrašnje odlagalište.

Kao neposredni uzrok klizišta na unutrašnjem odlagalištu površinskog kopa uglja Eskihisar identifikovana je infiltrirana voda u telu odlagališta. Voda je prouzrokovala na materijalima u kontaktnoj zoni smanjenje kohezije i ugla unutrašnjeg trenja (0-16°). Donji deo klizne ravni pratio je ravan kontakta odlagališta i podloge a gornji deo klizne ravni bio je pod nagibom 65-70°.



Slika 4: a) Izgled kopa i unutrašnjeg odlagališta
b) Nestabilnosti (maj 1993.) na unutrašnjem odlagalištu površinskog kopa Eskihisar

Radi izbora korektivne mera za stabilizaciju odlagališta izvršene su analize osetljivosti u laboratorijskim uslovima.

- Kao najefikasnija korektivna mera stabilizacije odlagališta procenjena je metoda postavljanja sloja drobljenog kamena h=1,5-2 m u podlogu odlagališta. Na taj način, obezbedila bi se prihvatljiva vrednost faktora stabilnosti 1,3 u uslovima odlaganja do 50 m, visine vodenog stuba od 5 m i sa nagibom podloge od 9°. Dodatni pozitivni efekti postigli bi se ugradnjom drenažnih cevi u sloju kamenog agregata u podlozi odlagališta.

- Metoda dodatnog odlaganja u podnožju odlagališta, u funkciji podupiranja kritične regije odlagališta, procenjena je kao manje efikasna u odnosu na prethodnu metodu.

- Metoda promene geometrije odlagališta najmanje je efikasna metoda jer je utvrđeno da je stabilnost odlagališta vrlo osetljiva na povećanje vlage i nagiba podloge odlagališta. Metoda povećanja stabilnosti promenom geometrije odlagališta efikasna je za uslove adekvatne drenaže tela odlagališta.

4. POVRŠINSKI KOP "SOUTH FIELD", GRČKA [3]

Na površinskom kopu "South Field", na površini od 24 km^2, kontinualnom mehanizacijom vrši se eksploatacija lignita u 5 jalovinskih i 5 ugljenih etaža. Prosečan koeficijent otkrivke iznosi 3,9:1 (m^3/t). Godišnja proizvodnja lignita iznosi od 18 miliona do 22 miliona tona i jalovine više od 100 miliona m^3. Visina odlagališta iznosi 110 m, sa prosečnim nagibom od oko 4%.

Aprila 2004. na odlagalištu je kliznulo 40 miliona m^3 jalovine. Debljina pokrenute mase iznosila je između 30 i 90 m dok je udaljenost između stope i krune klizišta iznosila 1.100 m i širine oko 550 m.

Izgrađena je prva privremena brana, na udaljenosti 300 m od prvobitnog vrha kosine odlagališta, sa zadatkom da uspori napredovanje klizišta do izgradnje druge brane odgovarajućih karakteristika.

Druga brana trapeznog preseka je imala dužinu od 1.500 m i širinu na vrhu 40 m, maksimalnu širinu na dnu 200 m. Prosečan nagib je bio 25° a ukupna zapremina ugrađenog materijala 2,7 miliona m^3. Troškovi izgradnje zemljane brane iznosili su 3,7 miliona eura. Izgradnjom druge brane stabilizovano je odlagalište.



a) b) c)

Slika 5: a) Izgled klizišta na odlagalištu b) Vrh klizišta na odlagalištu; c) Stabilizujući nasip

5. POVRŠINSKI KOP "POLJE C", KOLUBARSKI UGLJENI BASEN, SRBIJA

Na 60 km jugozapadno od Beograda, u kolubarskom ugljenom basenu trenutno je aktivno 5 površinskih kopova sa ukupnom godišnjom proizvodnjom od oko 30 miliona tona lignita i oko 70 miliona m^3 jalovine. Sagorevanjem ovog uglja u termoelektranama proizvodi se oko 50% električne energije u Srbiji.

Prema usvojenoj koncepciji, jalovina sa aktivnih kopova odlaže se u prostore kopova sa završenom eksploatacijom.

Aktivan površinski kop Polje C lociran je u istočnom delu kolubarskog basena u kojem je podina glavnog sloja uglja u nagibu (1-3°) prema zapadu i u pravcu napredovanja eksploatacije lignita i odlaganja jalovine. Podinu glavnog ugljenog sloja i podlogu unutrašnjih odlagališta u ovom delu basena čine vodonepropusne gline.

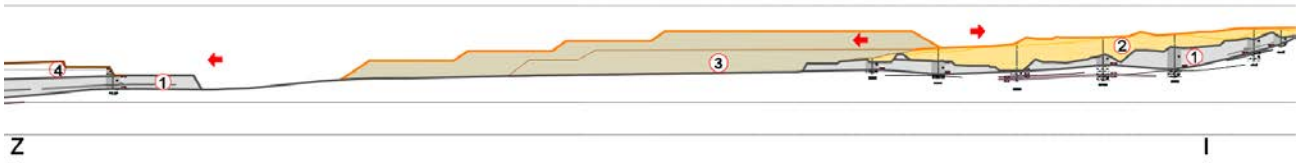
Jalovina otkopana na površinskom kopu Polje C (80% peskovite gline i 20% zaglinjeni šljunkovi, peskovi i kvartarne gline) odlaže se u prostor sa završenom eksploatacijom, sa visinom odlaganja 40 m na istočnoj, 30-35 m u središnjoj i 10-15 m na zapadnoj strani, ka zoni eksploatacije uglja.

Godine 2006., usled velike ovodnjenosti, došlo je do masovnog klizanja jalovinskih masa na unutrašnjem odlagalištu. Zona klizanja bila je široka oko 800 m i duga 2000 m. Otkriveni ugljeni blok bio je prekriven slojem jalovine debljine od 10-35 m. Velike poplave 2014. godine doprinele su daljoj destabilizaciji odlagališta i klizanju odložene jalovine.



Slika 6: Snimak (sa severne strane) unutrašnjeg odlagališta Polja C

Rudarski institut iz Beograda izradio je Studiju sa predlogom dreniranja i stabilizacije postojećeg unutrašnjeg odlagališta površinskog kopa Polje C (sl.7) i koncepcije stvaranja novog unutrašnjeg odlagališta sa drenažnim rovovima u podlozi odlagališta.



Slika 7: Geološki profil zapad-istok površinskog kopa Polje C, sa predlogom stabilizacije odlagališta
1- glavni ugljeni sloj, 2-proklizane mase unutrašnjeg odlagališta, 3-potporni nasip, 4-međuslojna jalovina u kopu

6. ZAKLJUČAK

Kao što je prikazano na primerima klizišta na unutrašnjim odlagalištima površinskih kopova lignita, infiltracija i zadržavanje vode u telu odlagališta dovodi do smanjenja unutrašnjeg otpora odložene jalovine koja počinje da kliza usled sopstvene težine.

Uticaj vode, u sadejstvu sa ekstremnom heterogenošću odloženih jalovinskih masa i nepovoljnim uslovima odlaganja, stvara povećan nivo neizvesnosti konstrukcije odlagališta i zahteva, pri projektovanju i realizaciji, stavljanje akcenta na mere zaštite tela i podloge odlagališta od površinskih i podzemnih voda.

LITERATURA:

[1] Canadian Geotechnical Journal (2011) Characteristics of biplanar wedge spoil pile instabilities and methods to improve stability, Canadian Geotechnical Journal 33(1):58-79 with 84 Reads, DOI: 10.1139/t96-024;

[2] Dr Radmilo Obradović, Prof. Nikola Najdanović, Rudarski institut Beograd (1999), Mehanika tla u inženjerskoj praksi

[3] E. Steiakakis ⁎, K. Kavouridis, D. Monopolis (2009) "Large scale failure of the external waste dump at the "South Field" lignite mine, Northern Greece", Engineering Geology 104 269–279;

[4] Mohsen S. Masoudian et al, Environmental Earth Sciences (2019), Stability and characterisation of spoil heaps in European surface lignite mines: a state-of-the-art review in light of new data, 78:505 https://doi.org/10.1007/s12665-019-8506-7;

[5] Ozgu Kasmer et al, Environ Geol (2006), Spoil pile instabilities with reference to a strip coal mine in Turkey: mechanisms and assessment of deformations, Environ Geol (2006) 49: 570–585 DOI 10.1007/s00254-005-0092-1;

[6] Rudarski institut Beograd (2020), Studija stabilizacije unutrašnjih odlagališta prostora Polja B/C,

Saobraćaj, transport i komunikacije

Traffic, Transportation, and Communication

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

REŠAVANJE PROBLEMA RUTIRANJA VOZILA SA VREMENSKIM INTERVALIMA I OPTIMIZACIJOM POTROŠNJE GORIVA PRIMENOM HEURISTIČKIH ALGORITAMA

SOLVING THE VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS AND OPTIMIZATION OF FUEL CONSUMPTION BY HEURISTIC ALGORITHMS

PREDRAG GROZDANOVIĆ[1], MILOŠ NIKOLIĆ[1], KATARINA VUKADINOVIĆ[1]

[1] Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, {p.grozdanovic, m.nikolic, k.vukadinovic}@sf.bg.ac.rs

Rezime: *Realizovanje transportnih procesa prouzrokuje negativne posledice u vidu emisije štetnih gasova. Zbog toga se poslednjih godina sve više pažnje posvećuje nalaženju rešenja realizacije transportnih aktivnosti kako bi se negativni uticaji na životnu sredinu minimizirali. U ovom radu je razmatran problem rutiranja vozila sa vremenskim intervalima kod koga se teži minimiziranju potrošnje goriva, a samim tim i emisije štetnih gasova. Za rešavanje ovog problema predložena su dva heuristička algoritma. Izvršena su njihova testiranja na primerima iz literature. Dobijeni rezultati ukazuju da njihovom primenom može da se postigne značajno smanjenje potrošnje goriva.*

Ključne reči: *Rutiranje vozila sa vremenskim intervalima, potrošnja goriva, heuristički algoritmi.*

Abstract: *Transportation processes cause negative consequences in the form of emissions of harmful gases. Therefore, recently, more and more attention has been paid to finding solutions for the implementation of transport activities in order to minimize the negative impact on the environment. In this paper, we consider the vehicle routing problem with time windows, when the aim is to minimize fuel consumption, and thus the emission of harmful gases. We proposed two heuristic algorithms for the considered problem. We applied the algorithms on the test instances given in the literature. The obtained results show that implementation of algorithms can achieve a significant reduction in fuel consumption.*

Keywords: *Vehicle Routing Problem with Time Windows, fuel consumption, heuristic algorithms.*

1. UVOD

U današnje vreme zaštita životne sredine postaje jedan od najvažnijih faktora pri obavljanju bilo koje delatnosti. Veliki uticaj na životnu sredinu imaju transportna sredstva u drumskom saobraćaju koja su neizostavni član današnjeg urbanog i brzog života. U svetu se teži prelasku sa transportnih sredstava koja koriste fosilna goriva, na transportna sredstva koja će koristiti neke alternativne vrste goriva koja u manjoj meri zagađuju atmosferu. Pored prelaska sa jedne vrste vozila na drugu, teži se i minimizaciji štetnih uticaja drumskih transportnih sredstava koja koriste fosilna goriva. Jedan od načina da se minimizira njihov štetan uticaj na atmosferu jeste da se koriste modeli za rutiranje vozila čiji je cilj upravo minimizacija potrošnje goriva. Takvi modeli su dobro prihvaćeni od strane kompanija iz razloga što se minimizacijom potrošnje goriva smanjuju i njihovi troškovi.

U ovom radu su predložena dva heuristička algoritma za određivanje ruta vozila. Predloženi algoritmi su bazirani na poznatom algoritmu za rutiranje vozila sa vremenskim intervalima (eng. Vehicle Routing Problem with Time Windows - VRPTW). Modifikacije predloženog algoritma su urađene sa ciljem dobijanja skupa ruta kojima bi se minimizirala potrošnja goriva.

Preostali deo rada je organizovan tako da je u drugom delu opisan problem, u trećem su opisani razvijeni heuristički algoritmi, testiranja algoritama su data u četvrtom delu i u petom delu su data zaključna razmatranja sa pravcima budućih istraživanja.

2. OPIS PROBLEMA

Problem projektovanja ruta vozila je tipičan predstavnik klase problema koji su po svojoj prirodi kombinatorni. Iz velikog broja mogućih rešenja potrebno je izabrati optimalno rešenje. Pored ograničenja nosivosti vozila i potražnje u čvorovima, koje standardni problem rutiranja uzima u obzir, važan faktor jeste i vremenski interval u kom se isporuka može realizovati u čvorovima. Ovo ograničenje je potrebno uzeti u

obzir kako se ne bi dogodila situacija da vozilo dođe u čvor gde treba da izvrši isporuku, a da tu isporuku nema ko da primi. U tom slučaju vozilo ne bi moglo da realizuje isporuku i bilo bi prinuđeno da teret koji potražuje taj čvor vrati u bazu. Takva situacija dovela bi do neželjenih troškova realizatora transporta. Kako bi se ovaj problem izbegao osmišljen je takozvani VRPTW model koji uzima ovo ograničenje u obzir. VRPTW model je egzaktni algoritam koji se koristi za rešavanje standardnog problema rutiranja sa vremenskim prozorima. Cilj ovog modela jeste da definiše optimalni skup ruta tako da minimizira troškove transporta poštujući ograničenja: nosivosti vozila, potražnje u čvorovima i vremenske prozore.

U ovom radu razmatra se problem rutiranja vozila sa vremenskim intervalima sa ciljem da se minimizira potrošnja goriva, a samim tim i negativan uticaj na životnu sredinu. Da bi se to postiglo, odredili smo potrošnju goriva po ugledu na rad autora Xiao i ostali (2012).

Ako je sa Q_0 označena masa vozila, a sa Q_1 masa tereta u vozilu, onda je stopa potrošnje goriva po jedinici dužine ρ:

$$\rho(Q_1) = \alpha(Q_0 + Q_1) + b \tag{1}$$

gde je:

b – koeficijent varijacije stope potrošnje goriva po jedinici dužine

Prilikom rutiranja vozila mogu se razlikovati dve ekstremne situacije. Prva ekstremna sitacija nastaje kada je vozilo bez tereta, a druga nastaje kada je vozilo maksimalno natovareno. Kada je vozilo bez tereta stopa potrošnje goriva računa se na sledeći način:

$$\rho_0 = \alpha Q_0 + b \tag{2}$$

Ako je sa Q označena maksimalna količina tereta koja može biti natovarena u vozilo, onda se stopa potrošnje goriva kada je vozilo maksimalno natovareno računa na sledeći način:

$$\rho = \alpha(Q_0 + Q) + b \tag{3}$$

Vrednost koeficijenta α se dobija kada se razlika stope potrošnje goriva u dve ekstremne situacije podeli sa maksimalnom količinom tereta koja se može natovariti u vozilo:

$$\alpha = \frac{\rho^* - \rho_0}{Q} \tag{4}$$

Kada se u formuli (1) umesto koeficijenta α zameni formula (4), onda se stopa potrošnje goriva izračunava na sledeći način:

$$\rho(Q_1) = \rho_0 + \frac{\rho^* - \rho_0}{Q} Q_1 \tag{5}$$

Ukoliko se sa y_{ij} označi količina tereta koju vozilo prevozi od čvora i do čvora j, formula (5) će glasiti:

$$\rho_{ij} = \rho_0 + \frac{\rho^* - \rho_0}{Q} y_{ij} \tag{6}$$

Najpre prikažimo kako se određuje cena utrošenog goriva duž jedne grane, odnosno pri prelasku rastojanja od čvora i do čvora j. Cena utrošenog goriva duž grane (i, j), dobija se po sledećoj formuli:

$$c_{fuel}^{ij} = c_0 \cdot \rho_{ij} \cdot d_{ij} \tag{7}$$

gde su:

c_0 – jedinična cena goriva

ρ_{ij} – stopa potrošnje goriva od čvora i do čvora j

d_{ij} – dužina grane (i, j)

Sada kad je određeno kako se računa cena utrošenog goriva duž jedne grane, cena utrošenog goriva duž rute može se izračunati kao suma proizvoda cene utrošenog goriva duž grane i promenljive koja pokazuje da li je vozilo prošlo tom granom ili nije. Formula za izračunavanje cene utrošenog goriva duž rute glasi:

$$C_{fuel} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} c_{fuel}^{ij} x_{ij} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} c_0 \cdot \rho_{ij} \cdot d_{ij} \cdot x_{ij} \tag{8}$$

gde su:

n – ukupan broj čvorova koje treba opslužiti

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{ako je vozilo prošlo granom (i, j)} \\ 0, & \text{u suprotnom} \end{cases}$$

Sumiranjem potrošnje goriva duž svih ruta, na način dat izrazom 8, dobija se kvalitet generisanog rešenja. Najbolje je rešenje koje ima najmanju vrednost izračunate kriterijumske funkcije.

3. HEURISTIČKI ALGORITAM ZA REŠAVANJE RAZMATRANOG PROBLEMA

U ovom radu je razmatran problema rutiranja vozila sa vremenskim intervalima kod koga je cilj minimiziranje potrošnje goriva, a samim tim i emisije štetnih gasova. Posmatrani problem spada u grupu teških problema kombinatorne optimizacije i zbog toga je u daljem delu rada razmatrano njegovo rešavanje primenom heurističkih algoritama. U tom cilju izvršena je modifikaija heurističkog algoritma koji su predložili Desrochers i ostali (1988) za rešavanje VRPTW problema, a koji je baziran na algoritmu najbližeg suseda. Pseudo kod ovog algoritma može se predstaviti sledećim koracima:

Korak 1: Izračunati meru udaljenosti *U(i, j)* za svaki par čvorova *i* i *j*.

Korak 2: Formiranje rute započeti od čvora koji predstavlja bazu tako što je potrebno pronaći čvor koji je najbliži bazi prema meri udaljenosti *U(i, j)*, a koji nije opslužen. Zatim je taj čvor potrebno uključiti u rutu i nazvati ga trenutni čvor, a potražnji rute dodati potražnju tog čvora. Potrebno je još izračunati trenutak kada vozilo napušta bazu, a to je $D(0) = 0$. Nakon ovog koraka delimična ruta se sastoji od baze i njoj najbližeg čvora. Nakon koraka dva, sledi korak tri.

Korak 3: U ovom koraku potrebno je izračunati momenat kada vozilo napušta trenutni čvor nakon realizovane opsluge. To se računa tako što se na trenutak napuštanja prethodnog čvora doda vreme putovanja od prethodnog do trenutnog čvora, a zatim se pronađe maksimum između dobijene vrednosti i najranijeg početka opsluge u tom čvoru. Na tu vrednost je potrebno još dodati i vreme opsluge u trenutnom čvoru.

Korak 4: U koraku četiri potrebno je pronaći najbliži neopsluženi čvor prema meri udaljenosti $U(i, j)$ trenutnom čvoru, a koji može biti opslužen u pogledu ograničenja nosivosti i vremenskog intervala opsluge. Ukoliko postoji takav čvor, uključiti ga u delimičnu rutu, na potražnju rute dodati potražnju tog čvora, proglasiti ga za trenutni čvor i vratiti se na korak tri. U suprotnom ruta se završava i vozilo se vraća u bazu.

Korak 5: Proveriti da li su svi čvorovi opsluženi. Ukoliko su svi čvorovi opsluženi, završiti sa algoritmom, a u suprotnom vratiti se na korak dva.

U prikazanom algoritmu $U(i, j)$ predstavlja meru udaljenosti od čvora *i* do čvora *j* koja se računa kao (Teodorović 2007):

$$U(i,j) = w_1 \cdot t_{ij} + w_2 \cdot \left(\max\left\{ e_j, D_i + t_{ij} \right\} - D_i \right) + w_3 \cdot \left[l_j - \left(D_i + t_{ij} \right) \right] \tag{9}$$

pri čemu su:

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1 \tag{10}$$

t_{ij} - vreme putovanja od čvora *i* do čvora *j*

e_j - najraniji početak opsluge u čvoru *j*

D_i - trenutak u kom vozilo po izvršenoj opsluzi napušta čvor *i*

l_i - najkasniji početak opsluge u čvoru *j*

w_1, w_2, w_3 - težinski koeficijenti koji određuju značaj komponenti koje su date u formuli

Da bi se prikazani algoritam primenio sa ciljem minimiziranja potrošnje goriva potrebno je izvršiti njegovu modifikaciju u smislu određivanja mere udaljenosti između čvorova. U tom cilju kao mera udaljenosti između čvorova uzima se potrošnja goriva koja se računa prema sledećoj formuli:

$$U_{ij}^{f} = \rho_0 + \frac{\rho^* - \rho_0}{Q} \cdot \left(Q - q_j \right) \tag{11}$$

gde *f* označava da se radi o meri udaljenosti koja se odnosi na potršnju goriva između čvorova, dok oznaka q_j predstavlja potražnju u čvoru *j*. Svi ostali koraci prethodno opisanog algoritma mogu da ostanu isti kao i kod VRPTW problema. Označimo algoritam za VRPTW problema kao Algoritam 1, a algoritam za minimiziranje potrošnje goriva kao Algoritam 2.

U radu je testiran i hibridni pristup kod koga se vrši kombinovanje Algoritma 1 i Algoritma 2. Kombinovanje ova dva algoritma se vrši na način da se početno rešenje dobije Algoritmom 1, a zatim da se u okviru svake dobijene rute primeni Algoritam 2 u cilju promene redosleda opsluge čvorova što potencijalno može dovesti do smanjenja potrošnje goriva. Na ovaj način može da dođe do toga da neki od čvorova, zbog definisanih vremenskih intervala, ostanu neopsluženi. Neopsluženi čvorovi treba da uđu u skup čvorova za koje će ponovo biti korišćen Algoritam 2. Označimo ovaj pristup rešavanja problema kao Algoritam 3.

4. REZULTATI TESTIRANJA

Za testiranje predloženih algoritama korišćene su Solomonove instance (www.sintef.no/projectweb/top/vrptw/solomon-benchmark/) od C101 do C109. Da bi mogla da se koristi bilo koja od ovih Solomonovih instanci, potrebno je odrediti rastojanje između čvorova, vreme putovanja između čvorova i nosivost vozila. Kada je u pitanju nosivost vozila, uzeta je preporučena vrednost za ove instance koja iznosi 200 jedinica. Za određivanje rastojanja između čvorova preporučeno je da se koristi Euklidsko rastojanje, dok se za vremensku udaljenost između čvorova uzima da je jednaka prostornoj udaljenosti. Odnosno, za prelazak jedne jedinice dužine, potrebna je jedna jedinica vremena (Xiao i ostali 2012).

Prilikom primene sva tri algoritma, potrošnja goriva se izračunavala primenom formule (8). Da bi se koristila ta formula, neophodno je da se unapred definiše stopa potrošnje goriva praznog vozila ρ_0 i stopa potrošnje punog vozila ρ^*. Stopa potrošnje praznog vozila uzeće vrednost 2, a stopa potrošnje punog vozila uzeće vrednost 3. Pošto je potrošnja goriva praznog vozila za jednu trećinu manja od potrošnje goriva punog vozila, u skladu sa tim ove stope uzimaju prethodno definisane vrednosti (Xiao i ostali 2012). Iste vrednosti za ρ_0 i ρ^* korišćene su prilikom računanja potrošnje goriva koja se ostvaruje realizacijom definisanih ruta u sva tri algoritma, kako bi moglo da se izvrši poređenje njihovih rezultata. Za težinske koeficijente w_1, w_2 i w_3 u formuli (9) korišćene su sledeće vrednosti: $w_1 = 0,5$, $w_2 = 0,3$ i $w_3 = 0,2$.

Kod Solomonovih instanci od C101 do C109 broj klijenata je 100. Za početni čvor, bazu, uzima se čvor koji je označen sa 1, a klijenti su označeni redom brojevima od 2 do 101. Matrica rastojanja između čvorova je simetrična, odnosno, rastojanje od čvora *i* do čvora *j* isto je kao rastojanje od čvora *j* do čvora *i*.

Nakon što se odrede matrica rastojanja, vreme putovanja i nosivost vozila na način kako je to prethodno opisano, može da se počne sa formiranjem ruta vozila. Potrebno je pronaći takve rute koje će omogućiti da se obiđe svih 100 čvorova u mreži i potražnja svakog čvora zadovolji, odnosno da im se isporuči teret koji potražuju. Svaka ruta treba da počne u čvoru 1, koji predstavlja bazu i da se završi u čvoru 1. Prilikom formiranja ruta potrebno je još voditi računa o nosivosti vozila i unapred definisanim vremenskim prozorima. Ukupna potražnja na jednoj ruti ne sme biti veća od nosivosti vozila koja iznosi 200 jedinica. Izračunavanje matrice rastojanja i predstavljene opšte karakteristike, iste su u implementaciji sva tri algoritama.

Kako bi mogla da se dobije prava slika o tome koji je algoritam najbolji sa aspekta potrošnje goriva od tri algoritma, neophodno je da se oni testiraju na većem broju instanci. Iz tog razloga algoritmi su testirani na Solomonovim instancama od C101 do C109.

Dobijeni rezultati primenom Algoritma 1, Algoritma 2 i Algoritma 3 prikazani su respektivno u Tabelama 1, 2 i 3. Poređenjem dobijenih rezultata može se uočiti da Algoritam 1 značajno prevazilazi Algoritme 2 i 3 sa aspekta broja ruta koje je potrebno realizovati. Međutim, u razmatranom problem, ovaj kriterijum je mnogo manje važan od kriterijuma pređenog rastojanja, a naročito kriterijuma potrošnje goriva. Prema kriterijumima ukupno pređeno rastojanje i potrošnja goriva najbolji rezultati postižu se primenom Algoritma 2. Na osnovu istih kriterijuma može se uočiti da čak i Algoritam 3 prevazilazi tradicionalan način određivanja ruta primenom Algoritma 1. Značaj poboljšanja koja se ostvaruju pomoću predloženih algoritama najbolje se uočava pomoću prosečnog smanjenja potrošnje goriva u odnosu na Algoritam 1. Ove vrednosti su date u petoj koloni Tabela 2 i 3. Na osnovu tog pokazatelja jasno se uočava superiornost Algoritma 2 kojim se u odnosu na Algoritam 1 prosečno ostvaruju uštede u potrošnji goriva u iznosu od 34,1 %. Prosečno smanjenje potrošnje goriva koje se postiže primenom Algoritma 3 u odnosu na Algoritam 1 iznosi 10,5 %. Grafički prikaz poređenja algoritama po potrošnji goriva prikazan je na Slici 1.

Tabela 1: Rezultati dobijeni primenom Algoritma 1

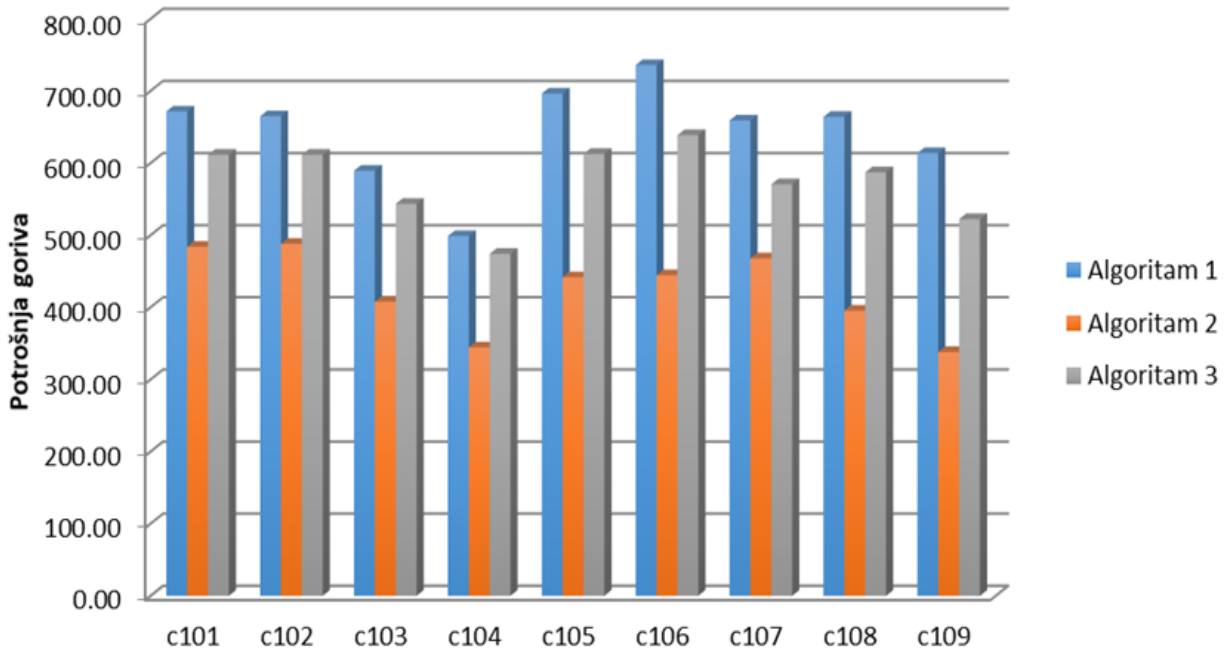
Instance	Rastojanje	Broj ruta	Potrošnja goriva
C101	2729.56	10	671.40
C102	2714.68	10	664.82
C103	2422.86	10	589.32
C104	2104.10	10	498.77
C105	2751.98	10	696.38
C106	2944.30	10	735.83
C107	2640.65	10	658.98
C108	2613.13	10	663.95
C109	2463.15	10	613.76

Tabela 2: Rezultati dobijeni primenom Algoritma 2

Instance	Rastojanje	Broj ruta	Potrošnja goriva	Smanjenje potrošnje goriva u odnosu na Algoritam 1 [%]
C101	2196.07	17	483.81	27.94
C102	2165.42	13	487.93	26.61
C103	1794.66	14	407.59	30.84
C104	1494.91	13	344.36	30.96
C105	1943.86	13	441.66	36.58
C106	1936.12	12	444.41	39.60
C107	2041.70	11	467.86	29.00
C108	1729.56	11	395.39	40.45
C109	1465.19	10	337.94	44.94

Tabela 3: Rezultati dobijeni primenom Algoritma 3

Instance	Rastojanje	Broj ruta	Potrošnja goriva	Smanjenje potrošnje goriva u odnosu na Algoritam 1 [%]
C101	2781.18	25	611.41	8.94
C102	2683.06	22	611.41	8.03
C103	2328.95	17	543.45	7.78
C104	2083.38	15	474.09	4.95
C105	2659.06	21	612.63	12.03
C106	2622.54	17	638.65	13.21
C107	2363.53	15	570.60	13.41
C108	2454.86	12	587.13	11.57
C109	2216.82	10	522.25	14.91



Slika 1: Grafički prikaz potrošnje goriva po svakoj instanci od C101 do C109

5. ZAKLJUČAK

Proces isporuke tereta neizostavno prati potrošnja goriva i emisija štetnih gasova. Dugi niz godina se smatralo da se smanjenje troškova isporuke tereta postiže određivanjem ruta vozila kojima će ona preći najkraća rastojanja. Tokom poslednje decenije sve veća pažnja u istraživanjima se posvećuje rutiranju vozila sa ciljem minimiziranja potrošnje goriva, a samim tim i emisija štetnih gasova.

U ovom radu predložena su dva heuristička algoritma za određivanje ruta vozila sa ciljem minimiziranja potrošnje goriva. Ovi algoritmi dobijeni su modifikacijom jednog od najpoznatijih algoritama za rutiranje vozila sa vremeskim intervalima. Predloženi algoritami su testirani na 9 primera iz literature koji se koriste za slične probleme. Na osnovu dobijenih rezultata uočeno je da novi algoritmi značajno mogu da doprinesu smanjenju potrošnje goriva.

U okviru budućih istraživanja moguće je raditi na unapređenju predloženih algoritama. U okviru toga, može se razmotriti upotreba i metaheurističkih algoritama kojima bi se rešenja dobijena algoritmima u ovom radu dalje poboljšavala. Takođe, kao pravac budućih istraživanja mogu se izvršiti testiranja na većem broju primera čime bi se dobila jasnija slika o prednostima i nedostacima razvijenih algoritama.

LITERATURA

[1] Desrochers, M., Lenstra, J.K., Savelsbergh, M.W.P., Soumis, F., (1988). Vehicle routing with time windows: optimization and approximation. In: Golden, B. and Assad, A.A. Vehicle Routing: Methods and Studies, Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland).

[2] Teodorović, D. (2007). Transportne mreže, četvrto izdanje, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Republika Srbija, Beograd.

[3] Xiao, Y., Zhao, Q., Kaku, I., Xu, Y. (2012). Development of a fuel consumption optimization model for the capacitated vehicle routing problem, Computers and Operations Research, 39, 1419 – 1431.

[4] TOP – transportation optimization portal, VRPTW, www.sintef.no/projectweb/top/vrptw/solomon-benchmark/ [Pristupano 20.05.2021.]

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

IZBOR OPTIMALNOG PUTA NA BICIKLISTIČKOJ MREŽI PRIMENOM MODIFIKOVANOG DIJKSTRINOG ALGORITMA

OPTIMAL PATH SELECTION ON THE BICYCLE NETWORK USING THE MODIFIED DIJKSTRA'S ALGORITHM

SRETEN JEVREMOVIĆ[1], ANA TRPKOVIĆ[2], MILICA ŠELMIĆ[3]

[1,2,3] Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, 11010 Beograd, {s.jevremovic, a.trpkovic, m.selmic}@sf.bg.ac.rs

Rezime: *U velikim gradovima koji se odlikuju intenzivnim dnevnim kretanjima stanovništva, multimodalnim saobraćajnim sistemom, razgranatom saobraćajnom mrežom i različitim zahtevima učesnika u saobraćaju, usmeravanje korisnika na mreži i pronalaženje optimalnog puta predstavlja veoma važan zadatak. Ovaj aspekt posebno je izražen u situacijama kada se vreme putovanja ispoljava kao najbitniji faktor. Sa druge strane, izbor puta zavisi i od preferencija korisnika: izbegavanje brzih saobraćajnica, izbegavanje deonica sa lošim kolovozom, prolazak kroz zone sa interesantnim sadržajem i sl. Jasno je da različiti korisnici (motorizovani i nemotorizovani) imaju drugačije afinitete u pogledu izbora željene rute u zavisnosti od svrha putovanja, raspoložive infrastrukture, ali i drugih značajnih faktora. U ovom radu analizirana su biciklistička kretanja na teritoriji opštine Novi Beograd, sa ciljem iznalaženja optimalnog puta, usvajajući zahteve korisnika. U radu je korišćen modifikovan Dijkstrin algoritam, kroz koji je integrisano osam kvalitativnih i kvantitativnih parametara, među kojima su: dužina odseka, osnovni parametri saobraćajnog toka (brzina vozila i protok), stanje kolovoza, karakteristike biciklističke infrastrukture i karakteristike područja.*

Ključne reči: *Optimalni put, Dijkstrin algoritam, biciklistička mreža, saobraćajno projektovanje*

Abstract: *In large cities, which are characterized by intensive daily population movements, a multimodal traffic system, an extensive transport network and different requirements of traffic participants, finding the optimal path is a very important task. This aspect is especially emphasized in situations when travel time is the most important factor. On the other hand, the route choice may depend on the users' preferences: avoiding fast roads, avoiding sections with bad road quality, passing through zones with interesting content, etc. It is evident that different users (motorized and non-motorized) have different affinities in terms of choosing the desired route depending on the purpose of travel, available infrastructure, but also other important factors. In this paper, bicycle movements on the territory of Novi Beograd are analyzed, with the aim of finding the optimal path, respecting the requirements of users. The paper uses modified Dijkstra's algorithm, through which eight qualitative and quantitative parameters are integrated, among which are: section length, basic traffic flow parameters (vehicle speed and flow), road condition, bicycle infrastructure characteristics and area characteristics.*

Keywords: *Optimal route, Dijkstra's algorithm, bicycle network, traffic design*

1. UVOD

Upravljanje kretanjem korisnika na mreži saobraćajnica predstavlja jedan od najsloženijih i najzahtevnijih procesa u saobraćaju. Imajući u vidu veliku ponudu različitih vidova prevoza i njihovih karakteristika, specifičnosti korisnika, a posebno njihovih zahteva koji se neprekidno ispostavljaju u realnom vremenu, može se donekle sagledati složenost ovog procesa.

Upravljanje zahtevima u pogledu optimizacije ponude i pružanja zahtevanog nivoa usluge predstavlja jedan od najvažnijih ciljeva svakog saobraćajno-transportnog sistema, pri čemu savremeni održivi koncepti razvoja gradova teže smanjenju upotrebe motornih vozila, na račun porasta procenta nemotorizovanih korisnika u ukupnoj vidovnoj raspodeli. Biciklisti i bicikliranje u takvom sistemu zauzimaju važno mesto, posebno imajući u vidu karakteristike ovog vida prevoza u koje spadaju: potencijalno smanjenje zagušenja, skraćenje vremena putovanja, pozitivan uticaj na zdravlje i sl., pri čemu nema negativnih uticaja na okruženje i životnu sredinu. Biciklistički saobraćaj je do skoro bio neopravdano zanemaren ili nedovoljno

uključen u procese planiranja i projektovanja infrastrukture, što za posledicu često ima neadekvatno prostorno uređenje, regulisanje kretanja i ponašanje korisnika ovog prevoznog sredstva. U fokusu ovog rada biće upravo korisnici bicikala i upravljanje kretanjem na mreži saobraćajnica, a u skladu sa ispostavljenim zahtevima i definisanim kriterijumima.

Različiti autori bavili su se pomenutim problemom i to prevashodno kroz iznalaženje najkraćih puteva prema dva osnovna kriterijuma: prostornom i vremenskom. Na primer, Beheshtitabar et al. (2014) su u svom radu predstavili model koji se zasniva na iznalaženju najkraćeg puta po prostornom kriterijumu (dužina), dok su pored njega u modelu figurisali još i nagib, vrsta puta i postojanje značajnih objekata za bicikliste. Sa druge strane, Hrncir, Song, Zilecky, et al. (2014) i Hrncir, Zilecky, Song, et al. (2017) napravili su modele u kojima kao osnovni kriterijum figuriše vremenska komponenta. Iako su pomenuti parametri u suštini različite promenljive, u praksi često vreme zavisi od dužine puta, dok sa druge strane prostorno najkraći put ne mora biti i najbrži. Ukoliko se ovim kriterijumima pridruže i dodatni parametri, što je obično slučaj, veza dužine i vremena puta se dodatno naglašava. Pored pomenutih faktora u problemima nalaženja najkraćeg puta mogu se naći i dodatni kriterijumi poput: tip infrastrukture za bicikliste, bezbednost biciklista, funkcionalne i operativne karakteristike puta/ulice, zagađenje vazduha, veze sa javnim prevozom i sl. (Sener, Eluru, & Bhat, 2009; Su, Winters, Nunes, & Brauer, 2010).

Osnovni problem koji se nameće na ovom mestu je dostupnost podataka. U tom smislu najveći broj ulaznih promenljivih dobija se uvidom u dostupne baze podataka, merenjima na terenu, anketiranjem korisnika, ekspertskom ocenom i sl. Na primer, Menghini et al. (2010) prikazali su postupak za dobijanje efikasnih modela za izbor puta na osnovu GPS podataka, što je umnogome olakšalo i ubrzalo proceduru pribavljanja podataka.

Cilj ovog rada je pružiti algoritam za pronalaženje optimalnog puta za bicikliste na području opštine Novi Beograd, na osnovu ispostavljenih zahteva korisnika. Osnovu modela predstavlja Dijkstrin algoritam, modifikovan za potrebe ovog rada, koji se najčešće koristi za probleme iznalaženja najkraćeg, odnosno optimalnog puta (Chen et al., 2014; Galán-García et al., 2015).

Rad se sastoji iz četiri osnovna poglavlja. Nakon uvodnog poglavlja koje obuhvata i kratak pregled literature, prikazana je metodologija rada u kojoj su objašnjene primenjene metode, način obrade i prikupljanja podataka, kao i formulacija algoritma. U trećem poglavlju, prikazani su rezultati testiranja modela i diskusija, dok četvrto, poslednje poglavlje čine zaključna razmatranja.

2. METODOLOGIJA RADA

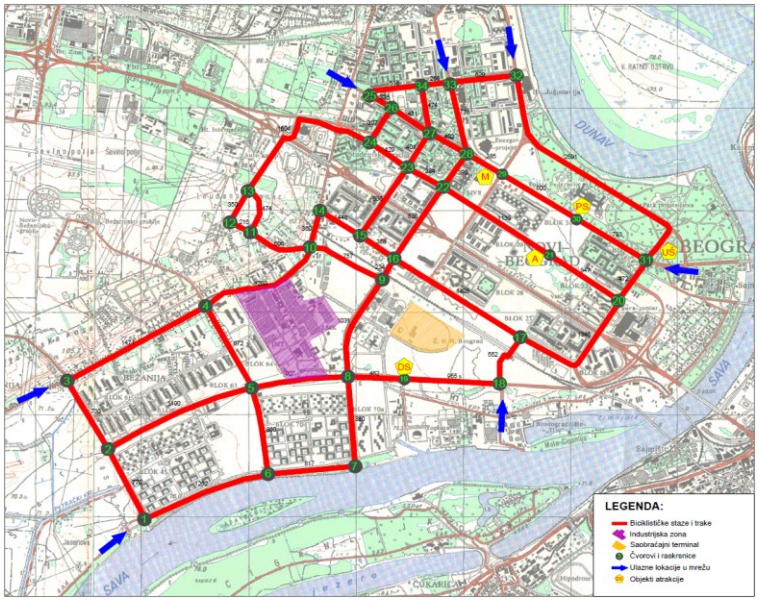
Za potrebe rada korišćeno je nekoliko baza, servisa i dostupnih dokumenata. U cilju formiranja biciklističke mreže na području istraživanja, korišćen je Generalni urbanistički plan Beograda i dostupne studije i projekti. Određene karakteristike mreže poput dužine, merene su na osnovu Google map servisa, dok su ostale karakteristike (broj saobraćajnih traka, stanje kolovoza i sl.) dobijeni pomoću Street view servisa ili terenskim istraživanjima.

2.1. Područje istraživanja i prikupljanje podataka

Područje istraživanja u ovom radu predstavlja teritorija opštine Novi Beograd. Pomenuto područje izabrano je prevashodno zbog pogodnih terenskih karakteristika (ravničarski teren bez izrazitih podužnih nagiba) i razvijene mreže biciklističkih staza i traka. U ovom radu obuhvaćeno je ukupno 36.8km biciklističke infrastrukture. Iako na teritoriji Novog Beograda postoji znatno razgranatija mreža iz istraživanja su isključeni nepovezani delovi staza i traka. Na mreži je definisano ukupno 34 čvora (označenih tačkama sive boje - slika 1), od kojih 29 predstavljaju raskrsnice, dok 5 čvorova predstavljaju objekte atrakcije: tržni centri: Ušće i Delta City, Arena, Merkator i Palata Srbija, označeni žutim petougaonicima. Plavim strelicama naznačeni su ulazni čvorovi u mrežu.

2.2. Struktura modela i parametri

Osnova modela za izbor optimalnog puta je Dijkstrin algoritam, koji je modifikovan kako bi se pored parametra rastojanja, uključili dodatni kvantitativni i kvalitativni kriterijumi. U ovom modelu, dužina puta, umesto vremena putovanja, izabrana je zbog pretpostavke da se korisnici kreću istom brzinom na svakom odseku. Dodatna pretpostavka obuhvata i jednakost dužine odseka u oba smera, imajući u vidu da su na pojedinim deonicama biciklističke staze odvojene po smerovima.



Slika 1. Biciklistička mreža na analiziranom području opštine Novi Beograd (Izvor)

U radu su prikazani rezultati testiranja modela za dva scenarija. Prvi scenario obuhvata testiranje modela sa samo jednim kriterijumom – rastojanjem, dok drugi scenario, pored kriterijuma rastojanja obuhvata i dodatne kvalitativne i kvantitativne parametre. S obzirom na to, da je određen broj parametara kvalitativnog tipa, u ovom istraživanju korišćena je fazi logika u cilju omogućavanja rada sa pomenutim kriterijumima. Parametri uključeni u ovaj model su:

- Stanje kolovoza biciklističke staze/trake – definisano fazi skupovima u odnosu na broj godina od poslednje rekonstrukcije: dobro [0,0,5,10], srednje [5,10,15] i loše [10,15,20,20];
- Tip biciklističke infrastrukture – u skladu sa situacijom na terenu razmatrana su sledeća dva tipa biciklističke infrastrukture: dvostrano jednosmerne biciklističke staze i trake i jednostrano dvosmerne biciklističke staze i trake;
- Protok vozila – definisan sledećim fazi skupovima: mali [0,0,500,600], srednji [500,750,1000] i veliki protok [900,1000,1100,1100], izražen u voz/h;
- Brzina kretanja vozila – definisana fazi skupovima: mala [0,0,20,30], srednja [25,35,45] i velika brzina [40,50,60,60], izražena u km/h;
- Protok biciklista – definisan fazi skupovima: mali [0,0,10,15], srednji [10,20,30] i veliki protok [25,30,40,40], izražen u voz/h;
- Broj saobraćajnih traka u profilu saobraćajnice – u obzir uzete sledeće karakteristike: kolovoz sa jednom saobraćajnom trakom po smeru, kolovoz sa dve saobraćajne trake po smeru i kolovoz sa tri saobraćajne trake po smeru. Na mestima gde su biciklističke staze vođene potpuno nezavisno (izdvojeno) od motornog saobraćaja (duž Savskog keja) podrazumevano je da ne postoji kolovoz u blizini i za ovu karakteristiku je korišćena vrednost nula.

Naredna dva parametra u modelu figurišu kao obeležja određenih grana (delova) mreže a to su:

- Ukrštanje biciklističke infrastrukture sa tramvajskim podsistemom – ukoliko takvo ukrštanje postoji na određenoj deonici, konačna vrednost grane modifikuje se (uvećava) za definisanu veličinu;
- (Ne)atraktivnost zone/područja (postojanje industrijske zone, saobraćajnog terminala, terminusa, i sl.) – ukoliko na određenom području postoji industrijska zona, saobraćajni terminal i sl., veličine grana koje okružuju pomenuto područje se modifikuju (uvećavaju) za definisanu veličinu, u suprotnom grane se ne modifikuju.

Pretpostavka je da će svaki od pomenuta dva parametra, u određenoj meri uticati na izbor puta, pa je svakom od njih dodata određena težinska (korekciona) vrednost. Agregacija vrednosti svakog od kriterijuma pomnoženog težinskim vrednostima (po deonicama) vršena je prema standardnoj proceduri SAW (eng. Simple Additive Weighting) metode. Prilikom upotrebe Dijkstrinog algoritma potrebno je ispuniti preduslov nenegativnosti svih grana u mreži, o čemu je u modelu vođeno računa.

2.3. Formulacija algoritma za iznalaženje optimalnog puta

U ovom poglavlju prikazana je formulacija baznog Dijkstrinog algoritma, njegova modifikacija, kao i primer ulaznih vrednosti kriterijuma u algoritam. Pseudokod Dijkstrinog algoritma dat je u nastavku.

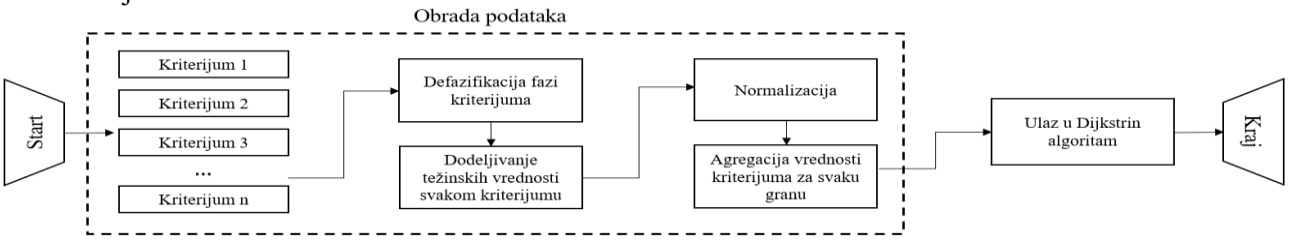
Pseudokod Dijkstrinog algoritma

```
algorithm Dijkstra (G,s)
    S = {s};
    d[s] = 0;
    for (svaki čvor ϑ ≠ s u G) do
        if ({s, ϑ} grana u G) then
            d[ϑ] =l(s, ϑ);
        else
            d[ϑ] = ∞;

    while (S ≠ V) do
        odrediti čvor x ∈ V – S za koji je d[x] najmanje;
        S = s + x;
        for (svaki čvor ϑ ∈ V – S koji je spojen granom sa x) do
            d[ϑ] = min{ d[ϑ], d[x] +l(x, ϑ)}
    return d;
```

Slikom 2 ilustrovan je celokupan proces iznalaženja optimalnog puta na analiziranoj biciklističkoj mreži.

Ulaz u prikazani algoritam predstavlja graf *G*, koji obuhvata izabrane čvorove, grane i definisane težinske vrednosti svake grane. Izlaz iz algoritma predstavlja dužina najkraćih puteva od izabranog ulaznog čvora *s*, do svih ciljnih čvorova.



Slika 2. Modifikovan algoritam za iznalaženje optimalnog puta na biciklističkoj mreži

U tabeli 1, dat je primer početnih (ulaznih) vrednosti kriterijuma za grane (1-2) i (2-3).

Tabela 1. Vrednosti kriterijuma za grane (1-2) i (2-3)

Grana	Dužina grane (m)	Stanje kolovoza (fazi broj)	Tip bic. infrastrukture	Protok vozila (fazi broj)	Brzina vozila (fazi broj)	Protok biciklista (voz/h)	Br. saobr. traka u profilu
(1-2)	730	„dobro“	2	„veliki“	„srednja“	15	6
(2-3)	770	„dobro“	2	„veliki“	„srednja“	15	4
max/min	min	min	max	min	min	min	min

Nakon definisanja ulaznih vrednosti kvantitativnih parametara, pristupa se defazifikaciji fazi brojeva kvalitativnih promenljivih. Jedna od metoda defazifikacije koje se koriste u literaturi jeste metoda integrisanih ocenjenih srednjih vrednosti (engl. *graded mean integration representation method*) koju su predložili Chen i Hseih (1998) za predstavljanje generalizovanog fazi broja u obliku realnog broja (engl. *crisp value*). Pokazano je da za trouglasti fazi broj $\boldsymbol{A} = (a_1, a_2, a_3)$ i trapezoidni fazi broj $\boldsymbol{B} = (b_1, b_2, b_3, b_4)$, *crisp* vrednost P($\boldsymbol{A}$), odnosno P($\boldsymbol{B}$) iznose kao u relacijama:

$$P(\boldsymbol{A}) = \frac{1}{6}(a_1 + 4a_2 + a_3) \tag{1}$$

$$P(\boldsymbol{B}) = \frac{1}{6}(b_1 + 2b_2 + 2b_3 + b_4) \tag{2}$$

Ovako definisanim kriterijumima dodeljuju se težinske vrednosti i vrši normalizacija podataka. Nakon ponderisanja vrednosti kriterijuma za svaku granu, potrebno je dobijene vrednosti modifikovati ukoliko se

određena grana (deonica) ukršta sa tramvajskim podsistemom ili se nalazi u blizini industrijske zone, saobraćajnog terminala i sl. U prikazanom primeru grana (1-2) se ukršta sa tramvajskim podsistemom zbog čega je njenu vrednost potrebno modifikovati korekcionim faktorom. Na kraju, agregirane vrednosti grana (1-2) i (2-3) po svim kriterijumima, iznose 3.32 i 2.85 redno i predstavljaju ulazne vrednosti u Dijkstrin algoritam.

3. REZULTATI TESTIRANJA MODELA I DISKUSIJA

Kao što je prethodno pomenuto model je testiran kroz dva scenarija. Prvi deo testiranja obuhvata nalaženje najkraćeg puta od ulaznih do izlaznih čvorova i obratno. Drugi deo podrazumeva pronalaženje optimalnog puta uključujući i ostale kriterijume opisane u metodologiji rada. Važno je napomenuti da je u ovom radu, upravljanje kretanjem korisnika po mreži, vršeno samo onim ulicama na kojima postoji već izgrađena biciklistička infrastruktura. Ostale deonice nisu uzimane u obzir.

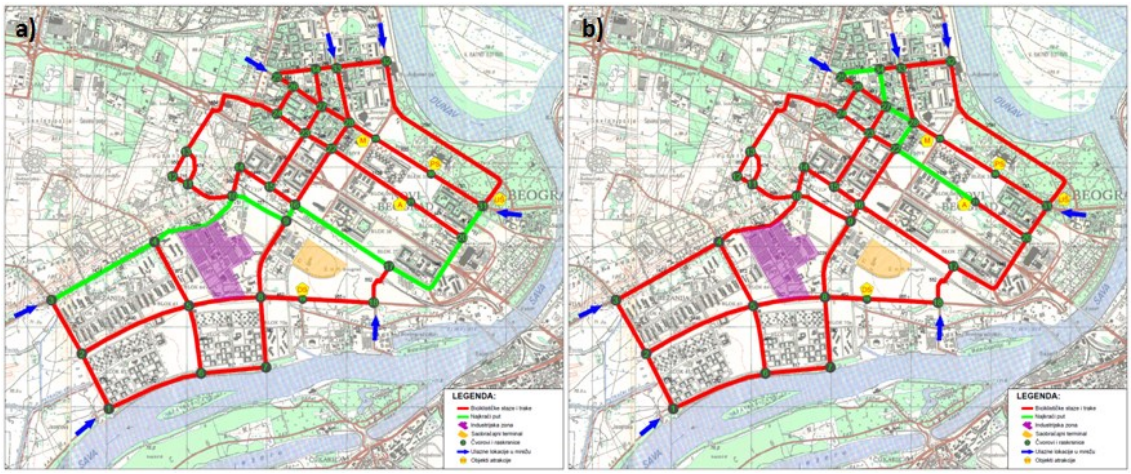
U tabeli 2 prikazane su dužine najkraćih puteva od/do analiziranih objekata atrakcije.

Tabela 2. Najkraći put od/do analiziranih objekata atrakcije na mreži (km)

	Ušće	Delta City	Arena	Merkator	Palata Srbija
Ušće	0	3.325	1.319	1.593	0.793
Delta City		0	3.696	3.338	4.118
Arena			0	1.908	2.112
Merkator				0	0.800
Palata Srbija					0

Imajući u vidu pretpostavku jednakosti dužine odseka u oba smera, sve vrednosti ispod dijagonale bile bi jednake kao i vrednosti iznad dijagonale, te je zbog toga ponavljanje vrednosti izostavljeno.

Drugi deo testiranja modela obuhvata uključivanje dodatnih parametara. Imajući u vidu ograničenja u obimu rada, u nastavku (slika 3) prikazana su dva odabrana rezultata, koja ilustruju najkraće puteve dobijene modelom.



Slika 3. Izabrani rezultati najkraćih puteva biciklista a) i b) do definisanih objekata atrakcije na mreži

Važno je napomenuti da je model osetljiv na preferenciju i važnost kriterijuma definisanih od strane korisnika. U konkretnom slučaju najveća važnost dodeljena je kriterijumu stanje kolovoza, što se oslikalo kroz veličinu težine grane u modelu. Osetljivost modela se može uočiti sa primera b) na slici 3. Početak puta je čvor broj 25, nakon čega je modelom određen put koji prati čvorove 34 i 27. Ukupna dužina izabranog puta 25-34-27 je 990m, dok putanja koja nije izabrana od strane modela 25-26-27 ima dužinu od 666m. Razlog izbora dužeg puta može se tražiti upravo u važnosti koja je dodeljena kriterijumima. U konkretnom slučaju korisnicima je od većeg značaja bilo stanje kolovoza, protok i broj saobraćajnih traka u profilu saobraćajnice, od dužine puta. U tom smislu put 25-34-27 ima povoljnije karakteristike: bolje stanje biciklističkih staza, manji protok vozila i manji broj saobraćajnih traka u profilu saobraćajnice, od puta 25-26-27. Generalno, značajnost kriterijuma određuje se na osnovu subjektivnog stava svakog pojedinca, što se najčešće dobija anketiranjem korisnika. U ovom radu iskorišćeni su rezultati anketiranja biciklista u Oklendu (Wang, Mirza, Cheung, & Moradi, 2014), na osnovu kojih je proračunata relativna značajnost svakog od kriterijuma.

Osnovni nedostatak modela odnosi se na njegovu složenost, što posledično otežava i proces optimizacije. Ovo može predstavljati dobru osnovu za dalja unapređenja u smislu agregacije, odnosno modifikacije pojedinih kriterijuma. Takođe, modelom nisu obuhvaćeni pojedini značajniji parametri poput postojanja raskrsnica koje su upravljane svetlosnim signalima ili lokacije stajališta javnog prevoza. Sa druge strane, prikazana biciklistička mreža samo je deo mreže koja postoji na Novom Beogradu, a koja nije analizirana, iz već pomenutog razloga nepovezanosti mreže. Dodatno, u ovom radu analizirane su samo biciklističke staze i trake, dok se u praksi biciklisti mogu kretati i kolovozom bez biciklističke infrastrukture, trotoarima i drugim površinama koje ovim istraživanjem nisu obuhvaćene. Svi pomenuti faktori, prikazani u ovom radu, predstavljaju fiksne – vremenski nepromenljive komponente. Karakteristike poput raskrsnica upravljanih svetlosnim signalima, ponašanja korisnika tokom vožnje, interakcije sa drugim učesnicima, promenljive brzine kretanja, koje su dosta zahtevnije za modeliranje, nisu analizirane u ovom radu.

Svaki od navedenih faktora bi u većoj ili manjoj meri imao uticaja na konačnu efikasnost i unapređenje prikazanog modela. Upravo pomenuti aspekt sveobuhvatnosti i integracije dodatnih kriterijuma biće predmet daljih istraživanja, a u cilju izrade modela koji bi mogao, u većoj meri, da odgovori na realne zahteve korisnika.

4. ZAKLJUČAK

Za potrebe ovog rada izrađen je i testiran model za pronalaženje optimalnog puta na definisanoj biciklističkoj mreži, primenom modifikovanog Dijkstrinog algoritma. Model je testiran kroz dva scenarija. U prvom scenariju testiranjem je obuhvaćen samo kriterijum dužine odseka, dok drugi scenario obuhvata testiranje modela sa dodatnim kriterijumima poput: stanja kolovoza biciklističke infrastrukture, tipa biciklističke infrastrukture, protoka, brzine kretanja vozila, broja saobraćajnih traka u profilu saobraćajnice i dodatnih obeležja grana: ukrštanje biciklističke i tramvajske infrastrukture, postojanja industrijskih zona ili saobraćajnih terminala i sl., koje zonu čine manje atraktivnom. Značajno svojstvo prikazanog modela je njegova osetljivost na promenu važnosti (ranga) kriterijuma, što je prikazano u radu. Osnovno ograničenje istraživanja odnosi se na činjenicu da određeni parametri poput projektantskih i upravljačkih karakteristika raskrsnica ili promene brzine kretanja biciklista, nisu obuhvaćeni ovom analizom, što predstavlja dobru osnovu za buduća istraživanja i unapređenje modela.

LITERATURA

[1] Beheshtitabar, E., Ríos, S. A., König-Hollerwöger, D., Svatý, Z., & Rydergren, C. (2014). Route Choice Modelling for Bicycle Trips. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 4(2), 194–209.

[2] Chen, Y. Z., Shen, S. F., Chen, T., & Yang, R. (2014). Path optimization study for vehicles evacuation based on Dijkstra algorithm. *In Procedia Engineering* (Vol. 71, pp. 159–165). Elsevier B.V.

[3] Chen, S. H., Hsieh, C. H. (1998). Graded mean integration representation of generalized fuzzy number, In Proceeding of 6th Conference on Fuzzy Theory and its Application, pp. l-6, Taiwan.

[4] Galán-García, J. L., Aguilera-Venegas, G., Galán-García, M., & Rodríguez-Cielos, P. (2015). A new Probabilistic Extension of Dijkstra's Algorithm to simulate more realistic traffic flow in a smart city. *Applied Mathematics and Computation*, 267, 780–789.

[5] Hrncir, J., Song, Q., Zilecky, P., Nemet, M., & Jakob, M. (2014). Bicycle route planning with route choice preferences. Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, 263(August), 1149–1154.

[6] Hrncir, J., Zilecky, P., Song, Q., & Jakob, M. (2017). Practical Multicriteria Urban Bicycle Routing. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(3), 493–504.

[7] Menghini, G., Carrasco, N., Schüssler, N., & Axhausen, K. W. (2010). Route choice of cyclists in Zurich. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(9), 754–765.

[8] Sener, I. N., Eluru, N., & Bhat, C. R. (2009). An Analysis of Bicycle Route Choice Preferences Using a Web-Based Survey to Examine Bicycle Facilities. *Transportation*, 36(5), 511–539.

[9] Su, J. G., Winters, M., Nunes, M., & Brauer, M. (2010). Designing a route planner to facilitate and promote cycling in Metro Vancouver, Canada. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(7), 495–505.

[10] Wang, J. Y. T., Mirza, L., Cheung, A. K. L., & Moradi, S. (2014). Understanding factors influencing choices of cyclists and potential cyclists: A case study at the University of Auckland. *Road and Transport Research*, 23(3), 37–51. Retrieved from http://eprints.whiterose.ac.uk/82492/

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

PREGLED PRIMENA METAHEURISTIKE OPTIMIZACIJA KOLONIJOM PČELA NA PROBLEME U SAOBRAĆAJU I TRANSPORTU

REVIEW OF THE BEE COLLONY OPTIMIZATION METAHEURISTIC APPLICATIONS TO TRAFFIC AND TRANSPORT PROBLEMS

IVANA JOVANOVIĆ[1], MILICA ŠELMIĆ[1], MILOŠ NIKOLIĆ[1]

[1] Saobraćajni fakultet, Beograd, {ivana.jovanovic, m.selmic, m.nikolic}@sf.bg.ac.rs

Rezime: *U radu je prikazan pregled literature u kojoj je primenjena metaheuristika Optimizacija kolonijom pčela (Bee Colony Optimization – BCO) na probleme u saobraćaju i transportu. Razmatrani radovi su sistematizovani prema vidovima saobraćaja, problemima kojima se bave, kao i korišćenim varijantama metaheuristike BCO.*

Ključne reči: *Optimizacija kolonijom pčela, saobraćaj, transport*

Abstract: *The paper presents a review of literature dealing with the applications of the metaheuristic Bee Colony Optimization (BCO) to traffic and transport problems. Analzyed papers are systematized according to the traffic modes, the problems they deal with, as well as the used variants of BCO metaheuristics.*

Keywords: *Bee colony optimization, traffic, transport*

1. UVOD

Značajan broj problema iz oblasti saobraćaja i transporta spada u probleme kombinatorne optimizacije. Za probleme ovog tipa karakteristično je da imaju veliki broj dopustivih rešenja (izražena veličina prostora pretraživanja), kao i veliki broj raznolikih ograničenja. Složenost i dimenzije problema dovode do toga da se za rešavanje problema iz oblasti saobraćaja i transporta poslednjih decenija veoma često koriste raznorodne metaheuristike. Čest izvor ideja za razvoj metaheurističkih algoritama su različiti procesi u prirodi. Metaheuristika o kojoj je reč u radu, Optimizacija kolonijom pčela, pripada grupi algoritama inspirisanih ponašanjem zajednica životinja, konkretno ponašanjem pčela.

U radu je detaljno prikazan pregled literature u kojima se upravo Optimizacija kolonijom pčela koristila kao alat za rešavanje kombinatornih problema iz oblasti saobraćaja.

Rad je organizovan na sledeći način. Nakon uvodnog dela, prikazani su pseudokodovi dve podvrste *BCO* algoritma. U trećem poglavlju su sistematizovani radovi, disertacije i knjige u kojima se navedena metoda koristi za rešavanje problema iz oblasti saobraćaja i transporta. Nakon ovoga su data zaključna razmatranja.

2. OPTIMIZACIJA KOLONIJOM PČELA

Optimizacija kolonijom pčela (engl. *Bee Colony Optimization - BCO*) je prvi put predstavljena u radovima Lučić & Teodorović (2001, 2002, 2003a, 2003b) pod nazivom *Bee System*. Algoritam je vremenom evoluirao i u radu Teodorović & Dell'Orco (2005) nazvan je imenom koje danas nosi – *Bee Colony Optimization*.

S obzirom da se *BCO* metaheuristika koristila u brojnim radovima predstavljenim na ranijim konferencijama SYM-OP-IS (Teodorović & Šelmić 2007, 2008, Nikolić *et al.* 2014, Teodorović *et al.* 2017), autori će ovde preskočiti opšti opis metaheuristike i prikazati samo pseudokodove dve *BCO* varijante koje su se vremnom izdvojile kao veoma uspešne: (1) konstruktivna varijanta (*BCOc*) i (2) varijanta zasnovana na poboljšanju rešenja, tzv. *improvement* varijanta (*BCOi*).

U konstruktivnoj varijanti pčele postepeno grade rešenje kroz iteracije, dok u varijanti zasnovanoj na poboljšanju rešenja, pčele na početku pretrage imaju kompletno rešenje, koje kasnije kroz iteracije menjaju sa ciljem da ga poboljšaju.

Konstruktivna varijanta *BCO* prva je razvijena verzija algoritma.

Pseudokod konstruktivne varijante *BCO* algoritma prikazan je u algoritmu 1.

Algoritam 1. Pseudokod konstruktivne varijante *BCO* algoritma, *BCOc* (Nikolić 2015)

```
1   Inicijalizacija: Dodeljivanje praznih rešenja svim pčelama.
2   do
3   for i = 1 to NP
4       Let unapred
            1   for i = 1 to NC
            2       for b = 1 to B
            3       Vrednovati sve moguće korake pčele b.
            4       Korišćenjem ruleta izabrati jedan korak.
            5       next
            6   next
5       Let unazad
            1   Normalizacija kriterijumske funkcije za generisana rešenja.
            2   Provera lojalnosti za sve pčele.
            3   Regrutacija (pridruživanje neopredeljenih pčela nekoj od lojalnih pčela).
6   Proveriti da li je dostignuto do tad najbolje rešenje. Ukoliko je dostignuto do tad najbolje rešenje, sačuvati ga.
7   next
8   while (nije dostignut kriterijum zaustavljanja).
```

Varijanta *BCO* koja se zasniva na poboljšanju rešenja prvi put je korišćena u radu čiji su autori Davidović *et al*. (2011). Nova varijanta *BCOi* razvijena je kako bi se prevazišli nezadovoljavajući rezultati, dobijeni kod nekoliko kombinatornih problema na koje je primenjena konstruktivna varijanta *BCOc* (Davidović *et al.* 2015). Pseudokod improvement varijante, *BCOi,* algoritma prikazan je u algoritmu 2.

Algoritam 2. Pseudokod *improvement* varijante *BCO* algoritma, *BCOi* (*Nikolić* 2015)

```
1   Generisati početno rešenje
2   do
3   Dodeliti rešenja svim pčelama
4   for i = 1 to NP
5       Let unapred
            1   for i = 1 to NC
            2       for b = 1 to B
            3       Izvršiti jednu promenu rešenja pčele b.
            4       next
            5       Proveriti da li je dostignuto do tada najbolje rešenje.
                    Ukoliko je dostignuto do tada najbolje rešenje, sačuvati ga.
            6   next
6       Let unazad
            1   Normalizacija kriterijumske funkcije za generisana rešenja.
            2   Provera lojalnosti za sve pčele.
            3   Regrutacija (pridruživanje neopredeljenih pčela nekoj od lojalnih pčela).
7   next
8   while (nije dostignut kriterijum zaustavljanja).
```

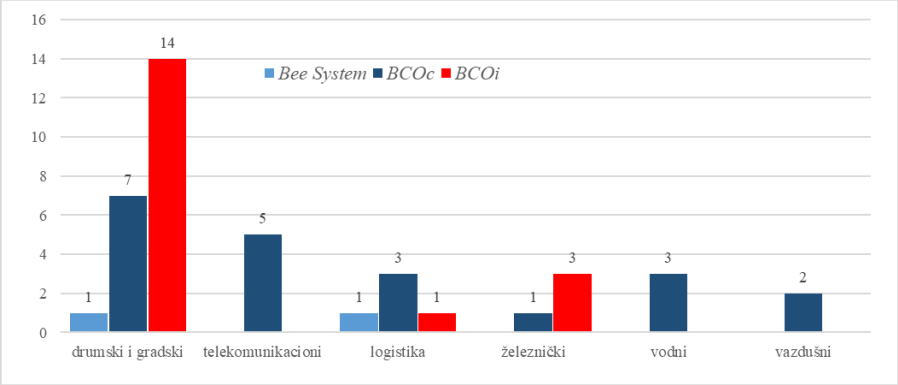
3. PREGLED LITERATURE

U razmatranim radovima, u kojima je *BCO* metaheuristika korišćena kao alat za rešavanje, javljaju se problemi iz gotovo svih vidova saobraćaja: drumskog i gradskog (22 rada), logistike (5), vazdušnog (2), železničkog (4), vodnog (3), kao i telekomunikacionog saobraćaja (5). Na slici 1 prikazan je pregled broja radova po vidovima saobraćaja.

Dobro poznati problem iz oblasti **drumskog saobraćaja** i **logistike,** problem rutiranja vozila, rešavan je u radu Lučić & Teodorović (2003b) i to primenom bazične varijante algoritma nazvane *Bee system*, dok je u radu Marinelli *et al.* (2019) korišćena *BCOc*. Varijanta *BCOi* je korišćena u radovima Nikolić *et al.* (2013, 2014), gde je rešavan problem rutiranja vozila sa vremenskim intervalima, i Nikolić & Teodorović (2015) u kome je razmatran problem određivanja novih ruta vozila zbog povećane potražnje u čvorovima.

Još jedan problem iz oblasti drumskog i gradskog saobraćaja koji je rešavan *BCO* metaheuristikom je problem povezivanja zajedničkih vožnji, tzv. *ride-matching* problem. Ovaj problem su rešavali autori Teodorović & Dell'Orco (2005, 2008) koristeći *BCOc* varijantu metaheuristike.

Problemom ublažavanja posledica poremećaja u odvijanju saobraćaja bavili su se autori Nikolić *et al.* (2015) kao i Nikolić & Teodorović (2019) primenjujući u svojim radovima *BCOi* varijantu metaheuristike. U ovim radovima je razvijen pseudokod *BCOi* varijante koji se danas dominantno koristi.



Slika 1. Pregled broja radova po vidovima saobraćaja

Rešavanjem problema lociranja senzora na transportnim mrežama bavili su autori Šelmić *et al.* (2008) i Teodorović *et al.* (2010) primenjujući *BCOc*, kao i Teodorović *et al.* (2017) i Jovanović *et al.* (2019, 2020, 2021) primenjujući *BCOi*. Autori su u prvim radovima poredili *BCOc* sa Genetskim algoritmima, a u najnovijim radovima poredili su rezultate dobijene *BCOi* metaheuristikom sa onim koji su ostvareni nakon primene poznate tehnike Simulirano kaljenje. Pokazano je da je *BCOi* veoma kompetitivna posebno na problemima većih dimenzija.

Problemom lociranja inspekcijskih objekata na transportnim mrežama bavili su se Šelmić *et al.* (2010) primenjujući *BCOc* varijantu metaheuristike. U ovom radu je prvi put *BCOc* kombinovana sa višekriterijumskom optimizacijom, pa je za te potrebe korišćeno Kompromisno programiranje u kombinaciji sa metaheuristikom.

Problemom upravljanja izolovanom signalisanom raskrsnicom bavili su se Jovanović & Teodorović (2017), a problemom zonskog upravljanja autori Jovanović *et al.* (2017) primenjujući *BCOi*.

Rešavanjem problema procene vremena putovanja bavili su se Dell'Orco *et al.* (2016) primenjujući *BCOc* varijantu metaheuristike.

Projektovanjem mreže linija javnog prevoza bavili su se autori Nikolić & Teodorović (2013, 2014), kao i Zhang *et al.* (2015) koristeći *BCOi* varijantu metaheuristike.

Problemom dodeljivanja parking pozicija aviona, koji pripada oblasti **vazdušnog saobraćaja**, bavili su se autori Dell'Orco, *et al.* (2017), kao i Marinelli *et al.* (2018) primenjujući *BCOc* varijantu metaheuristike.

Upravljanjem naknadama **u železničkom saobraćaju** bavili su se autori Bugarinović *et al.* (2015) koristeći *BCOi* varijantu metaheuristike. Problem planiranja rute autori Leong *et al.* (2016) rešavali su koristeći *BCOc* varijantu metaheuristike, a problem procene potrošnje električne energije autori Nikolić *et al.* (2019, 2020) rešavali su koristeći *BCOi* varijantu metaheuristike. U ovim radovima *BCOi* je korišćena kao alat za fino podešavanje funkcija pripadnosti fazi promenljivih koje su figurisale u radu. Takođe, uspešnost *BCOi* tehnike je potvrđena kroz poređenje ostvarenih rezultata sa onim dobijenim primenom metode *Simuliranog kaljenja*.

Problemom alokacije vezova brodova, iz oblasti **vodnog saobraćaja**, bavili su se autori Kovač (2013), Kovač *et al.* (2018), kao i Prencipe & Marinelli (2020) rešavajući ga pomoću *BCOc* varijante metaheuristike.

Problemom rutiranja i alokacije talasnih dužina na optičkim mrežama, iz oblasti **telekomunikacionog saobraćaja**, bavili su se autori Marković *et al.* (2007). Autor Marković (2016) bavio se problemom lociranja pretvarača talasnih dužina na optičkim mrežama, kao i problemom obezbeđivanja optičkih puteva na optičkim *WDM* mrežama u radu Marković (2017a, 2017b). Autori Miladić-Tešić *et al.* (2019) bavili su se rešavanjem problema agregacije saobraćaja. Svi autori su koristili *BCOc* varijantu metaheuristike.

Razvoj metaheuristike tokom godina iznedrio je sedam **doktorskih disertacija** koje se bave rešavanjem problema iz oblasti saobraćaja i transporta koristeći metaheuristiku Optimizacija kolonijom pčela.

Prva disertacija, Lučić (2002), bavi se rešavanjem problema trgovačkog putnika koristeći *Bee system* metaheuristiku, kao i stohastičkim problemom rutiranja vozila primenjujući kombinaciju metaheuristike *Bee system* i fazi logike. Disertacija Šelmić (2011) bavi se lokacijskim problemima u saobraćaju i transportu (lociranje detektora na auto-putevima, lociranje inspekcijskih stanica na transportnoj mreži, lociranje znakova o slobodnim parking mestima, kao i opštim lokacijski problem *p*-centara). Korišćene su obe varijante metaheuristike. Naredna disertacija, Nikolić (2015), bavi se problemima ublažavanja posledica poremećaja planiranih redova vožnji nastalih nedostatkom planiranog broja vozila javnog prevoza, poremećajima redova letenja i problemom dodeljivanja parking pozicija avionima u slučajevima kašnjenja pojedinih letova, kao i korigovanja planova distribucije robe projektovanjem novog skupa ruta vozila. Korišćena je *BCOi* varijanta metaheuristike. Problemi upravljanja izolovanom signalisanom raskrsnicom

(izbor signalnih planova) u fiksnom režimu rada, kao i upravljanja u zoni raskrsnica u fiksnom režimu rada rešavani su u disertaciji Jovanović (2017). Svi problemi su rešavani *BCOi* varijantom metaheuristike. U disertaciji Kovač (2018) rešavan je problem dodeljivanja vezova brodovima, sa ciljem minimizacije troškova. Problem je rešavan, između ostalih, i *BCOc* i *BCOi* metaheuristikama. Lociranje senzora na transportim mrežama rešavano je primenom *BCOi* varijante metaheuristike u disertaciji Jovanović (2020). Disertacija Miladić-Tešić (2020) bavi se optimizacijom performansi optičkih *WDM* mreža, agregacijom saobraćaja i konverzijom talasnih dužina i korišćena je *BCOc* varijantu metaheuristike.

Autori Teodorović & Šelmić (2012) objavili su **udžbenik** pod nazivom „Računarska inteligencija u saobraćaju“. U udžbeniku je, pored fazi skupova, fazi sistema, fazi logike, evolucionog računanja i veštačkih neuronskih mreža detaljno objašnjena inteligencija grupe i metaheuristika Optimizacija kolonijom pčela.

U **knjizi** pod nazivom „*Quantitative methods in transportation*“, autori Teodorović & Nikolić (2021) dali su prikaz metoda koje se široko koriste u različitim vidovima saobraćaja kao što su: matematičko programiranje, heuristički i metaheuristički algoritmi, simulacija, teorija redova i statistička analiza. U okviru poglavlja o metaheurističkim algoritmima opisani su Simulirano kaljenje, Genetski algortmi, Tabu pretraživanje, Optimizacija kolonijom mrava i Optimizacija kolonijom pčela. Način rada ovih tehnika ilustrovan je na problemu raspodele saobraćaja na puteve između dva čvora.

ZAKLJUČAK

U radu je dat pregled literature u kojoj su problemi iz oblasti saobraćaja i transporta rešavani korišćenjem metaheuristike Optimizacija kolonijom pčela, i to primenom njene dve varijante *BCOc* i *BCOi*. Nakon detaljne analize, može se zaključiti da se poslednjih godina *BCOi* znatno više koristi i da ostvaruje veoma konkurentne rezultate u poređenju sa drugim, poznatim tehnikama za rešavanje teških kombinatornih problema.

BCO metaheuristika je uspešno primenjivana na rešavanju problema iz gotovo svih vidova saobraćaja, mada trenutno prednjači primena na problemima iz oblasti drumskog i gradskog saobraćaja.

LITERATURA

[1] Bugarinović, M., Davidović, T. & Bošković, B. (2015). Management of the access charges level for the use of railway infrastructure by bee colony optimization, Book of Abstracts 18th EWGT, 2015, p. 184.

[2] Davidović, T., Ramljak, D., Šelmić, M., Teodorović, D. (2011). Bee colony optimization for the p-center problem. Computers and Operations Research, 38(10): 1367–1376.

[3] Davidović, T., Teodorović, D., Šelmić, M. (2015). Bee Colony Optimization Part I: The algorithm overview, Yugoslav Journal of Operations Research, 25 (1), 33-56.

[4] Dell'Orco, M., Marinelli, M., Ali Silgu & M. (2016). Bee colony optimization for innovative travel time estimation, based on a mesoscopic traffic assignment model. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 66: 48–60.

[5] Dell'Orco, M., Marinelli, M., Altieri & M.G. (2017). Solving the gate assignment problem through the Fuzzy Bee Colony Optimization, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 80:424-438.

[6] Jovanović A. & Teodorović D. (2017). Pre-timed control for an under-saturated and over-saturated isolated intersection: a Bee Colony Optimization approach. Transportation Planning and Technology, 40(5): 556-576.

[7] Jovanović, A. (2017). Izbor signalnih planova za upravljanje saobraćajem primenom optimizacije kolonijom pčela, doktorska disertacija, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.

[8] Jovanović, A., Nikolić, M. & Teodorović, D. (2017). Area-wide urban traffic control: A Bee Colony Optimization approach. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 77:329-350.

[9] Jovanović, I. (2020). Izbor i lokacija senzora na transportnim mrežama primenom metoda Operacionih istraživanja, doktorska disertacija, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.

[10] Jovanović, I., Nikolić, M. & Šelmić, M. (2021). A comparative analysis of metaheuristic approaches For sensors deployment problem on transport networks, International Journal for Traffic and Transport Engineering, 2021, 11(2): 310 – 322.

[11] Jovanović, I., Šelmić, M. & Nikolić, M. (2019). Metaheuristic approach to optimize placement of detectors in transport networks - Case study of Serbia, Canadian journal of civil engineering, NRC research press, 46(3): 176-187.

[12] Jovanović, I., Šelmić, M. & Nikolić, M. (2020). Komparativna analiza metaheuristika za rešavanje problema lociranja senzora na transportnoj mreži, SYM-OP-IS 2020, Beograd, 25-28. septembar 2020, str. 421-426.

[13] Kovač, N. (2013). Bee colony optimization algorithm for the minimum cost berth allocation problem, In: XI Balkan Conference on Operational Research, BALCOR, pp. 245-254.

[14] Kovač, N. (2018). Metaheuristički pristup rešavanju jedne klase optimizacionih problema u transportu. doktorska disertacija, Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.

[15] Kovač, N., Stanimirović, S. & Davidović, T. (2018). Metaheuristic Approaches for the Minimum Cost Hybrid Berth Allocation Problem. In: Konstantopoulos C., Pantziou G. (eds) Modeling, computing and data handling methodologies for maritime transportation. ISR Library (131): 22–68.

[16] Leong, K.H., Abdul-Rahman, H., Wang, C., Onn, C.C. & Loo, S.C. (2016). Bee Inspired Novel Optimization Algorithm and Mathematical Model for Effective and Efficient Route Planning in Railway System. PLoS ONE 11(12): e0166064.

[17] Lučić, P. & Teodorović, D. (2001). Bee system: modeling combinatorial optimization transportation engineering problems by swarm intelligence. In: Preprints of the TRISTAN IV Triennial Symposium on Transportation Analysis, Sao Miguel, Azores Islands, Portugal, pp. 441–445.

[18] Lučić, P. & Teodorović, D. (2002). Transportation modeling: an artificial life approach. In: Proceedings of the 14th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence, Washington, D.C., pp. 216–223.

[19] Lučić, P. & Teodorović, D. (2003a). Computing with bees: attacking complex transportation engineering problems. International Journal of Artificial Intelligence Tools. 12, 375–394.

[20] Lučić, P. & Teodorović, D. (2003b). Vehicle routing problem with uncertain demand at nodes: the bee system and fuzzy logic approach. In: Verdegay, J.L. (eds) Fuzzy Sets in Optimization. Springer-Verlag, Heidelberg Berlin, pp. 67–82.

[21] Lučić, P. (2002). Modeling Transportation Problems Using Concepts of Swarm Intelligence and Soft Computing, doctoral dissertatioin, Virginia Polytechnic Institute and State University, Falls Church, Virginia, USA.

[22] Marinelli, M., Caggiani, L., Alnajajreh, A. & Binetti, M. (2019). A two-stage Metaheuristic approach for solving the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup/Delivery and Door-to-Door service, 6th International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS).

[23] Marinelli, M., Palmisano, G., Dell'Orco, M. & Ottomanelli. M. (2018). Optimizing airport gate assignments through a hybrid metaheuristic, Advanced Concepts, Methodologies and Technologies for Transportation and Logistics, Book Series: Advances in Intelligence Systems and Computing Volume 572, pp. 389-404.

[24] Markovć, G. (2016). Wavelength converters placement in optical networks using Bee Colony Optimization, Advances in Electrical and Computer Engineering, 16(1): 3–10.

[25] Marković, G. (2017a). Revenue-driven lightpaths provisioning over optical WDM networks using Bee Colony Optimization, International Journal of Computational Intelligence Systems, 10(1): 481-494.

[26] Marković, G. (2017b). Routing and spectrum allocation in elastic optical networks using bee colony optimization, Photonic Network Communications, 34(3): 356-374.

[27] Marković, G., Teodorović, D. & Aćimović-Raspopović, V. (2007). Routing and wavelength assignment in all-optical networks based on the Bee Colony Optimization, AI Communications. vol. 20, pp. 273–285.

[28] Miladić-Tešić, S., Marković, G. & Radojičić, V. (2019). Traffic Grooming on Designing Elastic Optical Networks, In: ICEST, pp. 35-38, 27-29 June 2019, Ohrid, North Macedonia.

[29] Miladić-Tešić, S. (2020). Optimizacija performansi optičkih WDM mreža agregacijom saobraćaja i konverzijom talasnih dužina, doktorska disertacija, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.

[30] Nikolić, M. & Teodorović, D. (2013). Transit network design by bee colony optimization. Expert Systems with Applications, 40(15): 5945–5955.

[31] Nikolić, M. & Teodorović, D. (2014). A simultaneous transit network design and frequency setting: computing with bees, Expert Systems with Applications. 41(16): 7200–7209.

[32] Nikolić, M. & Teodorović, D. (2015). Vehicle rerouting in the case of unexpectedly high demand in distribution systems. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 55: 535–545.

[33] Nikolić, M. & Teodorović, D. (2019). Mitigation of disruptions in public transit by Bee Colony Optimization. Transportation Planning and Technology, 42(6): 573–586.

[34] Nikolić, M. (2015). Ublažavanje posledica poremećaja u odvijanju saobraćaja primenom metaheuristike Optimizacija kolonijom pčela, doktorska disertacija, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.

[35] Nikolić, M., Ćalić J., Šelmić, M. & Macura, D. (2019). Podešavanje fazi sistema za procenu potrošnje energije teretnih vozova primenom metaheuristike Optimizacija kolonijom pčela, Zbornik radova SYM-OP-IS 2019, Kladovo, 15-18. sept. 2019, pp. 672-677.

[36] Nikolić, M., Šelmić, M., Macura, D. & Ćalić, J. (2020). Bee Colony Optimization Metaheuristic for Fuzzy Membership Functions Tuning. Expert Systems with Applications, 113601.

[37] Nikolić, M., Teodorović, D. & Šelmić, M. (2013). Solving the Vehicle Routing Problem With Time Windows by Bee Colony Optimization Metaheuristic, In Proceedings of the 1st LOGistics International Conference LOGIC, Belgrade, Serbia, 44-48.

[38] Nikolić, M., Teodorović, D. & Šelmić, M. (2014) Rešavanje problema rutiranja sa vremenskim intervalima primenom optimizacije kolonijom pčela, Simpozijum o operacionim istraživanjima-SYM-OP-IS, Zbornik radova, pp. 655-660.

[39] Nikolić, M., Teodorović, D. & Vukadinović, K. (2015). Disruption management in public transit: the bee colony optimization approach, Transportation Planning and Technology, 38(2): 162-180.

[40] Prencipe, L.P. & Marinelli, M. (2020). A novel mathematical formulation for solving the dynamic and discrete berth allocation problem by using the Bee Colony Optimisation algorithm. Applied Intelligence. https://doi.org/10.1007/s10489-020-02062-y

[41] Šelmić, M. (2011). Lociranje objekata na transportnim mrežama primenom metoda računarske inteligencije, doktorska disertacija, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.

[42] Šelmić, M., Edara, P. & Teodorović, D. (2008). Bee colony optimization approach to optimize locations of traffic sensors on highways. Tehnika, vol. 6: pp. 9–15.

[43] Šelmić, M., Teodorović, D. & Vukadinović, K. (2010). Locating inspection facilities in traffic networks: an artificial intelligence approach. Transportation planning and technology, 33(6): 481–493.

[44] Teodorović D. & Šelmić, M., Nikolić, M., Jovanović, I. & Vidas M. (2017). Metaheuristički pristup za lociranje detektora na saobraćajnim mrežama, SYM-OP-IS 2017, Zlatibor, 25-28. September 2017, pp. 723-728.

[45] Teodorović, D. & Dell'Orco, M. (2005). Bee colony optimization - a cooperative learning approach to complex transportation problems. In Advanced OR and AI Methods in Transportation. Proceedings of the 10th Meeting of the EURO Working Group on Transportation, Poznan, Poland, 51–60.

[46] Teodorović, D. & Dell'Orco, M. (2008). Mitigating traffic congestion: solving the ride-matching problem by bee colony optimization, Transportation planning and technology. 31(2): pp. 135–152.

[47] Teodorović, D. & Nikolić, M. (2021). Quantitative methods in transportation, CRC Press, Taylor & Francis Group. ISBN 9780367250539

[48] Teodorović, D. & Šelmić, M. (2007). Rešavanje problema p-medijana primenom Optimizacije kolonijom pčela, Simpozijum o operacionim istraživanjima, SYM-OP-IS, Zlatibor, Zbornik radova, pp. 417-420.

[49] Teodorović, D. & Šelmić, M. (2008) Rešavanje problema p-centara primenom Optimizacije kolonijom pčela, Simpozijum o operacionim istraživanjima, SYM-OP-IS, Soko Banja, Zbornik radova, pp. 591-594.

[50] Teodorović, D. & Šelmić, M. (2012). Računarska inteligencija u saobraćaju, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd ISBN 978-86-7395-295-6.

[51] Teodorović, D., Šelmić, M. & Praveen, E. (2010). Bee colony optimization approach to optimize placement of traffic sensors on highways. In Proceedings of the 13th International Conference on Traffic Science, 27.-28. maj 2010, Portoroz, Slovenia.

[52] Zhang, H., Zhao, P., Gao, J., Zhuge, C. & Yao, X. (2015). An effective intelligent method for optimal urban transit network design, Journal of Information & Computational Science, 12(6): 2177- 2184.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

DELPHI SURVEY: THE FUTURE OF AIR TRANSPORT IN SERBIA

KATARINA KUKIĆ, SLAVICA DOŽIĆ, DANICA BABIĆ, MILICA KALIĆ

University of Belgrade – Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade,
{k.mijailovic, s.dozic, d.babic, m.kalic}@sf.bg.ac.rs

Abstract: *The Delphi survey has been designed to provide objective and in-depth insights in future development of Serbian air transport market. The research is conducted for two time horizons (2025 and 2035) due to large uncertainty related to current Covid-19 pandemic.*

Keywords: *Delphi survey, air transport, expert knowledge.*

1. INTRODUCTION

The demand for air travel is an unprecedented low level all over the world due to the Covid-19. The same situation happens in Serbian market and together with all the circumstances that affected aviation industry it is very hard to forecast how the future of air travel will look like. Due to large uncertainty related to current Covid-19 pandemic, gathering data in the future on this matter may be very challenging. This paper considers future projections of Serbian air transport applying Delphi survey, and it encompasses passenger requirements for the air transport as well as the innovations in airline and airport services.

The Delphi method is a structured communication technique whereby a group of people aim to arrive at a consensus through a series of questions and discussions, originally developed, and still often used in, future forecasting (Jolly et al., 2021). It is very useful tool for conducting the research in the situation when there is a lack of data and statistical support for the conclusions drawn (Schmidt, 1997). The results from the Delphi survey can be of great value for identifying and prioritizing issues for managerial decision-making.

Concerning the use of Delphi method in developing future scenarios, there are numerous papers which provide guidelines for this process. Okoli and Pawlowski (2004) presented detailed overview of the Delphi method together with the example of a research study design. The future trends in the European air transport sector were considered by Mason and Alamdari (2007). Transport experts rated some hypothesis about network carriers, low cost carriers and customers' behaviour in 10-15 years' time frame. They found that economic growth, business confidence, people's desire to travel and price are the key drivers of air travel demand. Linz (2012) presented scenarios on the future of aviation in 2025, obtained in Delphi panel with 57 participants. Besides impact of increasing industry vulnerability, finiteness of fossil fuels, and emissions trading, several wildcard scenarios were identified such as natural catastrophes, era of virtual communication, and home producing "fabbing" society. Recent paper by Kluge et al. (2020) considered future projections, time horizon 2035, of European air passengers in the light of intermodal, door-to-door (D2D) travel. Their research is based on a Delphi survey with 38 participants that resulted by three possible future scenarios: personalized D2D travel (high personalized digital-controlled future travel), integrated D2D travel (collaboration to offer integrated services and create valuable travel time) and the game changer (full monetization of the cabin by tech companies). Schmalz et al. (2021) co-submitted technical study on lessons learned from a Delphi-based scenario conducted for the needs of research by Kluge et al. (2020).

2. DELPHI SURVEY

In this section, the complete process of Delphi survey conducted during March and April 2021 will be explained. In addition, the results of the study will be presented, as well as descriptive statistics of the panellists' responses (consensus level, mean value, median, interquantile range (IQR) and standard deviation (SD) of agreement with projection, mean value of impact).

2.1. Methodology

Implemented methodology consists of five steps:

Step 1 – *Definition of objectives and time horizons*. The objective of this survey is to provide future air transport market outlook in Serbia. Due to the great uncertainty caused by the current Covid-19 pandemic, two-time horizons 2025 and 2035 were observed.

Step 2 – *Choice of experts*. For this study, a list of potential participants was made. From the group of 14 experts who were contacted by e-mail or by phone, 12 agreed to participate (86% response rate) five of panellists were professors/researchers, two from airport, two from airlines, one from air traffic control, one from civil aviation authority and one from travel agency. All of them participated in both rounds. The gender distribution of expert was equal – six female and six male participants. Average age of participants was 48.7 years (min 34, max 75) and average working experience was 23 years (min 9, max 41).

Step 3 – *The survey: questions related to expert's profiles, projection developments, setting up response scales and criterion of consensus.* The first part of the questionnaire is related to demographic characteristics of panellists (gender, age, education, position in company etc.). Projection development process resulted by narrowing the selection from 60 to 40 projections on the future in Serbian air travel market, 20 for both observed time horizons trough two internal workshops. A four-point Likert scale, as response scale, was used (1 – Don't believe it will happen, 2 – It will unlikely happen, 3 – It will likely happen, 4 – It will very likely happen). Besides agreement with projection, participants assessed how strongly it will impact the market. The impact was rated from 1 – It will not impact at all to 4 – It will have a strong impact. Consensus level of 75%, both for positive and negative projection's agreement, is established.

Step 4 – *Execution of the survey: 1st round, interim analysis, 2nd round, final analysis, providing feedback to panellists.* The survey was delivered by e-mail consisted of the cover letter with explanations and questionnaire as attachment. The questionnaire was created in Microsoft Word using check-boxes for answers and with open response fields for additional comments or questions. The panellists had one week per each round to complete the questionnaire. After both rounds, the feedback was provided to panellists.

Step 5 – *Results and derived conclusions*. Based on accepted and rejected projections, the possible future air transport market outlook in Serbia is presented and analysed.

2.2. Delphi survey projections and results discussion

The results and related descriptive statistics of the first Delphi round are summarized in Table 1, in terms of the mean values, medians, and standard deviations, including the explanation of respective projections. Moreover, for each projection mean value of impact, interquantile range and consensus level are presented. A small IQR indicates a large consensus among the experts. Projections without consensus level after the second round were rejected and were not considered in analysis. Figure 1 presents the accepted, rejected and projections for which the consensus was not reached, in both rounds. The experts reached positive consensus (ratings 3 and 4, given by at least 75% of participants) on 8 of the 40 statements in the first round (3 for 2025 and 5 for 2035). Also, 11 projections (6 for 2025 and 5 for 2035) were rejected since experts reached consensus level on negative agreements (ratings 1 and 2, given by at least 75% of participants). The rest of the projections where the consensus was not reached, were enriched with the comments obtained in the first round and together with a summary analysis of the content were sent to the experts in the second round. In total, there were 53 usable comments. Additionally, the future political and economic situation in Serbia were estimated and described in brief.

The projections that have a mean value of the agreement greater than or equal to 2.5, which is equivalent to 'It will very likely happen' (they also correspond to the high levels of mean impact), indicate a high relevance of those projections addressed in the Delphi. The highest value of the agreement with projection was estimated for projection P20-2025 with a mean of 3.25, consensus level of 92 % and mean impact of 3.08 and for projection P11-2035 with a mean of 3.33, consensus level of 83% and mean impact 3 out of 4.

Due to the Covid-19 pandemic and the large uncertainty related to air transport recovery, 2025 is proposed as short-term horizon for future projection, while 2035 is proposed for long-term projection, as in the case of relevant air transport forecasts. Considering short-term projections, participants agreed in the range from 75-92% to accept projections that refer to air transport recovery (P4-2025), passenger number increase (P1-2025) and ticket prices increase (P20-2025), (Table 1, Figure 1). In the range 75-100%, participants agreed to reject projections which are opposite to participants' belief that the pandemic will be finished by 2025, without negative impact (P2-2025, P5-2025, P11-2025, P12-2025, P13-2025, P18-2025), (Table 1, Figure 1). The mean values for these projections are low (from 1.5 to 2.08), as well as the mean impact (from 1.67 to 2.5). Regarding long-term projections (2035), in the first round 10 projections achieved consensus – five of them with positive agreement were accepted, while five with negative agreement were rejected. Digitalization and automation processes will have strong impact on air transport market in 2035, but despite these processes human help will be needed (P1-2035, P3-2035, P11-2035, P17-2035, P20-2035).

Rejected projections also considered digitalization and automation, but participants agreed that fully automated flights will not be introduced (P2-2035), "eco-friendly" segment of passenger will not appear (P8-2035), virtual tourism will not partially replace tourism (P10-2035), other modes of transport will not take over a significant proportion of air passengers (P14-2035) and structure of air passengers with respect to age will not change (P19-2035).

Table 1: Projections which reached consensus in the first Delphi round

Projections for 2025	Cons. Level	Mean	Med.	IQR	SD	Mean impact
P1-2025: In 2025, changes in relations between Serbia and other countries (agreements encouraging travel) will result in easier travel conditions, which will lead to an increase in the number of passengers at airports in Serbia.	83% agree	2.92	3	0	0.51	2.83
P4-2025: In 2025, Serbian air traffic will completely recover, and it will return to 2019 level.	75% agree	3	3	1.5	0.74	3.25
P20-2025: The average air ticket price of per flight in 2025 will be higher compared to the period before the pandemic.	92% agree	3.25	3	1	0.62	3.08
P2-2025: In 2025, changes in relations between Serbia and other countries (introduction of restrictions) will result in more difficult travel conditions, leading to a reduction in the number of passengers at airports in Serbia.	75% dis.	2.08	2	0.75	0.67	2.5
P5-2025: The Covid-19 epidemic will still last in Serbia in 2025. The travel will be possible with a vaccination certificate or a negative PCR test.	92% dis.	1.58	1.5	1	0.67	2.5
P11-2025: In 2025, tourists will prefer a smaller airports and less known destinations to avoid the crowds.	83% dis.	2.08	2	0	0.51	2.33
P12-2025: The Covid-19 epidemic will still last in Serbia in 2025. A new segment of passengers that use the pandemic situation as a travel challenge (due to low demand, low prices of airline tickets and accommodation at tourist destinations are offered) will emerge.	92% dis.	1.67	2	1	0.65	2.33
P13-2025: The consequences of Covid-19 (people suffer due to stress, long locking, lack of personal contacts, fear of infection) in 2025 will initiate travels for meditation (from Serbia to India and the Far East) in large numbers, so these passengers will form a special segment.	100% dis.	1.5	1.5	1	0.52	1.67
P18-2025: In addition to the recommended distance, which affects the increase of the distance between the passengers on-board, in 2025, a new service which gives the possibility to reserve one more seat, in order to make the passenger feel safer will be introduced.	92% dis.	1.92	2	0	0.51	2.08
Projections for 2035						
P1-2035: In 2035, a large number of services at the airport will be automated (there will no longer be check-in counters at airports, but only drop-offs etc.).	83% agree	2.92	3	0	0.79	3.17
P3-2035: Passengers will continue to seek help from employees at the airport and airline, despite the processes of automation and digitalization in 2035.	92% agree	3.08	3	0	0.51	2.58
P11-2035: In 2035, advanced information and communication technology will partially replace business travel in air transport (virtual meetings).	83% agree	3.33	3.5	1	0.78	3
P17-2035: In 2035, digital literacy of air passengers in Serbia will be at a high level (close to 100%).	83% agree	2.67	3	0	0.78	2.83
P20-2035: In 2035, an increasing number of residents of Serbia will work online for employers abroad. They will have higher salaries which will result in an increasing number of non-business travels in air transport.	75% agree	2.83	3	0.75	0.58	2.92
P2-2035: In 2035, fully automated flights (without pilots) will be introduced.	92% dis.	1.41	1	1	0.67	2.08
P8-2035: In 2035, passengers in Serbia will be more environmentally conscious and they will choose environmentally responsible airlines (airlines that use solar or electric aircraft). A new "eco-friendly" segment will appear.	83% dis.	1.67	1.5	1	0.78	2.08
P10-2035: In 2035, advanced information and communication technology will partially replace real air travel (virtual tourism).	83% dis.	2	2	0	0.6	2.33
P14-2035: High-speed rail and new highways in Serbia will take over a significant proportion of air passengers in 2035.	92% dis.	1.67	2	1	0.65	1.75
P19-2035: In 2035, passengers aged between 26 and 45 will travel less than in 2019.	83% dis.	1.83	2	1	0.71	2.17

The second Delphi round included the group response analysis and aggregated comments in form of additional explanation for each projection without consensus in the first round. Each expert had the chance to revise answers from previous rounds based on the stated group opinion and explanations (11 projections for 2025 and 10 projections for 2035). In the second round consensus was once again defined at 75% agreement rate. Table 2 summarizes the Delphi descriptive statistics for the projections that reached the threshold in the second round. The numbers of additional projections that reached consensus are: six for 2025 and seven for 2035. In total, 32 of 40 projections reached both, positive (18) and negative (14) consensus in two rounds.

The short-term projections accepted in the second round refer to number of passengers and number of travels in the near future, and according to participants in the Delphi survey, the number of business travels

will be reduced (P8-2025), the number of tourist and private travels will increase sharply (P10-2025), and the number of air passengers without their own income will decrease (P9-2025). What will not happen according to rejected projections is increase of share of business travels in the total number of travels (P7-2025), use of air taxi service instead of the business class of regular carriers (P15-2025) and avoidance of connecting flights (P16-2025). The long-term projections accepted in the second round, indicate that pandemic will have influence on air transport organization (P4-2035, P5-2035, P6-2035), new services (P7-2035) and the share of specific categories of passengers (P13-2035, P15-2035, P18-2035). The projection P15-2035 reached the consensus level of the maximum 100% and corresponding smallest value of the SD (0.29).

A statistical analysis revealed a decrease in SD of most of the projections after the second round (in Table 2 the first row in SD column represents SD from round one, and the second row from round two). This result is in line with the rationale behind the Delphi method, which allows the comments received from experts in the first round to be used for better projection explanation, and in turn to result in convergence among the expert panel's opinions and an increased consensus. Only projections P8-2025, P9-2025, P13-2035 and P18-2035 recorded an increase in SD. This change in SD between rounds was used as a measurement of convergence of group opinion. The highest convergences between the rounds were measured for projection P6-2035 with a decrease in SD of 45% and projection P7-2035 with a decrease in SD of 36%. Concerning P6-2035 in the second round we added the part "due to the existence of new pandemics" at the end of the sentence to additionally explain it, and it resulted by mentioned decrease in SD as well as raising consensus level from 50% in the first round to 83% in the second round. Projection P7-2035 was enriched by comment that currently large number of companies in the world are engaged in the production of new types of aircraft (so-called flying vehicles) waiting to be licensed, related to the certification of new types of aircraft up to 15 passenger seats. Beside decrease of SD, consensus level raised from 58% in the first round to 75%.

Table 2: Projections which reached consensus in the second Delphi round

Projections for 2025	Cons. Level	Mean	Median	IQR	SD	Mean impact
P8-2025: In 2025, the number of business travels will be reduced by about 20%, due to people greater experience in using online meeting platforms and reducing travel costs.	83% agree	3.33	3.5	1	0.52 0.78	2.92
P9-2025: In 2025, the number of air passengers without their own income (e.g. students, housewives, etc.) will decrease due to the expected reduction in purchasing power of persons supporting them.	83% agree	3	3	0.75	0.72 0.85	2.58
P10-2025: In 2025, after a pandemic and a prolonged lockdown, the number of tourist and private travels will increase sharply.	83% agree	3.08	3	0.75	0.72 0.67	3.08
P7-2025: In 2025, the share of business travels in the total number of travels will be higher compared to 2019 due to reduction in the number of non-business travels.	75% dis.	2.08	2	0.75	0.79 0.67	2.42
P15-2025: In 2025, some passengers will use air taxi service instead of the business class of regular carriers. The group of business travellers will share the cost of the air taxi service, thus the cost per passenger would approach the price of a business class ticket.	83% dis.	1.91	2	0.75	0.79 0.67	2
P16-2025: In 2025, the connected flights will be avoided due to the higher risk of infection while changing the plane and waiting at the transfer airport. Passengers will prefer direct flights. Part of the passengers will give up of travels that involve transfers.	75% dis.	2.17	2	0.75	0.87 0.58	2.33
Projections for 2035						
P4-2035: In 2035, additional pandemic procedures will become part of the standard airport procedures, as a precaution and frequent occurrences of new pandemics.	83% agree	3.17	3	1	0.97 0.72	3
P5-2035: In 2035, airports will have separate areas for passengers coming from Pandemic safe and Pandemic Non-safe countries (with the necessary documentation and/or entry procedures). Due to the risks of infection in some countries are significantly higher than in other countries, it is necessary to separate the passengers' flows in order to prevent the uncontrolled spread of infectious diseases.	75% agree	2.92	3	0.75	0.90 0.67	3
P6-2035: In 2035, additional airport/airline fees will be introduced for necessary medical tests (PCR or rapid serological test) due to the existence of new pandemics.	83% agree	2.92	3	0	0.90 0.51	2.83
P7-2035: In 2035, air-taxi with the capacity of up to 15 seats will offer new service "taxi sharing" and the price will be slightly higher than air ticket in business class of traditional airlines.	75% agree	2.83	3	0.75	0.89 0.58	2.42
P13-2035: In 2035, the development of medical tourism (spas, dentistry, physiatry, aesthetic surgery, etc.) will cause a significant increase of foreign passengers share (diaspora and foreigners) in air transport.	75% agree	3	3	1.5	0.67 0.74	2.83
P15-2035: In 2035, the share of women among business travellers will increase in the air transport market (the share of women in business travels is about 30%).	100% agree	3.08	3	0	0.65 0.29	2.58
P18-2035: In 2035, the share of air passengers over the age of 65 will increase.	75% agree	2.83	3	0.75	0.51 0.58	2.5

The following eight projections did not reach consensus after the second round: P3-2025: In 2025, the total number of passenger at Serbian airports will decrease comparing to 2019. P17-2025: Additional procedures introduced due to the Covid-19 pandemic will be applied in 2025 as a precaution measures and prevention of another pandemic. This will increase the time spent at the airport before the departure. P14-2025: The number of air passengers traveling on a weekend (city break) will be significantly reduced in 2025 due to the economic crisis and the required medical documentation necessary for travel. P6-2025: In 2025, the business traveller segment will be the first, compared to other passenger segments, to recover to the level of 2019. P19-2025: In 2025, robot cleaners, new personal protective equipment uniforms for flight attendants, and mandatory medical screenings will become a part of the service provided by the airlines, will give passengers a sense of security and will be one of the most important factors when choosing an airline. P12-2035: In 2035, technological innovations in the medical sense will be developed and offered as additionally charged service aiming to enable passengers with high fear of viruses to travel safer (individual helmets for passengers that will allow air not to be shared, etc.) due to the frequency of new pandemics. P9-2035: In 2035, the share of business travels in air transport will decrease compared to 2019 and in line with the decades-long declining trend. P16-2035: The number of single (independent, individual) travels in 2035 will be significantly higher than in 2019. This phenomenon will occur as a consequence of great alienation among people.

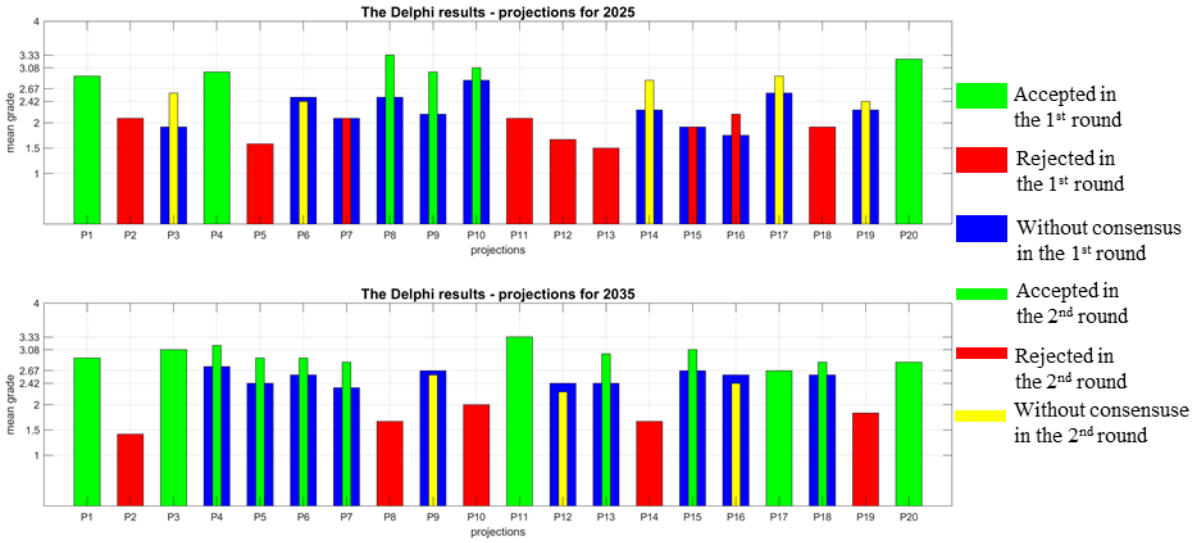


Figure 1: The Delphi results – all projections

Considering all above-mentioned and according to the expert knowledge, it could be expected that air traffic will recover by 2025 (to the 2019 level), but the number of business travels will reduce and it will take longer to recover due to the positive experience with virtual meeting platforms. The experts agreed that remote work and other flexible working arrangements are likely to remain in the period after pandemic and people will take fewer business travels. Also, the number of air passengers without their own income will decrease. The recovery of air transport market in Serbia will be encouraged by easier travel conditions for passengers between Serbia and other countries. Despite the expected average air ticket price increase in 2025, caused by the airline industry crisis, the experts expect relatively fast recovery of air transport in Serbia. This opinion is supported by the fact that people were in lock-down for a long period and they are very eager to travel. Moreover, the experiences with previous crises also indicate that leisure travels or visiting friends and relatives tended to rebound first. Taking all this into consideration it is obvious that this situation with pandemic will make some shifts in passenger behaviour and air transport sector in Serbia. Although it is expected that traffic volume in 2025 will reach the 2019 level, airline should reconsider their operations in terms of pricing (e.g. cost-driven pricing), network and schedule redesign (e.g. more leisure-oriented routes) and aircraft cabin configuration (e.g. to address the increased share of leisure traffic).

According to the experts' opinion, 2035 will bring numerous innovative changes in air transport in Serbia. One aspect of the changes is related to the introduction of automation and digitalization in many airline and airport services (fully automated check-in, pre-security, boarding, etc.). Automation in operations will improve operational processes but it will also reduce the number of human staff required. All new solutions generally imply high investment cost at the beginning, and this will be very challenging task for all air transport operators in the period after the pandemic, but their implementation is justified with significantly

reduced operational costs in the long run. However, it is expected that air passengers in Serbia will show good response on the digitalization. Along with these changes, the new procedures in the airline and at the airport will be introduced as a standard (e.g. PCR test, rapid serological test, passenger separation based on originating country, etc.). Non-business passengers will travel frequently by air (leisure or visiting friends and relatives) due to the fact that: a) more people from Serbia will work online for foreign companies, and they will have a salary significantly higher than Serbian average; b) medical tourism will attract foreigners and emigrants from Serbia due to significantly cheaper medical services (dental services, cosmetic and plastic surgery, spa treatments and physical therapy); c) people who are middle aged at this moment and have a habit to travel, will continue to travel frequently even when they retired (which is much more in comparison with todays retired population). On the other hand, regarding the business segment, a share of females will be larger than in past decades. Results from previous studies in Serbia (Kuljanin and Kalić, 2015), shows that females represent 30% of business travellers and it is expected to increase up to 50% in 2035.

3. CONCLUSION

The purpose of this study was to assess characteristics of air passengers, as well as changes in airline and airport procedures and services in Serbia for two time-horizons 2025 and 2035. A Delphi survey appears to be very suitable interactive forecasting method for drawing together the views of industry and academic experts in order to assess how the air transport will look like after the pandemic and what is the further direction of future air transport development in Serbia.

As an overall impression of conducted Delphi survey, it can be said that experts who participated showed moderate optimism regarding development and recovery of air transport in Serbia. More precisely, it is expected that volume of air traffic in 2025 will be at 2019 level. However, pandemic Covid-19 will remain some consequences which will be mostly seen in changed airline and airport procedures. Experts are very consistent that Serbia will follow the global process of automation and digitalization but despite these changes, passengers will continue to seek help from employees at the airport and airline.

On the other hand, it is evident that in Serbia, the environmental awareness of passengers in 2035 will not be developed. It is, also, interesting to note that experts agreed that high speed rail development and new highways in Serbia will not significantly influence the number of air passengers in Serbia.

Acknowledgement

This study has been supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development, Republic of Serbia, as part of projects TR36033 and TR36002 (2011-2021). The authors want to express their gratitude to all experts which participated in the Delphi survey.

LITERATURA

[1] Jolly, A., Caulfield, L.S., Sojka, B., Iafrati, S., Rees, J. & Massie, R. (2021). Café Delphi: Hybridising 'World Café' and 'Delphi Techniques' for successful remote academic collaboration. Social Sciences & Humanities Open, 3(1), 1-6.

[2] Kluge, U., Spinler, S. & Ringbeck, J. (2020). Door-to-door travel in 2035 – A Delphi study. Technological Forecasting & Social Change, 120096.

[3] Kuljanin, J. & Kalić, M. (2015). Exploring characteristics of passengers using traditional and low-cost airlines: A case study of Belgrade Airport. Journal of Air Transport Management 46, 12-18.

[4] Linz, M. (2012). Scenarios for the aviation industry: A Delphi-based analysis for 2025. Journal of Air Transport Management 22, 28-35.

[5] Mason, K. & Alamdari, F. (2007). EU network carriers, low cost carriers and consumer behaviour: A Delphi study of future trends. Journal of Air Transport Management 13, 299-310.

[6] Okoli, C. & Pawlowski, S. (2004). The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications. Information & Management 42, 15-29.

[7] Schmalz, U., Spinler, S. & Ringbeck, J. (2021). Lessons Learned from a Two-Round Delphi-based Scenario Study. MethodsX 8, 101179.

[8] Schmidt, R.C. (1997). Managing Delphi surveys using nonparametric statistical techniques, Decision Sciences 28(3), 763–774.

XLVIII Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23. September 2021.
MATΦ University of Belgrade Faculty of Mathematics
Mathematical Institute SANU

DOUBLE AUCTION-BASED MECHANISM FOR SECURITY-AWARE CLOUD RESOURCE PRICING AND ALLOCATION

BRANKA MIKAVICA, ALEKSANDRA KOSTIĆ-LJUBISAVLJEVIĆ

University of Belgrade – Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, {b.mikavica, a.kostic}@sf.bg.ac.rs

Abstract: *Auction mechanisms are often recommended as a convenient solution for cloud resource pricing and allocation. Cloud resources are offered in the form of the preconfigured Virtual Machines (VMs). Due to virtualization, VMs' security is another critical factor affecting both cloud provider and cloud customers. In this paper, we propose a novel double auction-based model to address revenues and security concurrently. The VMs' security modeling is used to assess the security level in various scenarios. A Vickey-Clarke-Groves (VCG)-based double auction is used for winner determination. The proposed model addresses the cloud provider's revenue, cloud customers' utility, and the number of successfully provisioned requests in a cloud system for various security-related scenarios.*

Keywords: *double auction, cloud virtual machine, security, pricing, allocation.*

1. INTRODUCTION

The cloud computing paradigm supports powerful resource integration and computing capabilities. The Infrastructure-as-a-Service (IaaS) deployment model is widely adopted to meet the cloud customers' demands through virtualization. Virtualization improves availability and concurrently supports hardware independence. However, due to virtualization, Virtual Machine (VM) security becomes an essential issue in a cloud environment. Most malicious attacks occur through compromised VM. Several types of VM-based attacks can be distinguished including VM side channel attack, VM attack through the hypervisor, live VM attack, disc injection to live VM attack, and VM migration attack [3]. Depending on the malicious attack's severity, VMs may fail to process cloud customers' requests, number of the available VMs may be reduced, and overflow failure may occur. These threats may be alleviated by security mechanism implementation. Hence, cloud customers' utility may be improved.

Cloud resource pricing and allocation are essential issues in a cloud environment. IaaS providers usually offer various pricing plans. Thus, Amazon EC2 applies on-demand, saving plans, reserved instances, and spot pricing [1]. The dominant pricing strategy among cloud providers is fixed pricing, charging a fixed price per VM, while the total payment depends on usage. However, the major drawback of fixed pricing plans is the lack of flexibility in a dynamic cloud environment. Auction-based mechanisms are often recommended as a promising solution for dynamic changes in demand and supply in a cloud market. If appropriately set, auctions support revenue maximization and enable fair distribution of resources among cloud customers that value them the most [2]. Balancing the cloud provider's and cloud customers' benefits can be achieved through double auction [4]. Double auction indicates that bidding is performed by both the provider and customers. In [7], a truthful, Vickey-Clarke-Groves (VCG)-driven double auction is used to balance multi-objective trade-offs between revenues, energy, and performance in IaaS clouds. A double auction can also be used to maximize profits for jobs with heterogeneous durations in cloud federations [5]. In this paper, we introduce a VM security modeling and analyze the effects of malicious attacks and security mechanisms implementation on VM's availability. Along with this, we use a double auction mechanism, based on VCG auction, to estimate the cloud provider's revenue, cloud customers' utility, and the number of successfully provisioned requests in various security-related scenarios.

The remainder of the paper is organized as follows. In Section 2, the cloud system model and problem statement are presented. Furthermore, Section 2 introduces a VCG-based double auction mechanism for the pricing and allocation of cloud resources. The calculation of the cloud provider's revenue, cloud customers' utility, and the number of successful trades is also presented. The evaluation of the proposed model is provided in Section 3. Simulation results under various evaluation parameters are presented in Section 4. Finally, Section 5 provides concluding remarks and future research directions.

2. SYSTEM MODEL AND PROBLEM STATEMENT

In this section, we present the system model and problem formulation. Figure 1 shows the proposed physical cloud system architecture. An essential part of the analyzed cloud architecture is the Cloud Operating System (COS). The COS manages the virtual cloud infrastructure (VMs, virtual switches, etc.), back-end hardware and software, and processes cloud customers' tasks. Cloud resources are segmented into preconfigured VM instances. Each VM is characterized by corresponding parameters including Central Processing Unit (CPU), memory, and network bandwidth. VMs are vulnerable to malicious attacks, due to enabled access over the network. Attacks may reduce the number of available VMs, and potentially, may lead to failure in the processing of cloud customers' tasks. Implementation of a security mechanism may alleviate these effects. However, the security mechanism consumes a part of the computation and storage resources, thus decreasing the capacity used to process cloud customers' tasks. In this paper, the term intensity is used to describe the algorithm complexity or security level of the implemented security mechanism [8].

We assume that all VMs can be divided into several Trust Zones (TZs), as shown in Figure 1. The term TZ denotes a combination of network segmentation and identity access management controls that define physical, logical, or virtual boundaries around network resources [3]. Segmentation of VMs into TZs facilitates the management and processing of various tasks in a cloud environment.

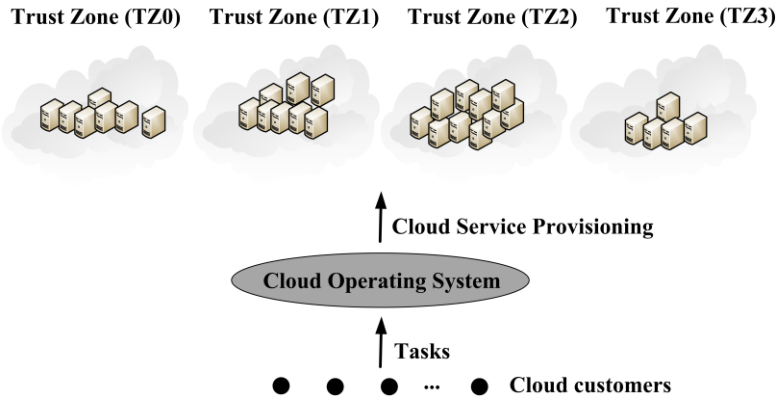


Figure 1: Cloud system architecture

For simplicity, we assume that all VMs in a TZ have the same computation and storage characteristics. Furthermore, we assume that all VMs within a TZ apply the unitive security mechanism with the same intensity. There are three intensities defined for security mechanism, comprising high, middle and low intensity. The higher complexity of the implemented algorithm implies a higher intensity of the given security mechanism, and hence, a higher security level. Four TZs can be distinguished depending on the implemented security mechanism: TZ0, TZ1, TZ2, and TZ3. TZ0 implements the security mechanism with high intensity, while TZ1 and TZ2 implement the security mechanism with medium and low intensity. Finally, TZ3 does not implement a security mechanism and there are no guarantees of security protection. Most attacks are unorganized, with random arrival rate [8]. The probability that a VM is threaten by a malicious attack is denoted by $p_a \in (0,1)$, while the probability that a VM remains available under an attack is denoted by $\beta_j \in (0,1)$, where $j \in \{0,1,2,3\}$ denotes the TZ. Since a lower security level causes a higher probability for a successful attack, it implies $\beta_0 > \beta_1 > \beta_2 > \beta_3$.

2.1. Double auction

The dynamic and security-aware cloud resource allocation and pricing is performed through a double VCG-based auction mechanism. The analysis is performed in *N* consecutive time slots. The proposed mechanism comprises three phases (bidding, winner determination, and resource matching and pricing) and three participants (the cloud provider, auctioneer, and cloud customers). The first phase in an auction process is bidding. At the beginning of each time slot, the cloud provider places its bids that represent asks for provisioning of cloud services in a VM, per each TZs. We assume that seller's bid for a TZ applies for all VMs in the given TZ. Therefore, at the beginning of each time slot *i* the cloud provider places bid, denoted by α_j^i, and it applies:

$$\alpha_j^i \in \left(v_j^i, \quad v_{u,j}\right), \ \forall i \in [1, N], \ \forall j \in [1, m_j], \ v_j^i > 0 \tag{1}$$

where v_j^i represents the cloud provider's costs for provisioning of cloud services by the VM in the TZ *j* in time slot *i*. Each TZ *j* comprises m_j VMs at the beginning of each time slot. $v_{u,j}$ in (1) represents upper bound for seller's bidding. Thus, bidding highly above real costs for service provisioning is prevented.

Concurrently, cloud customers place their bids, thus selecting a VM with a preferred security level (i.e., each cloud customer choses a TZ), and the value of the bid (cloud customer's willingness to pay for selected VM in a given time slot). The probability that a cloud customer chooses a VM in the TZ *j* in an auction process is denoted by $\phi_j \in (0,1)$. Set of all cloud customers that submit bids in the time slot $i \in [1, N]$ for the TZ *j* is denoted by B_j^i. The bid value of each cloud customer $b_j^i \in B_j^i$ can be expressed as follows:

$$\upsilon_{b_j^i} \in (0, \ p_{o,j}], \ \forall i \in [1, N], \ \forall j \in [1, m_j], \ p_{o,j} > 0 \tag{2}$$

where assumed maximum bid value is the on-demand price for the given VM initiation denoted as $p_{o,j}$. Furthermore, we assume that $\upsilon_{b_j^i}$ depicts the true valuation for the task execution on a VM in the TZ *j*. Thus, cloud customers have incentive to participate in the auction process, instead of purchasing a VM through fixed pricing plans.

It is important to emphasize that cloud customers have no information on other customer' bids. The arrival rate of cloud customers initiating the request for task execution can be modelled using a Poisson distribution with the parameters λ_h and λ_l for the period of high and low traffic load, respectively [6]. We assume that each cloud customer bids for a single VM, and each task can be executed within a single time slot.

Once bids of the cloud provider and cloud customers are placed, the winning set of the customers can be determined (phase II). Cloud customers' bids are sorted in the nonincreasing order by the values of the bids $\upsilon_{b_j^i}$. Thus, set of the cloud customers' winning bids is denoted by W_j^i and it applies:

$$\omega_{l_j}^i \geq \omega_{l_j+1}^i, \quad l_j + 1 \leq m_j, \quad \omega_{l_j+1}^i \geq \alpha_j^i, \quad \omega_{l_j}^i, \omega_{l_j+1}^i \in W_j^i \tag{3}$$

The cloud auctioneer takes the role of a trusted third-party and decides the mapping between the set of winning cloud customers and the cloud provider's offers.

Resource allocation and pricing are performed in the third phase of the auction process. Each cloud customer that wins in the auction initiates a VM of the required security level. The price for cloud service provisioning is determined using the VCG-based auction, where each winning customer pays the value of the next highest bid as long as the next highest bid is greater than the cloud provider's ask for a given VM, or the the value of their bid. Accordingly, if all VMs in the TZ *j* are available, i.e., there are no malicious attacks, or the security mechanism prevented failure due to the attack, the price per each VM k_j can be expressed as follows:

$$p_{j,k_j}^i = \begin{cases} \omega_{k_j+1}, & if \quad k_j < \left|B_j^i\right| \ \wedge \ \omega_{k_j+1} \geq \alpha_j^i \\ \omega_{k_j}, & if \quad k_j = \left|B_j^i\right| \ \wedge \ \omega_{k_j+1} < \alpha_j^i \\ 0, & otherwise \end{cases} \tag{4}$$

where (4) implies for $\forall k_j \in [1, m_j], \omega_{k_j}^i, \omega_{k_j+1}^i \in W_j^i$.

2.2. The cloud provider's revenue

The cloud provider's revenue, denoted by Θ, depends on the VMs' availability and the placed cloud customers' bids in the given time slot, and it can be expressed as follows:

$$\Theta = \sum_{i}\sum_{j}\sum_{kj} \gamma^{i}_{j,k_j} \cdot p^{i}_{j,k_j} \tag{5}$$

In (5), we introduce a binary parameter γ^{i}_{j,k_j} that takes the value of 0 if the VM k_j is unavailable due to the malicious attack in the current time slot, and 1 otherwise.

2.3. Cloud customers' utility

Customers' utility represents the difference between the true valuation of the bid placed, and the price paid to the cloud provider. Since each cloud customer pays the value that is equal or less than its true valuation, the utility is always a nonnegative value. Total customers' utility can be expressed as follows:

$$U = \sum_{i}\sum_{j}\sum_{k_j} \left(\omega_{k_j} - p^{i}_{j,k_j} \right) \cdot \gamma^{i}_{j,k_j} \tag{6}$$

The parameter γ^{i}_{j,k_j} in (6) indicates that denial of service due to successful malicious attack leads to the zero-utility for the customer whose task is provisioned in the VM under attack.

2.4. Number of provisioned requests

The number of provisioned requests, denoted by Ψ, shows the number of successful trades between the cloud provider and cloud customers. It indicates the number of customers that win in the auction process, i.e., their bid is in the set of the winning bids, and their task is being provisioned without termination due to the VM unavailability. Therefore, it can be represented as follows:

$$\Psi = \sum_{i}\sum_{j}\sum_{k_j} \gamma^{i}_{j,k_j} \cdot \left| W^{i}_{j} \right| \tag{7}$$

3. PERFORMANCE EVALUATION

To analyze the proposed system model, we performed a set of simulation experiments in the open-source programming language Python 3.7 in 1000 iterations. The analysis comprises $N = 24$ time slots of one-hour duration that can be divided into the periods of high and low traffic load. Time slots from $i = 7$ up to $i = 20$ belong to the period of high traffic load [6]. The average number of cloud customers takes values from the set (500, 1000, 1500). The number of cloud customers that initiate requests is modeled by the Poisson distribution parameters $\lambda_h = 1.25$ and $\lambda_l = 0.75$ for the periods of high and low traffic load, respectively. Cloud customers choose TZ j with the probability $\phi_j = 0.25$. There are 1200 VMs available the beginning of each time slot. Depending on the VMs allocation per each TZ, we observe several security scenarios, summarized in Table 1.

Table 1: Allocation of VMs per TZ

Scenario	The number of VMs per TZ			
	TZ0	**TZ1**	**TZ2**	**TZ3**
The highest security	540	320	220	120
High security	420	250	170	360
Medium security	300	200	100	600
Low security	180	110	70	840
The lowest security	60	36	24	1080

The probability of a VM malicious attack takes values from the set $p_a = \{0.5, 0.1, 0.2, 0.25\}$, while the probability of VM's availability under attack is 0.84, 0.75, 0.66, and 0.5, for TZ0, TZ1, TZ2, and TZ3, respectively [8]. The cloud provider's costs for cloud service provisioning per VM in each TZ are the following: 1.289, 0.859, 0.429, and 0.215, for TZ0, TZ1, TZ2, and TZ3, respectively. Selected VMs' on-

demand prices are 4.296 $/h, 2.864 $/h, 1.432 $/h, and 0.716 $/h, for TZ0, TZ1, TZ2, and TZ3, respectively [1].

Simulation results for the cloud provider's revenue, cloud customers' utility, and the number of successful trades per time slot, in both low and high traffic load are presented in Figure 2, Figure 3, and Figure 4, respectively.

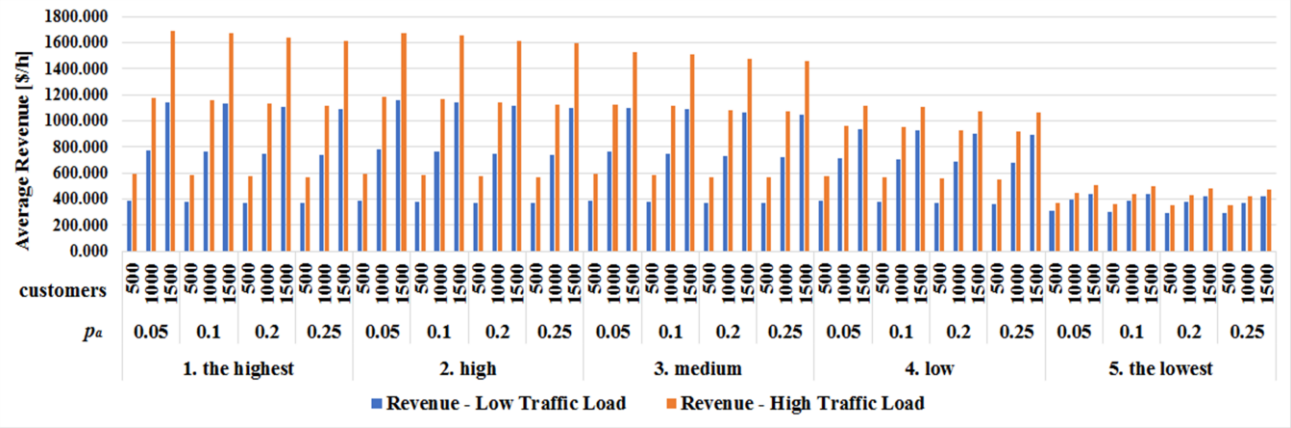


Figure 2: The average cloud provider's revenues in the periods of low and high traffic load [$/h]

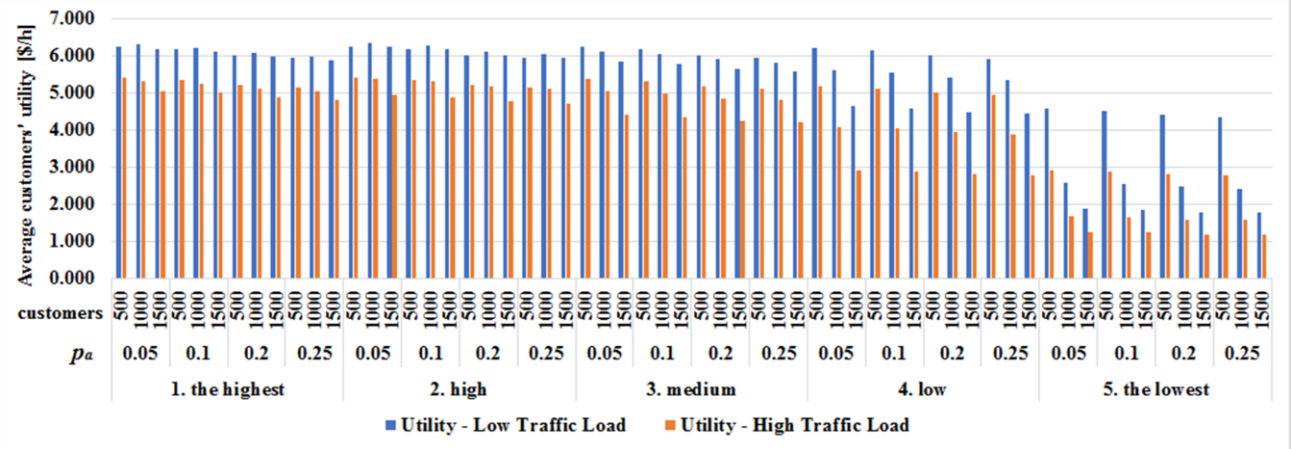


Figure 3: The average cloud customers' utility in the periods of low and high traffic load [$/h]

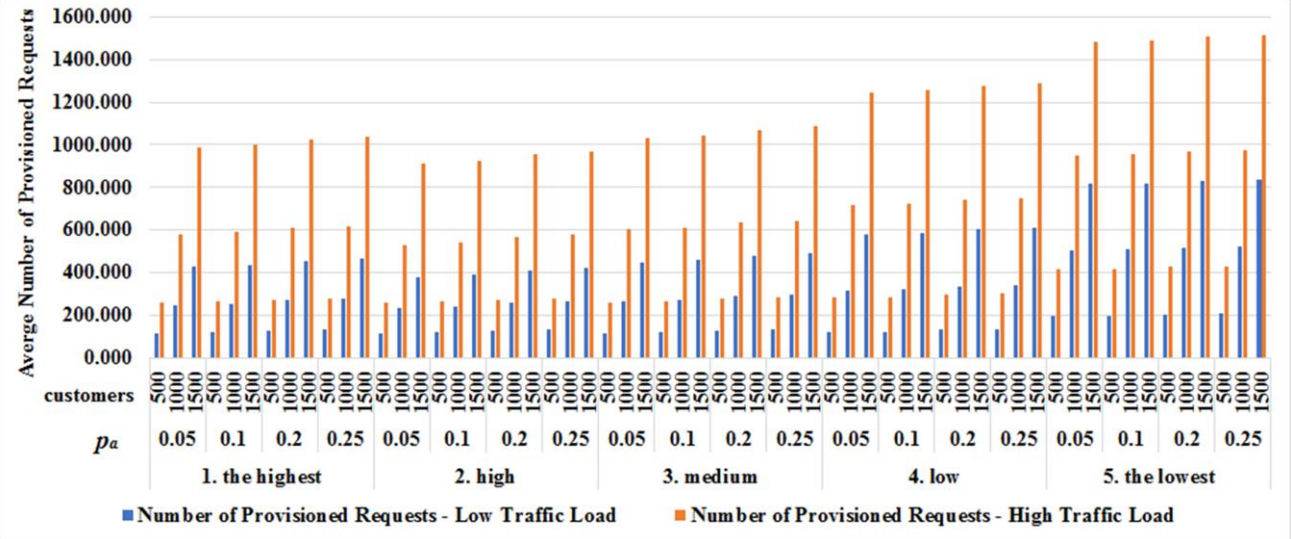


Figure 4: The average number of provisioned requests in the periods of low and high traffic load

In all observed security-related scenarios, the revenues increase as the number of cloud customers increases. The differences between revenues per time slot in the periods of low and high traffic load are the greatest for scenarios with the highest and high provided security level.

Cloud customers' utility is a crucial parameter affecting the overall customers' experience in cloud service provisioning. Since VMs' unavailability due to malicious attacks has a significant impact on the customers' utility, the scenario with the lowest security level is not preferable from the customers' perspective, as shown in Figure 3. However, prices for VMs in scenarios with improved security are greater, thus reducing the difference between customers' willingness to pay and the actual payment for VM initiation.

The average number of successfully provisioned cloud customers' requests indicates the number of successful trades between bidders and the cloud provider, i.e., the number of winners in a double auction mechanism. Scenarios with lower security level complete the greatest number of cloud customers tasks since more customers win in an auction, as indicated in Figure 4. However, tasks' rejection is increased in these scenarios. Therefore, comprehensive analysis is required to provide a compromising solution that balances multi-objective trade-offs in a cloud environment.

5. CONCLUSION

The paper addresses a VCG-based double auction pricing and allocation of cloud resources with the security assessment. Depending on the selected security level, VMs' availability can be improved, thus improving cloud customers' experience in cloud service provisioning. We analyze the cloud provider's revenue, cloud customers' utility, and the number of successful trades per time slot, in both low and high traffic load in several security-related scenarios. Extensive simulations show that investing in security can improve the cloud provider's revenues and customers' utility. However, it reduces the number of successfully provisioned tasks due to higher prices. The proposed model provides a cloud provider with an insight into relations among the revenue, and customers' utility. It can be used for the selection of appropriate security level to balance the multi-objective trade-offs between revenues, security, and customers' utility.

There are several future research directions. Since the implementation of security mechanism affects service performance, the proposed model can be extended to incorporate performance-related issues. The emerging constraints in energy consumption due to security mechanisms implementation and effects of resource allocation and pricing are also subjects for future study. Furthermore, checkpointing techniques can be introduced to observe impacts on revenues and cloud customers' utility.

Acknowledgement

This work was supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of Serbia [grant number TR 32025].

REFERENCES

[1] Amazon EC2 pricing. 2021. Available Online: https://aws.amazon.com/ec2/pricing/

[2] Baranwal, G., Kumar, D., Raza, Z., & Vidyarthi, D. P. (2018). Auction based resource provisioning in cloud computing. Singapore: Springer.

[3] Gonzales, D., Kaplan, J., Saltzman, E., Winkelman, Z., & Woods, D. (2017). Cloud-trust – A security assessment model for infrastructure as a service (IaaS) clouds. IEEE Transactions on Cloud Computing, 5(3), 523-536.

[4] Lu, L., Yu, J., Zhu, Y., & Li, M. (2018). A double auction mechanism to bridge users' task requirements and prviders' resources in two-sided cloud markets. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 29(4), 720-733.

[5] Lu, R., Liang, Y., Ling, Q., Li, C., & Wu, W. (2021). Double auction and profit maximization mechanism for jobs with heterogeneous durations in cloud federations. Journal of Cloud Computing, 10:34.

[6] Mikavica, B., & Kostić-Ljubisavljević, A. (2018). Pricing and Bidding Strategies for Cloud Spot Block Instances. Proceedings of the 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), Opatija, Croatia, 419-424.

[7] Patel, Y. S., Malwi, Z., Nighojkar, A., & Misra, R. (2021). Truthful online double auction based dynamic resource provisioning for multi-objective trade-offs in IaaS clouds. Cluster Computing.

[8] Xu, H., Qiu, X., Sheng, Y., Luo, L, & Xiang, Y. (2018). A QoS-Driven Approach to the Cloud Service Addressing Attributes of Security. IEEE Access, 6, 34477-34487.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

MODELIRANJE UZROKA IZLETANJA SA POLETNO-SLETNIH STAZA PRIMENOM ANALIZE STABLA OTKAZA

MODELLING OF RUNWAY EXCURSIONS USING FAULT TREE ANALYSIS

JOVANA SEKULIĆ[1], FEĐA NETJASOV[1]

[1] Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, Srbija
{j.sekulic, f.netjasov}@sf.bg.ac.rs

Rezime: *Izletanje vazduhoplova sa poletno-sletne staze definiše se kao događaj u kome avion ne uspeva da se zaustavi pre kraja poletno-sletne staze ili izleti bočno sa nje tokom operacija poletanja ili sletanja. U ovom radu je predstavljena primena analize stabla otkaza (Fault Tree Analysis - FTA) metode za analizu uzroka koji dovode do izletanja vazduhoplova sa poletno-sletne staze (PSS). FTA pripada grupi kvantitativnih uzročnih modela zasnovanoj na teoriji verovatnoće sa ciljem razumevanja uticaja različitih uzroka na nezgode i nesreće u vazdušnom saobraćaju. Cilj rada je identifikacija potencijalnih uzročnih faktora. Primena FTA metode je prikazana kroz dva modela: jedan za operaciju poletanja i jedan za operaciju sletanja. Analiza stabla otkaza je pokazala koji su to najkritičniji faktori čije poznavanje omogućava da se razviju određene mere za smanjenje rizika od izletanja sa PSS.*

Ključne reči: *Aerodrom, Bezbednost, Izletanje vazduhoplova sa PSS, Uzročno modeliranje, Metoda analize stabla otkaza.*

Abstract: *Runway excursion (RE) can be defined as an event in which an aircraft veers-off or overruns the runway surface during either takeoff or landing. In this paper an application of Fault Tree Analysis (FTA) method on RE events is presented. FTA belongs to quantitative class of causal methods. It estimates the risk of incident or accident according to estimation of probability of occurrence of each cause of an event. The aim of this paper is to identify potential causal factors. In order to illustrate FTA application on RE, two models were developed: one for landing and other for take-off. Application of FTA has shown what are the most critical causal factors whose knowledge allows developing certain measures to reduce the risk of RE.*

Keywords: *Airport, Safety, Runway Excursion, Causal Modelling, Fault Tree Analysis.*

1. UVOD

Izletanje vazduhoplova sa poletno-sletnih staza (PSS), tzv. "*Runway Excursions*" (RE), može se definisati kao događaj kod koga vazduhoplov ne uspeva da se zaustavi pre kraja PSS prilikom operacija poletanja ili sletanja (overruns) ili kada izleti sa jedne od bočnih strana staze (veer-offs). Izletanje sa poletno-sletne staze je veliki i kompleksan problem sa kojim se suočava sistem vazdušnog saobraćaja. Preko 25% vazduhoplovnih nezgoda i nesreća je iz ove kategorije, što ukazuje na učestalost ponavljanja ovog događaja na svetskom nivou, pri čemu se mora staviti akcenat na ozbiljnost posledica. U svetu se tokom jedne sedmice dogode najmanje dve nezgode ovog tipa [9]. Mnoge vazduhoplovne organizacije rade na određivanju pogodnih mera i preporuka koje za cilj imaju smanjenje broja izletanja vazduhoplova sa PSS-a.

Kako bi se smanjio broj ovog tipa nesreća/nezgoda ili sprečilo njihovo dešavanje neophodno je poznavati okolnosti u kojima nastaju ovakve situacije, koliko često se dešavaju i koliko su njihove posledice opasne. Izletanja vazduhoplova sa PSS-a su karakteristična za fazu poletanja i fazu sletanja. Statistički, međutim, izletanja sa staze su zastupljenija prilikom sletanja [1].

Izdvajaju se tri tipične situacija kada dolazi do RE aviona sa PSS [6]:

- tokom poletanja vazduhoplov ne uspeva da na vreme odvoji točkove stajnog trapa sa PSS ili letačka posada prekida započeto poletanje;
- prilikom sletanja posada ne uspeva da zaustavi avion pre kraja PSS-a;
- tokom prekida već započetog poletanja ili tokom sletanja avion izleti sa bočne strane PSS-e.

Ozbiljnost posledica ovakvih događaja ogleda se u [9]: broju žrtava i povređenih, bilo putnika, letačkog osoblja ili trećih lica (*third party*) koja su se našla u blizini, preko oštećenja vazduhoplova, totalnog uništenja

istog, oštećenja opreme na aerodromu i opslužnih vozila, pa do kašnjenja i pomeranja reda letenja usled prinudnog zatvaranja celog aerodroma ili konkretne poletno-sletne staze. Ekonomski gubici na godišnjem nivou koji pogađaju celu industriju i nastaju kao konsekvenca izletanja vazduhoplova sa PSS-a procenjuju se na oko 500 miliona dolara [5].

Postoji veliki broj faktora koji imaju direktan uticaj na povećanje mogućnosti izletanja vazduhoplova sa PSS. Mogu se izdvojiti određeni uslovi i okolnosti pri kojima se verovatnoća izletanja aviona povećava: vlažna i kontaminirana PSS, naročito u kombinaciji sa jakim bočnim vetrom ili udarima vetra, različite tehnike letenja, kao što je predugo sletanje (*long landing*), i neefikasan rad sistema za kočenje, odluka letačkog osoblja da nakon postignute brzine V_1 ne nastavi sa poletanjem ili, u slučaju sletanja, ne odluči se za "*go-around*" proceduru [2].

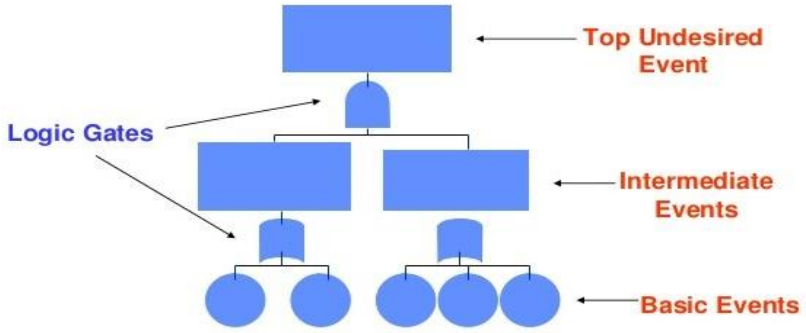
Predmet ovog rada jesu faktori koji uzrokuju RE nesreće kao i analiza verovatnoće realizacije svakog od njih i uticaj na verovatnoću realizacije RE događaja. Cilj rada je identifikacija najuticajnijih potencijalnih uzročnih faktora primenom metode analize stabla otkaza.

2. ANALIZA STABLA OTKAZA

Analiza stabla otkaza (*Fault Tree Analysis* – FTA) je kauzalni metod koji se koristi pri analizi događaja ili kombinacije događaja koji mogu uzrokovati pojavu nekog hazarda ili nezgode/nesreće [4]. Upotrebom FTA se može odrediti tačan redosled događaja koji prethode analiziroj nezgodi/nesreći. U okviru sistema vazdušnog saobraćaja preporučuje se korišćenje FTA pri proceni rizika i nivoa bezbednosti sistema, kao i pouzdanosti sistema i uređaja vazduhoplova i kontrole letenja.

FTA omogućava procenu rizika da dođe do nepoželjne situacije, pri čemu procene mogu biti kvalitativnog i kvantitativnog karaktera. Kao izlazni podatak dobija se verovatnoća realizacije nepoželjnog događaja, što predstavlja kvantitativnu procenu rizika, dok je drugi izlazni podatak „*minimum cut sets*" (MCS), odnosno najmanji skup događaja koji sigurno uzrokuje analiziranu situaciju. FTA je metod vizuelnog tipa čime se lakše može razumeti način funkcionisanja sistema u kome se prati dešavanje nepoželjnog događaja. Primenom FTA omogućava se analiza potencijalnog događaja i faktora koji do njega dovode. Sa aspekta bezbednosti odvijanja vazduhoplovnih operacija, FTA analiza izletanja vazduhoplova sa poletno-sletnih staza doprinosi uviđanju kritičnih situacija i faktora. Time se može odrediti koji su pravi načini delovanja, odnosno koje preventivne mere bi trebalo primeniti kako bi se sprečilo ili smanjio broj ponavljanja izletanja aviona sa PSS [5].

FTA analiza započinje od nepoželjnog događaja (*Top Event* - TE), zatim se kreće unazad. Svi uzroci se prikazuju u obliku stabla gde se jasno definišu njihove međusobne veze i način na koji može doći do nepoželjnog događaja. Na Slici 1 predstavljen je primer izgleda jednostavnog FTA stabla gde se mogu uočiti i veze u njemu. Na vrhu se nalazi nepoželjni događaj (*Top Event*) koji se analizira. Grane ispod njega čine „Intermediate" događaji koji imaju direktan uticaj na realizaciju posmatranog događaja. „Basic" događaji se nalaze na dnu FTA stabla i posmatraju se kao uzroci događaja pozicioniranih iznad. Simboli različitih oblika koji povezuju uzročne događaje predstavljaju njihove međusobne veze koje će biti kasnije detaljno objašnjene [5].



Slika 1: Primer stabla otkaza sa osnovnim elementima [5]

Analiza stabla otkaza se može objasniti kroz pet koraka [3]:

- Definisanje analiziranog nepoželjnog događaja;
- Razumevanje načina funkcionisanja celog sistema;
- Konstrukcija stabla otkaza;
- Analiza stabla otkaza;
- Kontrola identifikovanih hazarda.

Za primenu i razumevanje FTA metoda bitno je definisati i MCS koji predstavlja minimalni skup događaja (kritični skup), tj. grupu grešaka ili otkaza koji direktno uzrokuju nastanak nepoželjnog događaja. Jedan FTA dijagram može imati nekoliko MCS-ova. Ukoliko se bilo koji od njih desi, sigurno dolazi do realizacije glavnog analiziranog događaja [4].

Grafički simboli koji se koriste u FTA metodi mogu se podeliti u tri grupe: simboli događaja, „logic gates“ (operatori/veze) i transferni simboli. Osnovna podela simbola događaja je na [4]: Basic Events, Conditioning Events, Undeveloped Events i House Events.

Dva osnovna operatora (*gate*) jesu AND (I) i OR (ILI) gejtovi. Sve ostale veze su zapravo posebna forma AND ili OR operatora. OR operator se koristi u situacijama kada se krajni događaj dešava ukoliko se bilo koji događaj povezan OR vezom ostvari. AND veza označava da se svi uzročni događaji moraju dogoditi da bi došlo do krajnjeg događaja ili ozbiljne posledice. Postoji i COMBINATION operator (na slikama obeležen sa K/N) koji omogućava korisniku FTA da sam definiše broj uzročnih događaja (*K* od ukupno *N*) koji se moraju desiti da bi se ostvario konačni događaj. Primenom ove veze smanjuje se broj različitih kombinacija uzroka jednog istog događaja, pa se samim tim redukuje mogućnost pojave greške i dupliranja uzroka [4].

Takođe, postoje i određena pravila koja važe prilikom primene FTA metode. Pored toga, definisane su i analitički izrazi pomoću kojih se izračunavaju verovatnoće realizacije događaja. Verovatnoća svakog „minimum cut set“-a jednaka je proizvodu verovatnoća svakog pojedinačnog događaja. Formulom se može predstaviti na sledeći način [4]:

$$P(M_i) = P(BE_1) \cdot P(BE_2) \cdot \ldots \cdot P(BE_k) = \Pi(BE_i) \quad (1)$$

pri čemu je sa M_i označen MCS, a sa BE_k „basic” događaj koji pripada posmatranom MCS-u.

Sa druge strane, nepoželjni događaj se predstavlja kao unija svih MCSova, samim tim je verovatnoća nastanka analiziranog događaja jednaka zbiru verovatnoća jednog ili više MCS-ova. Suma može biti predstavljena na sledeći način [4]:

$$P(TE) = \Sigma P(M_i) \quad (2)$$

Kada su događaji ili hazardi vezani OR gejtom, verovatnoća se računa datom formulom:

$$P(A \text{ or } B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \quad (3)$$

Ukoliko su, ipak, povezani AND vezom, verovatnoća da dođe do kvara ili otkaza se određuje na sledeći način:

$$P(A \text{ and } B) = P(A) \cdot P(B) \quad (4)$$

Poznavanjem verovatnoće nastanka svakog od tih uzročnih događaja individualno, jednog ili više „minimum cut set“-ova može se izračunati verovatnoća nastanka analiziranog događaja [5].

3. MODELIRANJE IZLETANJA SA POLETNO-SLETNE STAZE

Izletanje vazduhoplova sa poletno-sletnih staza je modelirano kroz dva scenarija: operacija poletanja i operacija sletanja. Bez obzira na koju fazu leta se odnosi, radi analize dešavanja RE događaja neophodno je definisati uzročne faktore koje treba uzeti u obzir. Određivanje relevantnih uticajnih faktora je vrlo zahtevno, jer izletanje aviona sa PSS može biti posledica jednog ili kombinacije više uticaja. Uzročni faktori u ovom radu su preuzeti iz rada [7] u kome je identifikacija istih izvršena pomoću Ishikawa dijagrama [8]. Oni su grupisani u pet različitih kategorija za obe faze leta: 1. „Pilot Error“; 2. „ATCO Error“; 3. „Aircraft Issues“; 4. „Airport Issues“; 5. „Weather Issues“ [7]. Nakon toga je neophodno odrediti adekvatne veze između faktora i događaje čiji su uzrok. Svaki od faktora ima određenu verovatnoću sa kojom se dešava, pri čemu su sve vrednosti korišćene u proračunu preuzete iz [4] i [8]. Sledeći korak jeste konstruisanje stabla otkaza. Pomoću stabla otkaza grafički je prikazan raspored i međusobne veze faktora posmatranog nepoželjnog događaja. Analiza RE događaja se vrši uz pretpostavku da su svi uzročni faktori nezavisni jedan od drugog.

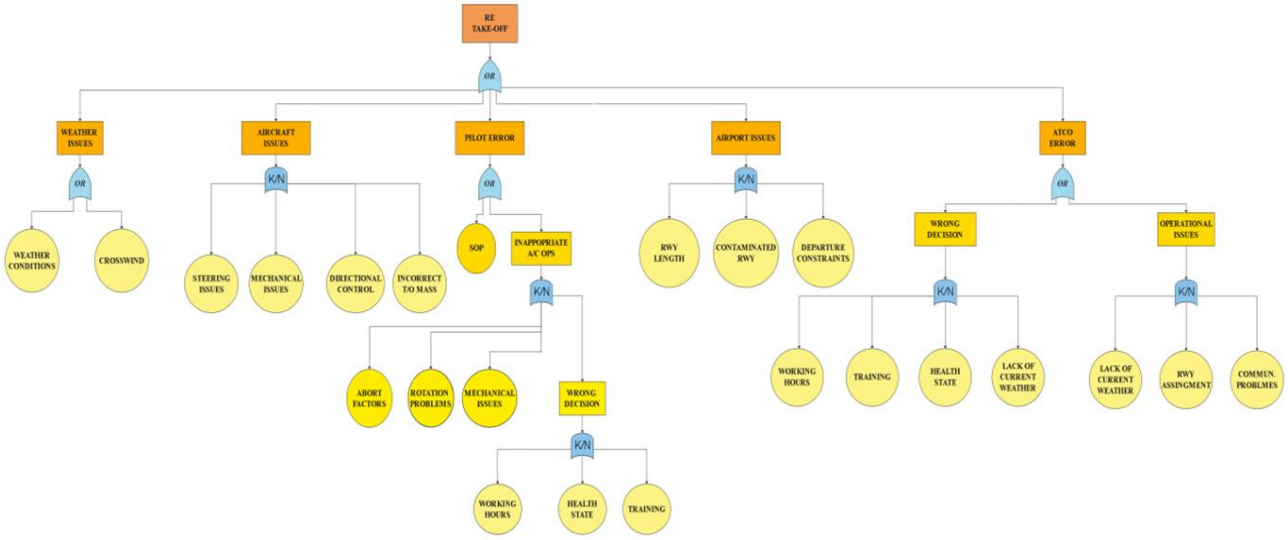
Analizom izlaznih podataka za svaku kategoriju faktora i za nepoželjni događaj, omogućava se adekvatno delovanje i primenjivanje preventivnih mera. Dodatno, kvalitativni podaci modela olakšavaju proces donošenja odluka bitnih sa aspekta bezbednosti i omogućavaju proaktivni pristup kojim se utiče na smanjenje dešavanja RE događaja [5].

Izletanje vazduhoplova sa kraja ili bočne strane poletno-sletne staze analizirano je primenom softvera *RAM Commander*. Na osnovu ulaznih podataka, odnosno verovatnoće pojave uticajnih faktora, proračunate su vrednosti verovatnoće realizacije „intermediate events“ i „top event“-a. Kategorije faktora predstavljaju

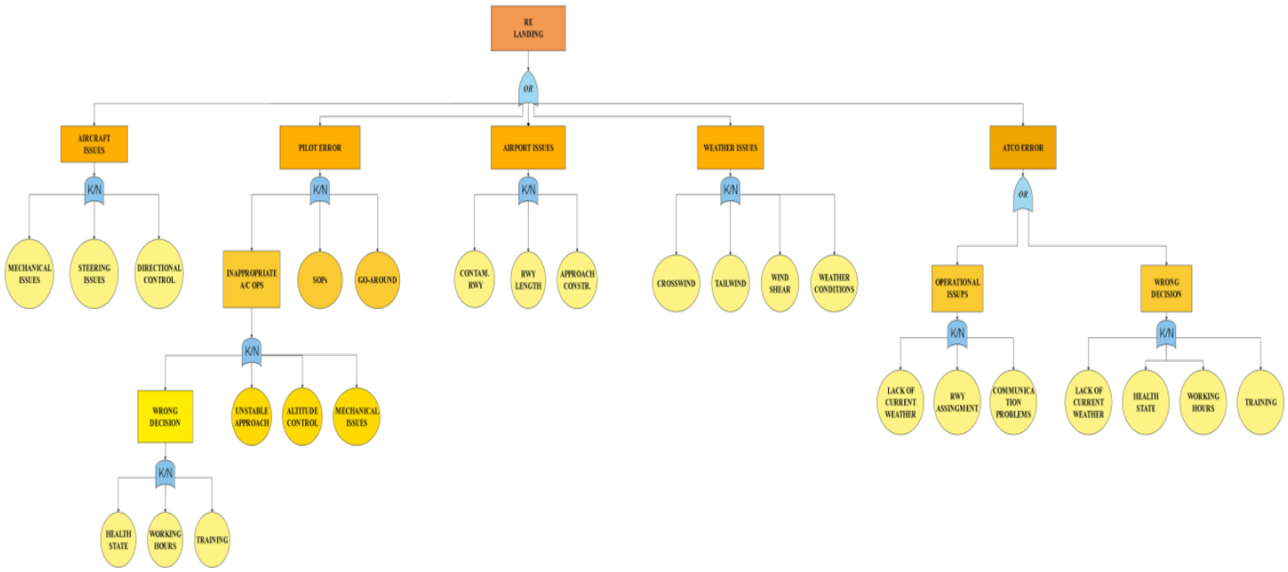
„intermediate events“, dok je „top event“ RE događaj. Svaka od pet navedenih kategorija, po kojima su uticajni faktori raspoređeni, pojedinačno je razmatrana. Za svaku od njih dobijen je skup MCS kao glavni izlazni podatak. MCS su dati kao kombinacija svih „basic“ događaja, s tim što verovatnoća njihove realizacije ukazuje na značaj pojedinačnih uzročnih faktora [2].

Na kraju, analiza pojave izletanja vazduhoplova sa PSS izvršena je kroz pet scenarija, kroz različite scenarije obuhvaćene su sve mogućnosti. Prvi scenario podrazumeva da se RE događaj realizuje ako se bar jedan od „intermediate“ događaja dogodi. Od drugog do četvrtog scenarija se koristi operator „combination“ za povezivanje TE i definisanih kategorija uzroka, tako da se u okviru tih scenarija ukazuje na mogućnost dešavanja RE događaja ukoliko se istovremeno dogode dva, tri ili četiri događaja, od ukupno pet. Poslednji, peti, scenario podrazumeva da se izletanje aviona sa staze može desiti samo ako se svih pet kategorija uzročnih faktora istovremeno realizuje. Konačno, kako bi se sumiralo svih pet scenarija konstruisano je posebno stablo otkaza kome je „top event“ označen kao „Total Runway Excursion“, a RE određeni u pet opisanih scenarija su „basic“ događaji. S obzirom da je primenjen operator OR, „Total Runway Excursion“ se realizuje ukoliko se bar jedan od pet analiziranih scenarija ostvari [5].

Na slikama 3 i 4 su predstavljeni FTA dijagrami za operacije poletanja i sletanja. Na vrhu dijagrama nalazi se analizirani RE događaj koji potencijalno nastaje u fazi poletanja i sletanja. Pet definisanih uzročnih kategorija predstavljaju „intermediate“ događaje koji povezuju „basic“ događaje i glavni događaj, pri čemu su „basic“ događaji prethodno opisani faktori. Događaji su povezani operatorima koji ukazuju na njihovu međusobnu vezu [2].



Slika 2: Stablo otkaza za operacije poletanja [5]



Slika 3: Stablo otkaza za operacije sletanja [5]

Analizom izlaznih podataka svih posmatranih scenarija za operacije poletanja i za operacije sletanja dobijene su približne verovatnoće realizacije RE, MCS i broj MCS. U Tabeli 1 i Tabeli 2 prikazani su dobijeni rezultati za operacije poletanja i operacije sletanja, redom. Uočeno je ponavljanje sledećih uticajnih faktora u MCS sa najvećom verovatnoćom za sve scenarije za operacije poletanja: „Standard Operating Procedures“, „Runway Length“, „Departure Constraints“, „Runway Assignment“, „Lack of Current Weather“, „Communication Problems“, „Contaminated Runway“ i „Weather Conditions“. Dok je za operacije sletanja utvrđeno ponavljanje sledećih uticajnih faktora: „Weather Conditions“, „Runway Assignment“, „Lack of Current Weather“, „Communication Problems“, „Contaminated Runway“, „Approach Constraints“, „Crosswind“, „Unstable Approach“, „Altitude Control“, „Go Around“ i „Wind Shear“ [5].

Tabela 1. Verovatnoće RE događaja i broj MCS, operacija poletanja [5]

RUNWAY EXCURSION	VEROVATNOĆA	BROJ MCS
RE – OR	0,96	33
RE – COM (2/5)	0,907	395
RE – COM (3/5)	0,62	2115
RE – COM (4/5)	0,182	5004
RE – AND	0,0163	78

Tabela 2. Verovatnoće RE događaja i broj MCS,, operacija sletanja [5]

RUNWAY EXCURSION	VEROVATNOĆA	BROJ MCS
RE – OR	0,978	44
RE – COM (2/5)	0,944	598
RE – COM (3/5)	0,686	3408
RE – COM (4/5)	0,197	8649
RE – AND	0,0134	3

4. REZIME REZULTATA

Rezultati oba stabla otkaza (operacije poletanja i operacije sletanja), ukazuju na ukupnu frekvenciju svih skupova događaja koji vode do RE događaja, a ne na šansu da kod pojedinog sletanja ili poletanja dođe do pojave RE događaja. Još važnije, kvalitativni pristup analizi nepoželjnog događaja omogućava sagledavanje uskih grla sistema. Izdvajanjem uticajnih faktora kroz analizu „minimum cut sets“ određuje se prioritet delovanja u cilju poboljšanja nivoa bezbednosti u sistemu. Imajući u vidu ozbiljnost posledica izletanja vazduhoplova sa PSS, proaktivno delovanje ima ključan efekat [2].

Primenom FTA za analizu RE događaja, na osnovu frekvencije ponavljanja i vrednosti verovatnoća, izdvojeni su sledeći dominantni faktori i za fazu poletanja i za fazu sletanja: „Standard Operating Procedures“, „Weather Conditions“, „Runway Length“, „Communication Problems“, „Runway Assignment“, „Lack of Current Weather“. To su faktori na koje bi trebalo staviti akcenat i prioritetno delovati na smanjenje njihovog uticaja.

Pored toga, kako su meteorološki uslovi značajan faktor za obe faze leta, ali na njih nije moguće uticati, zaključeno je da bi trebalo delovati tako da se redukuje pojava ljudskih grešaka, bilo da se radi o pilotima ili kontrolorima letenja [5].

5. ZAKLJUČAK

Očuvanje nivoa bezbednosti odvijanja saobraćajnih operacija na i u blizini poletno-sletnih staza je najveći izazov sa kojim se suočava sistem vazdušnog saobraćaja sa aspekta bezbednosti. Prema statističkim podacima, izletanje vazduhoplova sa PSS je na vrhu liste avionskih nesreća.

„Fault Tree Analysis“ metoda je uzročni model koji se koristi pri analizi događaja ili kombinacije događaja koji mogu uzrokovati pojavu nekog hazarda, nezgode ili nesreće, u ovom slučaju izletanja vazduhoplova sa poletno-sletnih staza. Primenom modela mogu se utvrditi verovatnoća realizacije RE događaja kao i dominantni faktori koji doprinose narušavanju bezbednosti.

Problem je obrađen kroz dva modela: operacije poletanja i operacije sletanja. Kako bi se obuhvatili svi relevantni faktori, koji doprinose pojavi RE događaja, utvrđeno je pet najznačajnijih grupa u koje su uticajni faktori raspoređeni: „Pilot Error“, „ATCO Error“, „Airport Issues“, „Aircraft Issues“ i „Weather Issues“. Konstruisano stablo otkaza obrađeno je primenom softvera *RAM Commander* i dobijena su dva tipa izlaznih podataka: kvantitativni i kvalitativni. U ovom radu je akcenat stavljen na kvalitativne podatke.

Kvalitativni podaci su „minimum cut sets“ koji predstavljaju pojedinačni događaj ili skup događaja koji najčešće prethode „top event“-u. Izdvajanjem tih događaja ili faktora utvrđuje se gde treba alocirati resurse

pri preventivnom delovanju u cilju poboljšanja nivoa bezbednosti u sistemu vazdušnog saobraćaja. Analizom kvalitativnih podataka za posmatrani problem uočeni su sledeći uticajni faktori zajednički za operacije poletanja i sletanja: „Standard Operating Procedures“, „Weather Conditions“, „Runway Length“, „Communication Problems“, „Runway Assignment“, „Lack of Current Weather“.

Cilj rada je bio da se utvrde glavni uzroci dešavanja RE događaja. Imajući u vidu da je RE vrlo kompleksan događaj, konstruisanje stabla otkaza je zahtevno i zavisi od stručnosti korisnika modela. Koji će se događaji ili faktori uzeti u razmatranje i kojim operatorima ih treba međusobno povezati je odluka samog korisnika. Sa druge strane, FTA kao vizuelni model daje dobar uvid u strukturu događaja i omogućava prepoznavanje „slabih karika“ koje narušavaju bezbednost. Kako je bezbednost prioritet broj jedan u sistemu vazdušnog saobraćaja, jasno je da je od suštinskog značaja prepoznati potencijalne uzroke i posledice RE događaja. Upotrebom standarda i preporučenih praksi, kao i adekvatnom obukom pilotskih posada moguće je uticati na redukovanje pojavljivanja RE događaja i poboljšanja nivoa bezbednosti na aerodromima.

ZAHVALNICA

Istraživanje je finansirano sredstvima projekta TR 36033 Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

[1] Australian Transport Safety Board (2008). *Final Runway excursions Part 1: A worldwide review of commercial jet aircraft runway excursions*, Canberra, Australia.

[2] EUROCONTROL (2013). *European Action Plan for the Prevention of Runway Excursions*. Brussels, Belgium

[3] Fault Tree Analysis, https://en.wikipedia.org/wiki/Fault_tree_analysis (pristupljeno 11.4.2021).

[4] Netjasov F. (2010). *Risk Analysis and Safety Assessment of Air Traffic Control System*. Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet.

[5] Sekulić, J., (2020). *Modeliranje uzroka izletanja sa poletno-sletnih staza primenom modela analize stabla otkaza*. Saobraćajni fakultet, Beograd.

[6] Skybrary, *Runway Excursion*, https://www.skybrary.aero/index.php/Runway_Excursion (pristupljeno 11.4.2021).

[7] Timotić, D. & Netjasov, F. (2019). Modelling of Runway Excursions with Bayesian Belief Networks. *Tehnika*, 74 (1), 105-112.

[8] Timotić D. (2018). *Modeliranje uzroka izletanja sa poletno-sletnih staza primenom Bajesovih mreža*. Saobraćajni fakultet, Beograd.

[9] van Es G.W.H (2010). *A Study of Runway Excursions from a European Perspective*. NLR Air Transport Safety Institute.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

ODREĐIVANJE LOKACIJA SUPER-PUNJAČA ZA SNABDEVANJE SISTEMA ELEKTRO AUTOBUSA

DETERMINATION OF SUPER-CHARGER LOCATIONS FOR SUPPLYING ELECTRIC BUS SYSTEM

MARKO STOKIĆ[1], BRANKA DIMITRIJEVIĆ[1], MILOŠ NIKOLIĆ[1]

[1] Saobraćajni fakultet, Beograd, {m.stokic, b.dimitrijevic, m.nikolic}@sf.bg.ac.rs

Rezime: *U ovom radu modeliran je i rešavan diskretan lokacijski problem postavljanja super-punjača na stajališta mreže linija autobuskog podsistema javnog gradskog transporta putnika. Cilj rada je da se za potencijalnu elektrifikaciju voznog parka i uz minimalne troškove uspostavljanja infrastrukture za snabdevanje autobusa električnom energijom, obezbedi zahtevana autonomija vozila i ne ugrozi komfor putnika u pogledu dužine putovanja. Predstavljen je model mešovitog celobrojnog linearnog programiranja (MILP) koji je testiran na pet linija javnog gradskog transporta putnika koje prolaze kroz centralno gradsko jezgro Beograda. Ispitana je ekonomska i ekološka opravdanost uvođenja sistema super-punjača na posmatranim linijama.*

Ključne reči: *Lokacijski problem, Super-punjač, Elektro autobus, MILP*

Abstract: *In this paper, a discrete location problem of placing a supercharger at stops of the bus network subsystem of public urban passenger transport is modeled and solved. The aim of this paper is to provide the required vehicle autonomy for the potential electrification of the vehicle fleet with minimal costs of establishing the infrastructure for e-bus electricity supplying, and not to endanger the comfort of passengers in terms of travel time. A model of mixed integer linear programming (MILP) was presented and tested on five lines of public urban passenger transport passing through the central city core of Belgrade. The economic and ecological justification of the super-charger system implementation on the observed lines was examined.*

Keywords: *Location problem, Super-charger, Electric bus, MILP.*

1. UVOD

Zagađenje životne sredine predstavlja jedan od glavnih svetskih problema kojim se bave mnogi autori, gde je pored industrije jedan od glavnih zagađivača i drumski transport koji predstavlja dominantan sektor sa udelom od preko 75% u ukupnom transportu u EU [1, 2, 3]. U urbanim sredinama, poput Beograda, javni gradski prevoz putnika, koji je u velikoj meri baziran na autobuskom podsistemu, takođe utiče na ukupno zagađenje i doprinosi da Beograd sve češće zauzima „lidersku“ poziciju po ovom neslavnom kriterijumu [2]. U tom smislu, kako bi se smanjilo zagađenje životne sredine izazvano eksploatacijom autobusa i odgovorilo na postojeće zahteve korisnika, jedno od trenutno aktuelnih rešenja širom Evrope jeste upotreba autobusa na alternativne pogone, sa naglaskom na elektro pogon. Kako bi se utvrdila ekonomska i ekološka opravdanost uvođenja ovih vozila, kao alternativa konvencionalnim (dizel) autobusima, počelo je njihovo masovnije testiranje u mnogim gradovima. Prema podacima evropskog projekta ZeEUS, na kraju 2017. godine u Evropi je u 88 gradova bilo u eksploataciji oko 650 autobusa na električni pogon (uključujući i autobuse sa tzv. „plug-in” hibridnim pogonom), a Beograd je jedan od njih [6]. Iako se pokazalo da postoji opravdanost za uvođenje autobusa na elektro pogon, gradovi poput Beograda koji ne raspolažu budžetom dovoljnim da izvrše nabavku autobusa potrebne autonomije (kapacitet baterije/superkondenzatora) da ispune putne i eksploatacione uslove na linijama javnog gradskog transporta putnika (JGTP), moraju da pronađu način da prevaziđu ovaj problem. Jedan od načina je otvaranje novih, kraćih, linija, ali time se zapravo povećava ukupno zagađenje, kako kroz uvođenje dodatnih zagađivača (vozila), tako i kroz povećanje saobraćajnih zagušenja [3]. Drugi način je postavljanje super-punjača, za snabdevanje autobusa električnom energijom, ne samo na početnim i krajnjim stajalištima već i na stajalištima između njih, što je predmet interesovanja naučne javnosti u poslednje vreme.

Problem postavljanja infrastrukture za snabdevanje autobusa električnom energijom u Stokholmu, primenom mešovitog celobrojnog linearnog programiranja sa ciljem minimizacije ukupnih godišnjih troškova

potrošnje energije, kao i emisije štetnih gasova, predmet je rada [8]. U radu [5] rešavan je problem postavljanja punjača za elektro autobuse kao problem mešovitog celobrojnog linearnog programiranja sa ciljem minimizacije ukupnih godišnjih troškova sistema za snabdevanje električnom energijom. Dalje, u radu [4] u fokusu je „trade-off" između postavljanja punjača i povećanja kapaciteta baterija na elektro autobusima, dok je u radu [7] rešavan problem postavljanja punjača za elektro vozila u prigradskom prevozu putnika na teritoriji Turske, uzimajući u obzir troškove postavljanja i rada punjača, kao i broj stajanja i dužinu čekanja autobusa radi snabdevanja električnom energijom.

Na osnovu prethodno navedenog, motiv nastanka ovog rada je ukazivanje na mogućnosti i potencijalne prednosti uvođenja super-punjača u postojeći sistem JGTP u Beogradu. Postavljanjem super-punjača na stajalištima moguće je rešiti problem nedovoljne autonomije postojećih elektro vozila, na osnovu čega bi bila moguća zamena ekološki neefikasnih vozila, ekološki efikasnijim. U tom smislu, cilj rada jeste rešavanje diskretnog lokacijskog problema postavljanja punjača na razmatranim linijama JGTP tako da sva vozila imaju dovoljnu autonomiju da savladaju rastojanja između početnog i krajnjeg terminusa uz minimalna ulaganja u infrastrukturu za snabdevanje električnom energijom.

Rad je koncipiran na sledeći način. U drugoj tački dat je opis i matematička formulacija problema. Treća tačka odnosi se na primenu modela na rešavanje posmatranog problema u Beogradu i analizu dobijenih rezultata. U poslednjoj, četvrtoj tački dat je zaključak i neki mogući pravci budućih istraživanja.

2. OPIS PROBLEMA I MATEMATIČKA FORMULACIJA

Posmatra se mreža autobuskih linija i pripadajućih stajališta na kojoj treba da saobraćaju elektro autobusi. Pretpostavlja se da su sve karakteristike linija unapred poznate (frekvencija vozila na liniji, rastojanje između početnog i krajnjeg terminusa, kao i međustanična rastojanja). Autonomija razmatranih autobusa opredeljena je kapacitetima njihovih baterija/superkondenzatora. Tekući nivo napunjenosti superkondenzatora izražen je kroz rastojanje koje autobus može da pređe uvažavajući putne i eksploatacione karakteristike linija [5, 7, 8]. Između nivoa napunjenosti superkondenzatora (koji je u opsegu od 0 do 100%) i pređenog rastojanja (u opsegu od 0 do ustanovljena vrednost merenjem ili specifikacijom u metrima) pretpostavljena je linearna zavisnost. Ova zavisnost definiše i potrošnju energije superkondenzatora duž linije. Kako se ne preporučuje pražnjenje i punjenje superkondenzatora do minimalnog, odnosno maksimalnog nivoa, kapacitet je računat prema preporukama proizvođača da radni interval superkondenzatora bude između 20% i 80% maksimalnog kapaciteta.

Da bi elektro autobus imao dovoljnu autonomiju da savlada linije JGTP potrebno bi bilo da one nisu previše zahtevne u pogledu dužine ili da autobus poseduje superkondenzator izuzetno velikog kapaciteta što podrazumeva veće troškove nabavke ovakvih vozila. Kako bi se izbeglo skraćivanje postojećih i uvođenje novih linija i/ili uvećanje troškova nabavke elektro autobusa razmatra se mogućnost i opravdanost postavljanja superpunjača i na stanicama duž linija, a ne samo na početnim i krajnjim terminusima. Sve međustanice su posmatrane kao potencijalne lokacije za superpunjače i usvojena je pretpostavka da se na jednoj stanici može naći samo jedan superpunjač. U razmatranje su uzeti superpunjači različitih kapaciteta, a samim tim i cena. Količina energije koju autobus dobije od superpunjača proporcionalana je vremenu provedenom na punjaču određenog kapaciteta i izražena u metrima koje on sa tom energijom može da pređe [5, 7, 8]. Polazi se od pretpostavke da je nivo napunjenosti superkondenzatora na početnim terminusima jednak maksimalnom preporučenom nivou napunjenosti.

Superpunjače treba rasporediti na stanicama, čija su međusobna rastojanja manja od dometa vozila, tako da se minimizira trošak njihovog uspostavljanja. Pored toga, potrebno je obezbediti da autobusi na zadatim linijama uvek imaju dovoljnu autonomiju do sledećeg punjača, a da komfor putnika ne bude narušen čestim i/ili dugotrajnim zaustavljanjem autobusa u lociranim stanicama radi snabdevanja električnom energijom. Komfor putnika u pogledu vremena zadržavanja na stajalištima sa punjačima definisan je preko karakteristika M/M/1 sistema masovnog opsluživanja sa čekanjem, jer su kao takvi posmatrani punjači na stanicama. Usvojeno je da se kvalitet opsluživanja putnika posmatra kroz prosečno vreme provedeno u sistemu punjenja, tj. na punjenju i eventualnom čekanju na punjenje, koje ne treba da bude veće od nekog unapred zadatog. Za određene intenzitete zahteva za snabdevanjem električnom energijom (λ) i intenzitete snabdevanja (μ) u stanicama, prosečno vreme provedeno u sistemu snabdevanja kao sistema masovnog opsluživanja sa čekanjem M/M/1 iznosi $1/(\mu-\lambda)$.

U nastavku je prikazana i objašnjena matematička formulacija posmatranog problema kao modifikacija MILP modela prikazanog u [7], a parametri i promenljive koji su korišćeni u modelu su prikazani u tabeli 1.

Tabela 1: Parametri i promenljive korišćeni u matematičkom modelu

Indeksi i skupovi:	
N:	Skup čvorova (potencijalnih lokacija) za postavljanje punjača $i, j, k, l = \{1, 2, 3\ldots, i_{max}\} \in N$
C:	Skup kapaciteta punjača $c = \{1, 2, 3\ldots, c_{max}\} \in C$
Parametri:	
d_{ij}:	Rastojanje između čvora *i* i čvora *j* [m]
D:	Autonomija (domet) elektro autobusa [m]
a_{ijk}:	1 ako se čvor *k* nalazi između čvorova *i* i *j*, 0 u suprotnom
b_{ijkl}:	1 ako se čvor *l* nalazi odmah posle čvora *k*, na ruti između čvorova *i* i *j*
V_C:	Kapacitet opsluge punjača kapaciteta *c* [m/dan]
f_{ij}:	Broj elektro autobusa koji idu od čvora *i* do čvora *j*
t:	Limitirano prosečno vreme koje autobus provede u stanici za punjenje [dan]
t':	Limitirano vreme koje autobus provede na punjenju [dan]
T_{kc}:	Trošak postavljanja punjača kapaciteta *c* u čvor *k* [€]
g:	Trošak svakog zaustavljanja na ruti radi punjenja [€]
M:	Veliki broj
Promenljive odlučivanja:	
P_{kc}:	1 ako se punjač kapaciteta *c* postavi u čvor *k*, 0 u suprotnom
S_{ijk}:	1 ako elektro autobus koji ide od čvora *i* do čvora *j*, staje u čvoru *k* zbog punjenja, 0 u suprotnom
SOC_{ijk}:	Količina električne energije koju autobus ima kada stigne u čvor *k* dok se kreće od čvora *i* do čvora *j* [m]
Q_{ijk}:	Količina električne energije koju autobus dobija u čvoru *k* dok se kreće od čvora *i* do čvora *j* [m]
μ_k:	Intenzitet opsluge punjača u čvoru *k* u jednom danu [m/dan]
λ_k:	Intenzitet dolaska elektro autobusa na punjač u čvoru *k* u jednom danu [m/dan]

$$Min \sum_{k\in N}\sum_{c\in C} T_{kc}P_{kc} + \sum_{i\in N}\sum_{j\in N}\sum_{k\in N} gS_{ijk} \tag{1}$$

Pri ograničenjima:

$$d_{ij} \le D \cdot \left(1 + \sum_{k\in N}\sum_{c\in C} P_{kc}a_{ijk}\right), \quad \forall i,j \in N \tag{2}$$

$$\sum_{c\in C} P_{kc} \le 1, \quad \forall k \in N \tag{3}$$

$$Q_{ijk} \le D \cdot \left(\sum_{c\in C} P_{kc}a_{ijk}\right), \quad \forall i,j,k \in N \tag{4}$$

$$Q_{ijk} \le M \cdot S_{ijk}, \quad \forall i,j,k \in N \tag{5}$$

$$\left(SOC_{ijl} - SOC_{ijk} + d_{kl} - Q_{ijk}\right)b_{ijkl} = 0, \quad \forall i,j,k,l \in N \tag{6}$$

$$SOC_{iji} = D, \quad \forall i,j \in N \tag{7}$$

$$SOC_{ijk} + Q_{ijk} \le D, \quad \forall i,j,k \in N \tag{8}$$

$$\mu_k = \sum_{c\in C} P_{kc}V_c, \quad \forall k \in N \tag{9}$$

$$\lambda_k = \sum_{i\in N}\sum_{j\in N} Q_{ijk}f_{ij}, \quad \forall k \in N \tag{10}$$

$$(\mu_k - \lambda_k) \ge \left(\frac{1}{t}\right)\sum_{c\in C} P_{kc}, \quad \forall k \in N \tag{11}$$

$$Q_{ijk} \le t' \sum_{c\in C} P_{kc}V_c, \quad \forall i,j,k \in N \tag{12}$$

$$P_{kc}, S_{ijk} \in \{0,1\}, \quad \forall i,j,k \in N, \quad \forall c \in C \tag{13}$$

$$SOC_{ijk}, Q_{ijk}, \mu_k, \lambda_k \ge 0, \quad \forall i,j,k \in N \tag{14}$$

Minimizira se funkcija cilja (1) koja je suma troškova uspostavljanja sistema punjača (član 1) i troškova zaustavljanja vozila radi punjenja (član 2). Troškovi zaustavljanja ne treba da utiču na troškove uspostavljanja sistema punjača, već da, kao minorni, eliminišu nepotrebna stajanja autobusa radi snabdevanja električnom energijom, što bi smanjilo komfor putnika prilikom vožnje i potencijalno produžilo vreme čekanja na punjenje. Ograničenjima (2) definisano je da autobusi imaju dovoljnu autonomiju između svih stajališta na liniji, odnosno obezbeđuju da se svaki čvor j može doseći iz svakog čvora i, snabdevanjem autobusa električnom energijom na stajalištima gde god je to potrebno da bi se taj put realizovalo. Dakle, ako je rastojanje između čvorova i i j veće od napunjenosti autobusa dovoljne da bi ga prešao, autobus se mora dopuniti na nekoj međustanici. Lociranje punjača određenih kapaciteta na izabranim lokacijama definisano je ograničenjima (3). Ograničenja (4) definišu da svaki autobus koji prolazi kroz stajalište sa postavljenim punjačem može biti snabdevan električnom energijom na tom stajalištu, dok je ograničenjima (8) definisano sa koliko energije može biti napunjen. Konkretno zaustavljanje autobusa u određenom čvoru radi snabdevanja električnom energijom, odnosno promenljive S_{ijk} definisane su ograničenjima (5). Ograničenjima (6) se obezbeđuje konzervacija toka na mreži linija, odnosno energetski bilans autobusa na linijama. Za autobus koji ide od stanice i do stanice j, pri čemu su stanice k i l na toj liniji i stanica l sledi stanicu k ($b_{ijkl} = 1$), količina energije autobusa na stanici l jednaka je količini energije autobusa na stanici k uvećana za količinu energije dobijene u u toj stanici i umanjena za energiju utrošenu da bi se savladao put između stanica k i l. Ograničenjima (7) ustanovljava se da autobusi započinju putovanje sa punom autonomijom vozila (maksimalni preporučeni nivo napunjenosti superkondenzatora). Intenziteti opsluge (punjenja) po danu lociranih punjača definisani su ograničenjima (9) i zavise od snage/kapaciteta punjača. Naime, ukoliko je punjaču određenog kapaciteta lociranom na nekoj od stanica ($P_{kc} = 1$) potrebno 10 minuta da napaja autobus električnom energijom kako bi ga napunio od minimalnog do maksimalnog preporučenog kapaciteta superkondenzatora, što može biti predstavljeno kroz autonomiju vozila od npr. 5.000m, onda bi to značilo da je intenzitet opsluge razmatranog punjača u toku jednog časa $6 \cdot 5.000$ m = 30.000 m, odnosno u danu $24 \cdot 30.000$ m = 720.000 m. Sa druge strane, ukoliko ne postoji punjač na posmatranom stajalištu ($P_{kc} = 0$), intenzitet opsluge na tom stajalištu je jednak nuli. Ograničenjima (10) opisani su intenziteti zahteva za snabdevanjem električnom energijom u stanicama po danu, na način da se količine energije koju autobusi dobijaju na linijama kojima je zajednička izabrana stanica k pomnože frekvencijom saobraćanja autobusa na tim linijama u danu. Ograničenjima (11) je ustanovljeno da prosečno vreme boravka autobusa u stanici na punjenju (vreme čekanja plus vreme punjenja) ne sme da bude veće od nekog zadatog vremena t, dok se ograničenjima (12) dodatno limitira vreme koje autobusi mogu da provedu na stajalištima u samom procesu snabdevanja električnom energijom. Ograničenja (13) i (14) definišu prirodu promenljivih.

3. PRIMER I REZULTATI PRIMENE MODELA

Grad Beograd u sklopu autobuskog podsistema JGTP raspolaže sa 152 linije na kojima saobraća oko 1.120 vozila. Na liniji EKO 1, koja je novouvedena, saobraćaju elektroautobusi marke Higer KLQ6125GEV3. Linija EKO 1 odgovara autonomiji superkondenzatora pomenutog vozila, odnosno ne zahteva njegovo dopunjavanje duž linije.

Imajući u vidu da se i dalje vrši nabavka navedenog tipa vozila, u ovom radu je predloženi model za lociranje superpunjača testiran prema karakteristikama autonomije pomenutog tipa vozila, na pet postojećih autobuskih linija (24, 25, 26, 27 i 44) na kojima tekuće funkcionišu dizel i autobusi na komprimovani prirodni gas, a koje prolaze kroz gradsko jezgro koje ima smisla posmatrati kao zonu sa primatom u preduzimanju mera za smanjenje zagađenja. Razmatrane linije i njihove karakteristike prikazane su u tabeli 2.

Autonomija posmatranog autobusa, uzimajući u obzir konfiguraciju terena linija, saobraćajna zagušenja, popunjenost vozila i sl., iznosi nešto više od 8.000 m, međutim kako je prethodno napomenuto da se ne preporučuje punjenje i pražnjenje superkondenzatora do maksimalnog, odnosno minimalnog nivoa, a imajući u vidu i da vozila i superkondenzator degradiraju tokom vremena, usvojena autonomija vozila je smanjena i iznosi 5.000 m. Razmatrana su tri različita tipa brzih punjača i to kapaciteta 150 kW, 300 kW i 450 kW, pri čemu im je potrebno 600, 300, odnosno 200 sekundi da izvrše snabdevanje autobusa električnom energijom tako da mogu da pređu 5.000 m, gledano tim redom. Cene razmatranih punjača okvirno su ustanovljene na osnovu raspoloživih podataka i usvojeno je da punjač snage 150 kW košta 135.000 €, punjač snage 300 kW 210.000 € i punjač snage 450 kW 280.000 €. Usvojeno je da troškovi zaustavljanja vozila radi punjenja (g) iznose 1 € sa idejom da se minimizira suvišno zaustavljanje autobusa na stanicama sa punjačima. Što je duže vreme čekanja autobusa u posmatranom sistemu, to je komfor putnika više narušen. Kako se ne bi značajno uticalo na komfor putnika, u radu je definisano da srednje vreme provedeno na stanici sa punjačem ne bude duže od 3 minuta, kao i da samo punjenje autobusa na stanici ne može da bude duže od 3 minuta.

Tabela 2: Karakteristike razmatranih linija

Broj linije	Naziv linije	Dužina linije [m]	Broj stajališta [-]	Prosečno međustanično rastojanje [m]	Frekvencija [pol/dan]
24	Dorćol - Neimar	5.952	15	425,14	168
25	Karaburma 2 - Kumodraž 2	13.624	34	412,85	213
26	Dorćol - Braće Jerković	9.642	23	438,27	440
27	Trg Republike - Mirijevo 3	10.173	27	391,27	322
44	Ž. stanica Dunav - Senjak	9.561	21	469,20	99

Posmatrani problem je rešavan za jedan smer svake od razmatranih linija u softverskom programu „IBM ILOG CPLEX Optimization Studio“. Pronalaženje optimalnog rešenja je zahtevalo nešto više od 45 sekundi, a model je prepoznao 2.755.360 različitih ograničenja i 192.200 promenljivih. Optimalno rešenje je pronađeno kroz 16.406 iteracija, a neophodan trošak za postavljanje punjača iznosi 1.250.000 €. Pretpostavlja se da je trošak duplo veći ako se posmatra i drugi smer linija.

Pored lokacija (stajališta) za postavljanje punjača određenih modelom koje su prikazane na slici 1, u tabeli 3 prikazani su tipovi punjača na njima, kao i koji autobusi se snabdevaju na kojim punjačima i koju količinu električne energije primaju na tim punjačima.

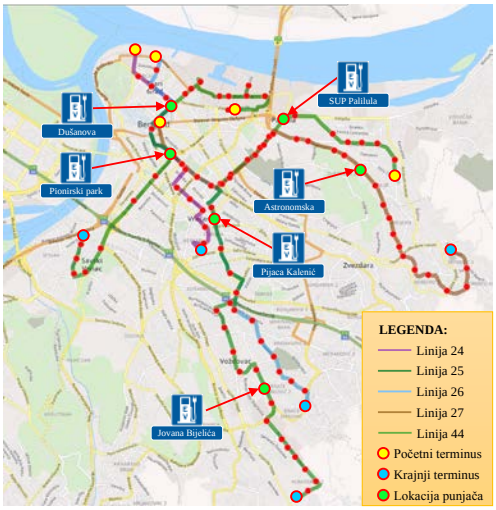
Tabela 3: Raspored snabdevanja vozila električnom energijom prema linijama na kojima saobraćaju

Red. br.	Br. linije	Naziv stajališta	Snaga punjača	Primljena količina el. energije za savladavanje puta od *x* metara
1	24	Dušanova	300 kW	952
2	25	Pijaca Kalenić	450 kW	3881
		SUP Palilula	150 kW	1338
		Jovana Bijelića	300 kW	2999
3	26	Dušanova	300 kW	1613
		Pijaca Kalenić	450 kW	3029
4	27	Pionirski park	150 kW	921
		Astronomska	300 kW	4441
5	44	Dušanova	300 kW	2999
		Pionirski park	150 kW	1385

Na osnovu dobijenih rezultata može se videti da su na stajalištu „Pijaca Kalenić“ i „Astronomska“ postavljeni punjači najvećih kapaciteta i u toku jednog dana snabdevaju vozila koja se zaustavljaju na tim stajalištima električnom energijom koja je proporcionalna pređenom putu od oko 2.160 km, odnosno 1.430 km. Na stajalištu „Dušanova“ postavljen je punjač od 300 kW i snabdeva vozila koja se zaustavljaju na tom stajalištu količinom električne energije koja je proporcionalna pređenom putu od oko 1.170 km. Na ostalim lokacijama, planirani su znatno manji kapaciteti i kreću se između 280 km i 650 km.

Nabavka autobusa sa većim kapacitetom superkondenzatora, koji vodi većoj autonomiji autobusa, uticala bi na smanjenje troškova postavljanja punjača. U tom smislu, ukoliko bismo zanemarili liniju 24 čija dužina iznosi nešto manje od 6 km (pretpostavka je da bi i sa razmatranim autobusima linija mogla da bude opslužena), i dalje ostaje 59 autobusa koji su u eksploataciji na preostalim linijama. S obzirom da je cena autobusa sa većim kapacitetom superkondenzatora veća za oko 50.000 €, troškovi bi bili za 2.950.000 € veći nego prilikom nabavke postojećih autobusa. Kada se u obzir uzmu i troškovi postavljanja punjača, kratkoročne uštede bi iznosile oko 450.000 € ukoliko se grad Beograd odluči za strategiju nabavke autobusa manjih kapaciteta superkondenzatora i za postavljanje međupunjača, pre nego za strategiju nabavke autobusa većih kapaciteta superkondenzatora. Takođe, treba uzeti u obzir i gotovo 2-3 puta duži eksploatacioni vek punjača nego autobusa, što bi na dugoročnom planu dovelo do dodatnih značajnih ušteda.

Pored navedenog, bitno je napomenuti da bi se za posmatrane linije, u zonama grada kroz koje prolaze, emisija štetnih gasova (CO, CO_2, NO_X, PM) eliminisala, dok bi se globalna emisija CO_2 smanjila između 30% i 35%. Ovo bi značilo da bi se ukupna emisija CO_2 na godišnjem nivou smanjila za oko 10.000.000 kg u užoj gradskoj zoni (3.500.000 kg globalno gledano), odnosno emisija CO za 24.600 kg, NO_X za 106.800 kg i emisija PM za 3.000 kg.



Slika 1: Prikaz lokacija na kojima je potrebno postaviti punjače na razmatranoj autobuskoj mreži

4. ZAKLJUČAK

U radu je rešavan lokacijski problem postavljanja superpunjača različitih kapaciteta na mreži JGTP u Beogradu, kako bi elektro autobusi koji bi saobraćali na razmatranim linijama imali dovoljnu autonomiju. Na osnovu dobijenih rezultata vidi se da je postavljanje superpunjača isplativija strategija od nabavke elektro autobusa sa većim kapacitetom superkondenzatora i da bi elektro autobusi mogli da imaju budućnost u Beogradu. S obzirom da vozila sa većim kapacitetom superkondenzatora imaju veću nabavnu cenu od trenutno postojećih, dugoročne novčane uštede mogu biti i do nekoliko miliona evra, a evidentan je i ekološki benefit.

Među pravcima budućeg istraživanja bitan iskorak u predloženoj analizi i istraživanju predstavlja primena simulacionih softvera za konkretno određivanje međustaničnih potrošnji izraženih u kWh, dobijenih u zavisnosti od profila brzine vozila na posmatranim linijama, uzdužnog nagiba puta i popunjenosti vozila. Takođe, biće razmatrana veza između intenziteta punjenja/pražnjenja baterije/superkondenzatora i njihove degradacije u zavisnosti od lokacija superpunjača itd.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je delimično podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Vlade republike Srbije, kroz projekte TR 36010, TR 36006 i TR 36002.

LITERATURA

[1] Eurostat. (2021, May 11). Modal split of freight transport. Retrieved from https://ec.europa.eu/eurostat

[2] IQAir. (2021, May 15). Retrieved from https://www.iqair.com/

[3] Kumar, A., Vijay, S., Kumar, R., Patil, R. S., & Dikshit, A. K. (2018). Prediction and Analysis of Pollution and Congestion Level for Present and Future Scenario on an Urban Road Network- India. International Journal for Traffic and Transport Engineering, 8(2), 213–222.

[4] Kunith, A., Mendelevitch, R., Goehlich, D., & Kunith, A. (2017). Electrification of a city bus network — An optimization model for cost-effective placing of charging infrastructure and battery sizing of fast-charging electric bus systems of charging infrastructure and battery sizing of fast-charging electric bus syste. International Journal of Sustainable Transportation, 11(10), 707–720.

[5] Lotfi, M., Pereira, P., Paterakis, N., Gabbar, H. A., & Catalao, J. P. S. (2020). Optimizing Charging Infrastructures of Electric Bus Routes to Minimize Total Ownership Cost. Proceedings - 2020 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2020 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe, EEEIC / I and CPS Europe 2020, 029803.

[6] UITP. (2016). ZeUS eBus Report: An overview of electric buses in Europe. ZeEUS, 118. Retrieved from http://zeeus.eu/uploads/publications/documents/zeeus-ebus-report-internet.pdf

[7] Uslu, T., & Kaya, O. (2021). Location and capacity decisions for electric bus charging stations considering waiting times. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 90, 102645.

[8] Xylia, M., Leduc, S., Patrizio, P., Kraxner, F., & Silveira, S. (2017). Locating charging infrastructure for electric buses in Stockholm. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 78, 183–200.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

COMPLEX NETWORK THEORY AND ITS APPLICATIONS IN AIR TRANSPORT

DOROTEJA TIMOTIĆ[1], MILICA KALIC[1]

[1] University of Belgrade – Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, Serbia
{d.timotic, m.kalic}@sf.bg.ac.rs

Abstract: *This paper describes the Complex Network Theory (CNT) and its applications in air transport. The complex networks theory was introduced with an explanantion of the main characteristics and types of networks. To gain more detailed view of the applications of complex network theory in air transport, the air transport system is explained through main components (airport, airline and air traffic control) as complex network.*

Keywords: *Complex Network Theory, Graphs, Networks, Air Transport.*

1. INTRODUCTION

The air transport system (ATS) is a complex system that consists of the main components - airlines, airports, and air traffic control services - interacting with each other on different hierarchical levels, constituting a very complicated, highly distributed network of human operators, procedures and technical/technological systems. Air transport has been increasingly important as mode of transport in both developed and developing countries.

ATS as a part of the entire transport system that is highly important for the global economy and society, connecting different points (destinations) around the world and transporting passengers and cargo by its operators. Properties of ATS network emerge from the interaction between its components, rather than being specific of components themselves [1]. On the other hand, the resilience of such networks is of great importance and it is critical that the system is designed to minimize the impact to passengers and economic losses to business due to different emergency situations [2]. In this context, the more detailed insight into the functioning of the ATS network can be offered by *Complexity Science*. Complexity science is founded on statistical physics, nonlinear dynamics, and information theory. A field of this science that has a special interest in studying of a networked system is *Complex Network Theory* (CNT). This field is different from the graph theory studying the irregular complex and dynamic network structures, and usually with a large number of components [1].

Complex network theory is a powerful tool to investigate networked systems. Taking a system theory approach, this theory investigates the influence of topological features of real-world networks on phenomena such as network robustness and propagation [3]. The theoretical developments around complex networks may help in understanding a large number of phenomena from social networks, economy, and communication, to financial markets and computer science. There has been a lot of applications of complex network theory in transportation such as in analyzing streets, railways, subways, etc [4, 5].

The aim of this paper is twofold: a) to define what the complex network theory is and what the differences relative to „regular“ graph theory are, and b) to make an overview of complex network theory applications in ATS.

2. COMPLEX NETWORK THEORY: DEFINITION AND CHARACTERISTICS

A complex network represents a graph *G=(N, E)*, where *N* is a set of nodes representing entities, while *E* is a set of links viewed as a relationship between entities [1]. According to [6] complex network is defined as a triple *G=(N, E, f)*, where *N* is as set of nodes, *E* is a set of links and *f* is a mapping that associates some elements of *E* to a pair of elements *N*.

The main goal of CNT is to explain the macroscopic properties of complex systems as a consequence of microscopic interactions of system elements. This relationship may be studied by network models, i.e. theoretical developments that relate the rule of link formation with macroscopic network properties [1].

The complex network theory models are presented below. First, it will be described the basics of regular networks as a predecessor of complex network theory models.

Regular Graphs: Although regular graphs are not complex graphs, they are important in the understanding the concept of CNT. In regular graph, each node has the same number of connecting nodes that means that all nodes have the same node degree. The example of this kind of graph is complete graph, where each node is connected to all others with the degree equal to N-1 [1]. Thus, a regular graph with node degree *k* is called *k*-regular graph [7]. The other important members of regular graphs are *lattices* which representation in the Euclidean space forms a regular tiling (Figure 1).

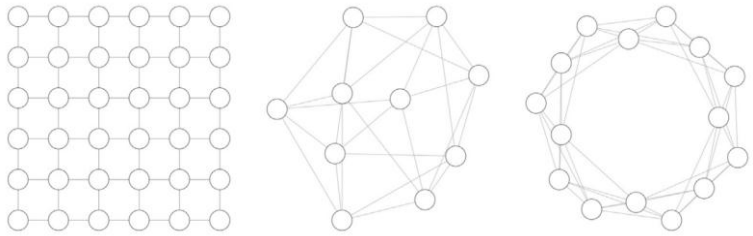


Figure 1: Regular graphs: square lattices, regular graph and Ring [1]

Random Graphs: Before the widespread of CNT in the 1990s, random graphs were mostly used as sources of ideas in different studies as the graphs in which the edges are distributed randomly [8]. The systemic study of random graphs was initiated by Erdos and Renyi in 1959. with the original purpose of studying, by means of probabilistic methods, the properties of graphs as a function of the increasing number of random connections [9]. Networks with complex topology and unknown organizing principles often appear randomly [8]. Therefore, nodes of random graphs are linked randomly. Some of the representative models of random graphs are [8, 9]: a) *Erdos-Renyi* network (Figure 2), b) *Watts-Strogatz Small-world* network, c) *Scale–Free* networks of which most known are: *Barasi-Albert* model, *Dorogovtsev–Mendes–Samukhin* model, *Ravasz–Barabasi* model, *Klemm–Eguiluz* model.

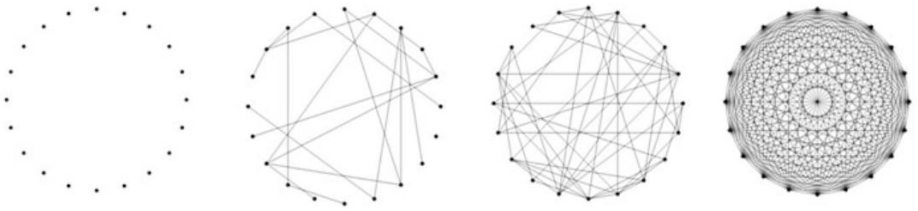


Figure 2: Erdos-Renyi (ER) random graph - The changes of network with 20 nodes and probabilities that increases from zero (left) to one (right) [6]

Weighted networks: many real networks display a large heterogeneity in the capacity and the intensity of the connection. They can be better described as weighted networks in which each link has a numerical value relating to straight of connection. A weighted (or valued) graph *GW = (N,E,W)* consists of a set $N = \{n_1, n_2, \ldots, n_N\}$ of nodes, a set $E = \{E_1, E_2, \ldots, E_K\}$ of edges, and a set of weights, $W = \{w_1, w_2, \ldots, w_K\}$ that are real numbers attached to the links. In matrix representation, *GW* is usually described by the so-called weights matrix *W*, a $N \times N$ matrix whose entry w_{ij} is the weight of the link connecting node *i* to node *j*, and $w_{ij} = 0$ if the nodes *i* and *j* are not connected. Negative weights are occasionally appropriate; they can represent animosity between individuals in a social network [9].

Spatial networks: A particular class of networks are those embedded in the real space, networks whose nodes occupy a precise position in two or three-dimensional Euclidean space, and whose edges are real

physical connections. Examples include information/communication networks, electric power grids, and transportation systems ranging from river, airport, street, railway and subway networks. Most of the works in the literature have focused on the characterization of the topological properties of spatial networks, while the spatial aspect has received less attention, when not neglected at all. However, it is not surprising that also the topology of spatial networks is strongly constrained by their geographical embedding [9]. Main characteristics or metrics used in CNT are the following:

Node degree, degree sequence, degree distribution and correlation – The simplest, but an important characteristic of complex networks nodes is the total number of its connections known as *node degree* [8]. The degree (or connectivity) k_i of a node i is the number of edges incident with node. Listing the nodes' degrees of a graph gives a *degree sequence*. The node degrees are usually listed in descending order, so it may be referred to as an ordered degree sequence [8, 9]. The total distribution of node degrees of an entire network, made of the in-degree and out-degree distribution are its basic statistical characteristics. *Degree distribution P(k)* is defined as the probability node has degree k or, as the fraction of nodes in the graph have degree k. This distribution represents information of connectivity inside the network [8]. When degree distribution is defined, it is important to analyze the correlation between the degrees of different nodes. *Degree correlation* can be used to characterize networks and to validate the ability of network models to represent real network topologies [8, 9].

Shortest path and Diameter – the *shortest path* is important in the characterization of the internal structure of a graph. The shortest path may be presented through matrix D, which include all shortest path lengths of a graph G from each pair of node i and j that are connected by at least one path. In matrix D the entry d_{ij} is the geodesic length from node i to node j. The maximum value of d_{ij} is known as the *diameter* of the graph [9].

Clustering – presents the probability that two nodes connected to a third node have a direct connection. The *local clustering coefficient* of a node is used for sole node while for the whole graph the *clustering coefficient of the graph* which is given by the average value of local clustering coefficients [10].

Centrality measures – centrality measures are used to measure the significance of nodes in the network to define weather nodes should all be considered of equal significance or not [8]. The simplest measure is *degree centrality* that assumes that the larger is the degree of a node, the more central it is. On the other hand, the centrality measure *closeness* measure how easily other nodes can be reached from it, or how that node may be reached from other nodes. However, the most used centrality measures in the network are *node betweenness* and *eigenvector centrality*.

3. AIR TRANSPORT NETWORKS

The CNT analyses irregular structure, complex, and dynamic networks with a large number of components [9]. Accordingly, the ATS networks could be analyzed by this useful tool [3] especially for two reasons. First, ATS consists of different interactions between its components with various levels of interactions between them. Complexity is extremely increased if all components are observed at the same time, but also in the case when a certain situation causes an impact from one ATS component to another (for example, congestion at the airport lead to ground handling delays which can further affect take-off time, causing delays leading further to passenger delays to its destination).

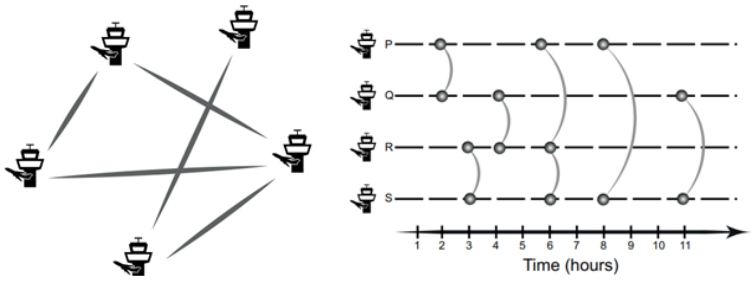


Figure 3: Static airport network (left) and airport temporal network (right) [12]

Another reason can be seen in the constant increase in air traffic (before the COVID 19 situation) which further complicates the interactions between ATS components as well as solving problems between them. CNT can offer a different set of tools and techniques that can help researchers on ANT and people working in that field of transport to develop operations analytics projects. These tools can help to define the solutions to reduce the complexity of ATS by focusing on the structure of connections between its parts. The researchers are able to identify bottlenecks or clusters under the different parts of ATS that may be useful in

the improvement of air transport and traffic operations. Two distinguished networks concepts characteristic for ATS are [11, 12]: Static networks and Temporal networks (Figure 3).

4. OVERVIEW OF COMPLEX NETWORKS APPLICATION IN AIR TRANSPORT

The literature considering the application of complex networks in air transport is very recent (last two decades) and it is mostly focused on the methodology [4, 5]. The literature review focuses on the application of the complex networks theory to air route and airspace networks, air transport networks (airline networks) and networks connecting airports (multi-airline networks). It must be highlighted the thorough literature analysis of complex networks conducted by Boccaletti et al. [9] which has enabled the observation and comparison of different characteristics and properties between real networks in different fields, and the recent surveys of applications of CNT by Costa et al. [13]. The airport network structure across the world was analyzed by Guimera and Amaral [14]. They tried to show that the degree and betwenness centrality distribution follows trunked power law distribution that gives the airport limited number of connections that they can offer. Some studies of air route network topology showed that air route networks have Scale-Free network structure with a small-world effected [14]. Some other authors obtained the Small-world network structure with a fractal Small-world effect [15], while Bagler [16] obtains a Small-world network. When it comes to airlines, Reggiani et al. [17] found out that the full services carrier routes are Small-world networks, while random network has showed as good tool in representation of features of network configuration in case of low-cost carriers [18]. On the other hand, some authors concluded that point-to-point network configuration may be described as Small-world network. This means that although in random networks the Small-world effect could appear, a high clustering coefficient can also appear [4, 5].

Some of recent studies presented air transport network as the multilayered network that is the result of simultaneous presence of different sub-networks organized in layers [19]. That means the air transport network is the result of the aggregation of airline route networks. The analysis of the current literature studying air route networks as complex networks allows establishing different dimensions or levels of study characterized by different units of analysis. Three levels of study are proposed: the global route network, the airline alliance network and a particular airline network. The different levels not only represent different network magnitudes in number of nodes (airports) and links (routes), but also represent different approaches [4, 5]. The study of the global route network (first level) looks at the competitive environment for airlines and the general framework of air transport development. Due to the size of the global route network and fact that it is a spatial network, the network must be analyzed both globally [14] and regionally [16]. On the other hand, the robustness of the network is also important to analyze. Thus, Wilkinson et al. [20] has studied the impact of the eruption of the Icelandic volcano Eyjafallajokull on the global transport network, and Chi and Cai [21] have analyzed the robustness of the US airport network to errors and attacks. In the study of an airline networks, the specific properties and characteristics of airlines can be appreciated [22]. Also, the existence of alliances is important when analyzing the network robustness, but to the best of our knowledge there is no study where the alliances are analyzed separated as complex network [4, 5].

Cook et al. [23] introduced the complexity science and its main features and presented some examples of its application in the air traffic management (ATM). They have presented the CNT through two ATM case studies with aim to illustrate the practical use of complexity science in the context of ATM. On the other hand, Dunn and Wilkinson [2] in their work stand out that resilience of an air traffic network is the most important network feature so they assessed two strategies to improve the resilience of air traffic networks and have showed that adaptive reconfiguration strategy is superior to a permanent re-routing solution. They found that if traffic networks have fixed air routes, the geographical location of airports leaves them vulnerable to spatial hazard. One strategy ‘adaptively’ modified the topology of the network, moving air routes as one of their connected airports was enveloped by the spatial hazard, whilst the other ‘permanently’ modified the topology of the network. They quantified the resilience of the networks by initially plotting the proportion of cancelled air routes and the proportion of closed airports and area, and then by applying a network graph theory measure of connectivity and performance. The analysis of Chinese air transport network from a provincial perspective using complex network framework was done by Du et al. [24]. They, defined all airports located in one province as a single node and flights between two provinces are denoted by link. The results showed that the network exhibits small-world property, homogeneous structure and disassortative mixing. The variation of the flight flow within 24 hours is investigated and an obvious tide phenomenon is found in the dynamics of Chinese provincial air transport network for high output level of tertiary industry.

When it comes to airports, in their paper, Hassain and Alam [25] modeled the Australia's civil domestic airport infrastructure as a network and analyzed the resulting network structure and its features using

complex network tool. This analysis of the Australian Airport Network indicated that it has a cumulative degree distribution described by the power-law function. They found that the airport network have small-world properties. They also found that the clustering coefficient is higher than that of a random network of the same size which indicates that the transitivity and cohesiveness of this network is different from a random network. The authors determine that the Australian airport network have disassortative mixing similar to the airport networks of China and India.

The latest and most up-to-date according to the Covid situation worldwide is the work done by Sun et al. [26]. The paper examined the impact of Covid-19 to air transportation using the CNT. The authors investigated the impact of Covid-19 on global air transportation at different scales (time scale ranges from January to May 2020), ranging from worldwide airport networks where airports are nodes and links between airports exist when direct flights exist, over international country networks where countries are contracted as nodes, to domestic airport networks for representative countries/regions. The focus was on the spatio-temporal evolutionary dynamics of Covid-19 in air transportation networks. They observed from the worldwide airport network that the Southern hemisphere has been more affected than the Northern part, and the impacts of the Covid-19 pandemic on international flights have been much stronger than on domestic flights. Four commonly-used complex network metrics in the worldwide airport network showed that each airport lost 50% of its connections on average, efficient network connectivity was further reduced, and the world increasingly created virtual borders between groups of airports throughout the pandemic. They showed that the fluctuation in node importance suggests that competition may still play an important, yet counter-productive role in the pandemic spreading. Also, the authors showed that nodal-level analysis of the international country network revealed that the importance of countries is changing significantly during the pandemic. However, the paper limitation was the fact that authors did not use the actual passenger data or load factors for flights, and the network centric analysis was focused mainly on connectivity measures with the neglecting of the number of flights.

4. CONCLUSION

Better understanding of air transport network could be provided using complex network theory. Complex network theory represents an innovative technique very useful in describing the networks with a lot of components as the air transport network is. In order to construct the model to analyse different network in ATS as a complex network, it should be taken into account that the network topology determines the node connectivity as well as that the relationship between nodes are influenced by Euclidian distances between them. Another feature that should be considered in modeling the air transport network by complex network theory is the fact that the network may be weighted (a real number is associated with every link that represents the strength of the network) or unweighted. Thus, many real networks show considerable heterogeneity in terms of capacity and strength of their connection that would not be taken into account if the network is considered as unweighted.

The short literature overview has shown that in recent years complex network theory has begin to be used in modelling of different problems in air transport. This new approach of analyzing whole or part of the air transport system, including airports, airlines and navigation routes, provides an opportunity to have more detail insight to this kind of network and to make different type of studies with different complexity models that was not used before. Analyzing topology will help understanding network's characteristics and properties that will enable sensitivity analysis to gain more information about air traffic network. This would help in studying of network and system robustness, resilience, collective synchronization dynamics or propagation processes. These analyses are vital for air transport industry because the aviation is exposed to different unexpected and emergency situation such as environmental accidents, security alerts, industry strikes, terrorist attack or pandemic.

4. ACKNOWLEDGEMENT

This research was conducted with support from the Project number 36033 commissioned by the Ministry of Education, Science and Technological development of the Republic of Serbia.

REFERENCES

[1] Sallan, J. M., Lordan, O. (2019). Air Route Networks Through Complex Networks Theory. *Elsevier*.

[2] Dunn, S., Wilkinson, S. M. (2016). Increasing the resilience of air traffic networks using a network graph theory approach. *Transportation Research Part E*, 90, 39-50.

[3] Lordan, O., Sallan, J. M. (2017). Analyzing the multilevel structure of the European airport network. *Chinese Journal of Aeronautics*, 30(2), 554-560.

[4] Lordan, O., Sallan, J. M., Simo, P. (2014). Study of the topology and robustness of airline route networks from the complex network approach: a survey and research agenda. *Journal of Transport Geography*, 37, 112-120.

[5] Lordan, O., Sallan, J. M., Simo, P., Gonzalez-Prieto, D. (2014). Robustness of the air transport network. *Transportation Research Part E*, 68, 155-163.

[6] Estrada, E. (2015). Introduction to complex networks: structure and dynamics. In Evolutionary equations with applications in natural sciences. *Springer*.

[7] Read, R.C. and Wilson, R.J. (1998). An atlas of graphs. *Oxford University Press*.

[8] Holthoefer, B. J. (2011). *Complex Networks Theory and Its Application to Language* (doctoral thesis) University Rovira I Virgili, Tarragona, Spain.

[9] Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., Hwang, D. U. (2006). Complex networks: Structure and dynamics. *Physics reports*, 424(4-5), 175-308.

[10] Watts, D. J., Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of 'small-world'networks. *Nature*, 393(6684), 440-442.

[11] Zanin, M., Lacasa, L., Cea, M., Cristobal, S. (2009). A Dynamical Model For The Air Transportation Network. Proceedings of 23rd European Conference on Modelling and Simulation, pp. 256-261.

[12] Rocha, L. E. (2017). Dynamics of air transport networks: A review from a complex systems perspective. *Chinese Journal of Aeronautics*, 30(2), 469-478.

[13] Costa, L. D. F., Oliveira Jr, O. N., Travieso, G., Rodrigues, F. A., Villas Boas, P. R., Antiqueira, L., ... & Correa Rocha, L. E. (2011). Analyzing and modeling real-world phenomena with complex networks: a survey of applications. *Advances in Physics*, 60(3), 329-412.

[14] Guimera, R., & Amaral, L. A. N. (2004). Modeling the world-wide airport network. *The European Physical Journal B*, 38(2), 381-385.

[15] Guida, M., & Maria, F. (2007). Topology of the Italian airport network: A scale-free small-world network with a fractal structure? *Chaos, Solitons & Fractals*, 31(3), 527-536.

[16] Bagler, g. (2008). Analysis of the airport network of India as a complexweighted network. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 387, 2972–2980.

[17] Reggiani, A., Nijkamp, P., Cento, A. (2010). Connectivity and concentration in airline networks: a complexity analysis of Lufthansa's network. *European Journal of Information Systems*, 19(4), 449-461.

[18] Cento, A. (2008). The airline industry: challenges in the 21st century. *Springer*.

[19] Cardillo, A., Gómez-Gardenes, J., Zanin, M., Romance, M., Papo, D., Del Pozo, F., Boccaletti, S. (2013). Emergence of network features from multiplexity. *Scientific reports*, 3(1), 1-6.

[20] Wilkinson, S. M., Dunn, S., Ma, S. (2012). The vulnerability of the European air traffic network to spatial hazards. *Natural hazards*, 60(3), 1027-1036.

[21] Chi, L. P., & Cai, X. (2004). Structural changes caused by error and attack tolerance in US airport network. *International Journal of Modern Physics B*, 18(17n19), 2394-2400.

[22] Han, D., Qian, J., Liu, J. (2009). Network topology and correlation features affiliated with European airline companies. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 388, 71-81.

[23] Cook, A., Blom, H. A., Lillo, F., Mantegna, R. N., Micciche, S., Rivas, D., ... & Zanin, M. (2015). Applying complexity science to air traffic management. *Journal of Air Transport Management*, 42, 149-158.

[24] Du, W. B., Liang, B. Y., Hong, C., Lordan, O. (2017). Analysis of the Chinese provincial air transportation network. *Physica A: statistical mechanics and its applications*, 465, 579-586.

[25] Hossain, M., Alam, S. (2017). A complex network approach towards modeling and analysis of the Australian Airport Network. *Journal of Air Transport Management*, 2017, vol. 60, 1-9.

[26] Sun, X., Wandelt, S., Zhang, A. (2020). How did COVID-19 impact air transportation? A first peek through the lens of complex networks. *Journal of Air Transport Management*, 101928.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

ANALIZA UTICAJNIH FAKTORA NEBEZBEDNIH DOGAĐAJA NA AERODROMIMA PRIMENOM METODA MULTIVARIJACIONE STATISTIČKE ANALIZE

THE ANALYSIS OF INFLUENTIAL FACTORS OF UNSAFE EVENTS AT AIRPORTS USING MULTIVARIATION STATISTICAL ANALYSIS METHODS

DOROTEJA TIMOTIĆ[1], KATARINA HALAJ[1], MIRA PASKOTA[1], FEDJA NETJASOV[1]

[1] Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, Srbija
{d.timotic, k.halaj, m.paskota, f.netjasov}@sf.bg.ac.rs

Rezime: *Procena bezbednosti operacija na aerodromima je od velike važnosti za operatere aerodroma i vazduhoplovne vlasti radi uvođenja preventivnih mera kako bi se nebezbedni događaji (nezgode i udesi) i njihove posledice smanjile. Cilj istraživanja je identifikovanje potencijalnih "opasnih" karakteristika aerodroma radi formiranja modela koji bi predstavljali eventualnu pomoć u proaktivnom definisanju „slabih tačaka" sistema u kojima bi određene promene bile preporučljive. U tu svrhu korišćene su odabrane metode multivarijacione statističke analize. Istraživanje je sprovedeno na uzorku od 130 evropskih aerodroma za koje su prikupljeni geografski, demografski, operativni i podaci o nebezbednim događajima u periodu od 1970 do 2009. Godine.*

Ključne reči: *Bezbednost aerodroma, korelacija, klaster analiza, analiza glavnih komponenti, mulitvarijaciona statistika.*

Abstract: *The safety assessment of airport operations is of great importance for airport operators and aviation authorities in order to introduce preventive measures to reduce unsafe events (accidents and incidents) and their consequences. The paper aims to identify potential "dangerous" characteristics of the airport in order to develop models that would help in proactively defining the systems "hot spots" in which certain changes would be recommended. For this purpose, selected methods of multivariate statistical analysis were used. The research was conducted on a sample of 130 European airports with the data collection on geographical, demographic, operational and data on unsafe events for the period from 1970 to 2009.*

Keywords: *Airport Safety, Corelation, Cluster analysis, Principal component analysis, Multivariate statistical analysis.*

1. UVOD

Bezbednost operacija na poletno-sletnoj stazi (PSS), kao i na drugim aerodromskim površinama, postaje značajno polje interesovanja sistema vazdušnog saobraćaja usled sve učestalijih udesa koji su se dogodili prethodnih godina. Ovo uključuje izletanje vazduhoplova sa PSS (runway excursion-RE), sudar vazduhoplova sa drugim vazduhoplovom, vozilima ili opremom (runway collision), nedozvoljeno prisustvo vazduhoplova, ljudi ili vozila na PSS (runway incursion), kao i sudar vazduhoplova i ptica (bird strike). Iako su putnici i posada najviše izloženi riziku od vazduhoplovnih udesa, pojedinci na zemlji (poznatiji kao „third-party " risk) su takođe ugroženi, ali sa manjom verovatnoćom gubitka života ili imovine [1].

Aerodrom je mesto gde se obavljaju operacije poletanja, sletanja i opsluge aviona. Od svih operacija na aerodromu, operacije poletanja i sletanja zauzimaju svega 1% vremena trajanja prosečnog leta, ali statistike pokazuju da se najveći broj vazduhoplovnih udesa dogodi baš tokom ovih operacija (32%). Procenat raste ukoliko se uzme u obzir i faza prilaza ili početnog penjanja aviona (53%) [2] koje su u neposrednoj blizini aerodroma. Upravo zbog svega navedenog, procena rizika i bezbednosti na aerodromu je od velike važnosti, prvenstveno za operatere aerodroma i vazduhoplovne vlasti radi uvođenja određenih mera i politika kao bi se takvi događaji i njihove posledice smanjile. Danas se koriste različite metode i alati za procenu rizika i bezbednosti na aerodromu: statističke analize, analize trenda, simulacije i testiranja, različite vrste panela [3].

Stoga je veoma bitno identifikovati i analizirati moguće uzroke nebezbednih događaja kako bi se definisale posledice i eventualne mere za smanjenje uticaja ovakve vrste događaja na celokupan sistem

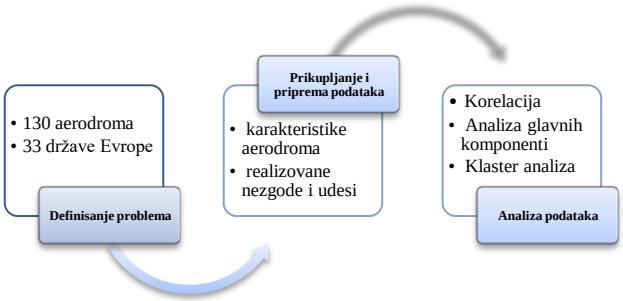
vazdušnog saobraćaja. Ideja ovog istraživanja je identifikovanje veze između karakteristika aerodroma i parametara koji se odnose na nezgode i udese aviona realizovanih na površinama aerodroma ili njihovom neposrednom okruženju. Na taj način je moguće determinisati koja karakteristika aerodroma može najviše doprineti nebezbednom događaju i posledicama koje on prouzrokuje.

Osnovni cilj rada je identifikovanje potencijalnih "opasnih" karakteristika aerodroma radi formiranja modela koji bi predstavljao eventualni pomoćni metod u proaktivnom definisanju „slabih tačaka" sistema u kojima bi određene promene bile preporučljive. Vrlo je bitno reagovati unapred i stvoriti širu predstavu celokupnog sistema uz dobro poznavanje funkcionisanja svih parametara i činilaca sistema. Na taj način bi bilo moguće donositi zaključke o promenama u sistemu, kao i definisati potencijalna rešenja za upravljanje bezbednošću sa ciljem smanjivanja realizacije bilo kakve nepredvidive situacije.

Uzimajući u obzir cilj rada, sprovedeno je istraživanje na uzorku od 130 aerodroma iz 33 države Evrope. Istraživanje je obuhvatilo pripremu i prikupljanje podataka, statističku analizu sa finalnom diskusijom uz određene preporuke za nastavak istraživanja.

2. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Metodologija istraživanja se sastoji iz nekoliko faza (Slika 1). U prvoj fazi je definisan problem istraživanja uz definisanje subjekta istraživanja. Shodno tome, izvršeno je prikupljanje potrebnih i dostupnih podataka neophodnih za dalju analizu (zavisnih i nezavisnih promenljivih). Opis podataka i preliminarna statistička analiza čine narednu fazu koja prethodi analizi datih podataka primenom metoda multivarijacione statistike. Na kraju su predstavljeni rezultati odabranih metoda multivarijacione statističke analize uz izdvajanje glavnih zaključaka.



Slika 1. Metodologija istraživanja

Primarni izvor podataka korišćenih u ovom istraživanju je Evropska baza podataka (European AIS Database-EAD). Podaci o nezgodama i udesima prikupljeni su sa *Aviation Safety Network* platforme (https://aviation-safeti.net). Dostupni podaci su prikupljeni za 130 aerodroma rasprostranjenih u 33 države Evrope. Selekcija aerodroma za potrebe istraživanja je izvršena na osnovu broja operacija na svakom od njih – analizirani su aerodromi koji imaju više od 20.000 operacija godišnje. Bazna godina korišćena u ovom radu je 2009. Prikupljeni podaci se mogu klasifikovati u dve grupe: a) podaci koji se odnose na karakteristike aerodroma, i b) podaci koji se odnose na realizovane nezgode i nesreće u periodu od 1970 do 2009. godine (vremenski period je odabran radi poklapanja sa demografskim podacima koji su bili dostupni za 2009.godinu).

Prikupljeni su podaci koji se odnose na karakteristike aerodroma i na realizovane nezgode i udese na datim aerodromima. Podaci koji se odnose na karakteristike aerodroma dalje se mogu klasifikovati u tri grupe: **geografske karakteristike** (država i grad u kojem se aerodrom nalazi, prosečna udaljenost od lokacije aerodroma do najbližeg grada, konfiguracija terena oko aerodroma, nadmorska visina aerodroma i referentna temperatura aerodroma), **demografske karakteristike** (broj stanovnika grada u kojem je aerodrom lociran, BDP po glavi stanovnika) i **operativne karakteristike** (broj PSS, konfiguracija PSS sa odvojenom analizom za ukrštene PSS, broj avio-kompanija, broj destinacija, broj avio-kompanija sa bazom na datom aerodromu, vrsta saobraćaja, broj operacija aviona (putničkih i cargo), broj putnika i tereta i zimske operacije na aerodromu). Svi navedeni podaci koriste se u analizi kao *nezavisne promenljive* za opisivanje njihovog uticaja na realizaciju incidenata i nesreća na datim aerodromima.

Druga kategorija podataka može se podeliti na **nezgode** - događaje bez smrtnih slučajeva i **udese** - događaje sa ljudskim povredama ili smrtnim slučajevima, kao i gubitkom imovine. Uključeni su sledeći podaci: broj nezgoda, ukupan broj udesa, broj udesa sa smrtnim slučajevima i uništenjem opreme (dve različite promenljive u analizi), međunarodne redovne i vanredne putničke udese (dve različite promenljive), domaće putničke udese u redovnom saobraćaju, i broj udesa koji se dogodio na aerodromu i u blizini

aerodroma na udaljenosti manjoj od 36 km od aerodroma (dve različite promenljive). Ovi podaci se u analizi koriste kao *zavisne promenljive* čija realizacija zavisi od ranije opisanih geografskih, demografskih i operativnih karakteristika aerodroma.

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

Priprema podataka, kao i statistička analiza izvršeni su u programu namenjenom za statističku obradu podataka IBM SPSS Statistics (IBM Corporation, Armonk, NY). Preliminarna statistička analiza obuhvatala je deskriptivnu statistiku. Za poređenje srednjih vrednosti neprekidnih promenljivih između dve ili više kategorija korišćeni su T-test nezavisnih uzoraka i jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA) redom. Pomenute analize su upotrebljene u poređenju srednjih vrednosti neprekidnih promenljivih koje se odnose na nesreće u odnosu na objašnjavajuće kategorijske promenljive.

3.1. Korelacija

Pirsonovim koeficijentom korelacije je utvrđivano da li postoji veza karakteristika aerodroma (geografskih, demografskih i operativnih) sa nezgodama i nesrećama. Usvojeno je da se vrednosti Pirsonovog koeficijenta iznad 0,6 smatraju jakom korelacijom, vrednosti od 0,3 do 0,6 srednjom korelacijom, dok se vrednosti ispod 0.3 smatraju slabom korelacijom. [3]

Pri određivanju veze između geografskih karakteristika aerodroma i nezgoda/udesa na njima uvrđena je slaba pozitivna korelacija između promenljivih "Nadmorska visina aerodroma" i "Broj nezgoda" ($r=0.245$, $p<0.01$). To znači da je na aerodromima sa višom nadmorskom visinom veći broj realizovanih nezgoda. Takođe, srednje pozitivna veza utvrđena je između promenljivih "Nadmorska visina aerodroma" i "Udesi blizu aerodroma (manje od 36 km od aerodroma)" ($r=0.316$, $p<0.01$) kojom se objašnjava postojanje većeg broja udesa u okolini aerodroma sa većom nadmorskom visinom.

Poređenjem veze između demografskih karakteristika aerodroma i nezgoda/udesa na njima dobijene su tri slabe i jedna srednja korelacija između poređenih karakteristika. Naime, slaba pozitivna korelacija dobijena je poređenjem promenljivih "Broj stanovnika grada najbližeg aerodromu" i "Broj nezgoda" ($r= 0.190$, $p<0.05$). Vrednost Pirsonovog koeficijenta korelacije u slučaju određivanja veze između promenljivih „GDP po stanovniku" i „Udesi u domaćem putničkom saobraćaju" iznosi $r=-0.211$ ($p<0.05$), dok je vrednost koeficijenta za slučaj promenljivih "Broj stanovnika grada najbližeg aerodromu" i "Udesi na aerodromu" $r=0.238$ ($p<0.01$). Srednja korelacija dobijana je između promenljivih "Broj stanovnika grada najbližeg aerodromu" i "Udesi u međunarodnom putničkom redovnom saobraćaju" ($r=0.379$, $p<0.01$).

Prilikom utvrđivanja linearne veze između operativnih karakteristika aerodroma i nezgoda/udesa na njima uočeno je da su sve vrednosti Pirsonovog koeficijenta manje od $r<0.5$. Međutim, značajno je naglasiti povezanost između promenljivih "Broj putnika" i "Udesi na aerodromu". Vrednost Pirsonovog koeficijenta korelacije u ovom slučaju iznosi $r=0.436$ ($p <0.01$). To znači da veći broj putnika koji putuje sa datog aerodroma može imati uticaja na veći broj udesa realizovanih na njemu. Takođe, slično je pokazano između promenljivih "Broj putnika" i " Udesi u međunarodnom putničkom saobraćaju" gde je $r=0,419$ ($p <0.01$). Povećanje broja putnika utiče i na veći ukupan broj udesa na i u okolini aerodroma ($r=0.330$). Takođe, utvrđeno je da broj aviokompanija utiče na broj nezgoda i udesa na aerodormu, kao i na udese u međunarodnom putničkom saobraćaju ($r=0.312$; $r=0.358$; $r=0.355$, respektivno). Na povećanje broja udesa u međunarodnom putničkom saobraćaju može uticati i veći broj PSS, konfiguracija PSS kao i veći broj destinacija koji se sa datog aerodroma opslužuju ($r=0.336$; $r=0.309$; $r=0.323$, respektivno). Ostale vrednosti koeficijenata korelacije ukazuju na slabu linearnu vezu između promenljivih ($r<0,3$).

3.2. Analiza glavnih komponenti

Analiza glavnih komponenti [4, 5] korišćena je za smanjenje broja promenljivih koje se odnose na karakteristike aerodroma i nebezbedne događaje (nezgode i udese) koji su realizovani na datim aerodromima. Analiza je obuhvatala 25 promenljivih. Za potrebe analize, od početnog broja opisanih promenljivih formirane su još dve dodatne promenljive: ukrštene staze-fizički ili u produžetku ose (formirana rekodiranjem promenljive "Konfiguracija PSS") i broj aviokompanija koje imaju bazu na datom aerodromu (formirana rekodirenjem promenljive "Broj aviokompanija"). Sa druge strane, iz analize su izuzete promenljive koje se odnose na lokaciju aerodroma (region i grad).

Pre same analize, bilo je potrebno proveriti adekvatnost podataka za ovu vrstu analize. *Kaiser-Meier-Olkin* (KMO) mera adekvatnosti uzorka i Hi-kvadrat statistika *Bartlettovog testa* pokazuju da je korelacija unutar skupa podataka odgovarajuća za analizu glavnih komponenti sa potencijalno relativno visokim kvalitetom dobijenih rezultata. Pored toga, korelaciona matrica otkrila je mnogo koeficijenata sa vrednostima

većim od 0.3 [6]. Date promenljive imaju međusobnu korelaciju u rasponu od r=-0.559 do r=0.869. Sve promenljive sa visokim međusobnim korelacijama su potencijalno dobri kandidati za analizu glavnih komponenti.

Radi formiranja glavnih komponenti sa većim procentom objašnjenja varijanse i njihovom boljom interpretacijom, sprovedeno je nekoliko iteracija analize glavnih komponenata. U prvoj iteraciji vrednost KMO testa iznosi 0.635, dok je vrednost Bartlettovog testa-Hi-kvadrat=2264,492. U ovoj iteraciji izdvojilo se 7 komponenti sa karakterističnim vrednostima većim od 1 uz objašnjavanje 70,26% varijanse. Međutim, *communalities* vrednosti nekih promenljivih su male (manje od 0.6) te su takve promenljive isključene iz dalje analize. U drugoj iteraciji (KMO test=0,712; Bartlettovog testa-Hi-kvadrat=1698.478) izdvojilo se 6 komponenti sa 75,78% objašnjavanja varijanse. Međutim, i u ovom slučaju su se pojavile promenljive koje imaju *communalities* vrednosti manje od 0.6 pa su i one isključene iz dalje analize. U trećoj iteraciji se izdvojilo 5 glavnih komponenti uz objašnavanje 75,16% varijanse (KMO test=0,709; Bartlettovog testa-Hi-kvadrat=1614,527). Kao i u prethodnim slučajevima, promenljive sa vrednostima *communalities* manjim od 0.6 su isključene iz dalje analize.

Tabela 1: Rotirana matrica komponenti (Varimax metoda)

Promenljive	**Komponenta**			
	1	**2**	**3**	**4**
Broj PSS	0.854			
Konfiguracija PSS	0.850			
Zimske operacije	0.827			
Broj putnika	0.820			
Broj aviokompanija	0.815			
Broj destinacija		0.936		
Referentna temperatura aerodroma		0.857		
Broj nezgoda		0.834		
Broj udesa		0.822		
Broj udesa sa smrtnim ishodom		0.737		
Broj udesa sa oštećenjem opreme			-0.877	
Udesi u međunarodnom redovnom putničkom saobraćaju			0.858	
Broj udesa na aerodromu				0.950

U četvrtoj iteraciji su izdvojene su se 4 komponente sa 77,17% objašnjenja varijanse. Nakon isključivanja još jedne promenljive, analiza je na kraju obuhvatala samo promenljive sa *communalities* vrednostima većim od 0.6. Poslednja iteracija analize glavnih komponenti (KMO test=0,715; Bartlett-ovog testa-Hi-kvadrat=1404,422) otkrila je 4 glavne komponente (komponente sa početnim karakterističnim vrednostima iznad 1), sa 80,49% objašnjenja varijanse, što je veći procenat objašnjenja varijanse u odnosu na analizu pre isključenja promenljivih sa malim *communalities* vrednostima. Naredni korak podrazumeva definisanje promenljivih u odnosu na prethodno izdvojene komponente-u idealnom slučaju svaka promenljiva meri precizno jednu komponentu. To je učinjeno primenom *Varimax* metode rotacije (Tabela 1). Nakon rotacije komponenata, izdvojene su sledeće 4 komponente i njima pripadajuće promenljive:

Komponenta 1 se zove „**Karakteristike aerodromske strane aerodroma (Airside Layout)**“ koja čini **41,002**% od ukupne objašnjene varijanse. Promenljive koje najviše opisuju Komponentu 1 (Tabela 1, kolona 1) su „Broj PSS“ i „Konfiguracija PSS“ dok su ostale promenljive obuhvaćene komponentom u neposrednoj vezi sa prethodne dve.

Komponenta 2 se zove „**Destinacija leta**“, čini **18.807**% ukupne varijanse i sadrži promenljive (Tabela 1, kolona 2) koje opisuju realizovane nebezbedne događaje, uključujući udese sa smrtnim ishodom na aerodromu. Broj destinacija koji su uključeni u objašnjenje ove komponente važan je sa stanovišta broja putnika koji će putovati sa određenog aerodroma, a pretpostavlja se da veći broj povezanih destinacija vodi ka većem broju putnika koji lete sa datog aerodorma, a što dalje može uticati na bezbednost operacija na aerodromu.

Komponenta 3 se zove „**Udesi u međunarodnom putničkom saobraćaju**“ i objašnjava **12,507%** varijanse. Ova komponenta je opisana promenljivima (Tabela 1, kolona 3): ”Udesi u međunarodnom redovnom putničkom saobraćaju” i ”broj udesa sa oštećenjem opreme”.

Komponenta 4 se zove ”**Udesi na aerodormu**” (Tabela 1, kolona 3). Iako ova komponenta ima manji procenat (**8,177**%) objašnjavanja varijanse nego prethodne tri, trebalo bi je uzeti u obzir kod ukazivanja na problem bezbednosti na aerodromu.

Svakoj glavnoj komponenti odgovara jedna specifična linearna kombinacija pridruženih promenljivih.

3.3. Klaster analiza

Ideja klaster analize [4, 6] je da se grupišu aerodromi po svojim karakteristikama koje potencijalno mogu imati uticaja na pojavu nebezbednih događaja kao što su nezgode i udesi. Aerodrome bi trebalo razvrstati po grupama radi proaktivnog delovanja u prevenciji realizacije nebezbednih događaja kroz primenu istih ili sličnih mera shodno karakteristikama aerodroma po kojima su klasifikovani. U tu svrhu je korišćen *Hijerarhijski metod analize grupisanja*. Primenjen je *Wardov metod* uz kvadratno Euklidijsko rastojanje. Wardov metod je popularan metod kojim se formiraju kompaktne grupe dobro distribuiranih veličina.

Ova procedura podrazumeva analizu varijansnog pristupa kako bi se procenila udaljenost između klastera i smatra se veoma efikasnom jer formira klastere približno istih veličina. Zbog različite prirode promenljivih, prvo je izvršena njihova standardizacija. Početna analiza je obuhvatala sve karakteristike aerodroma. Međutim, nakon primene ANOVA analize, određene promenljive su isključene iz daljeg posmatranja zbog jednakih srednjih vrednosti između njih i dobijenih klastera. Promenljive koje su uključene u analizu su sledeće: broj PSS, konfiguracija PSS, broj letova (2009), broj putnika (2009), prosečna udaljenost najbližeg grada lokaciji aerodroma, broj stanovnika grada najbližeg aerodromu, broj aviokompanija, broj destinacija, broj nezgoda, broj udesa, broj udesa sa oštećenjem opreme, broj udesa u međunarodnom saobraćaju i broj udesa na aerodromu.

Primenom Hijerarhijskog metoda za grupisanje aerodroma po datim karakteristikama dobijena su tri klastera. Analiza se sastojala od nekoliko iteracija, pri čemu je prva iteracija obuhvatala sve promenljive. Prilikom odlučivanja o broju klastera koje bi trebalo usvojiti, korišćena je ANOVA. Jednofaktorskom analizom varijanse je istraženo da li se klasteri razlikuju međusobno za svaku od promenljivih uključenih u analizu. Rezultat su tri klastera.

Tabela 2: Srednje vrednosti karakteristika aerodroma po klasterima

Klaster	I	II	III
Br. Aerodroma	43	20	60
Br. PSS	2	3	1
Konfiguracija PSS	Paralelne PSS	Paralelne PSS	Jedna PSS
Br.letova	100.988	1.127.560	68.129
Br. Putnika	9.814.884	23.142.883	3.928.999
Udaljenost od grada do aerodroma	16	14	10
Br. Stanovnika	113.811	1.503.552	630.517
Br. Aviokompanija	41	69	24
Br. Destinacija	115	162	67
Br. Nezgoda	0,14	1,65	0,15
Br. Nesreća	1,3	4,3	1,32
Br. Nesreća sa uništenjem opreme	1,42	6,15	1,42
Međunarodne nesreće	0,33	3,3	0,35
Br. Nesreća na aerodromu	1,19	4,6	0,97

Od ukupno 130 aerodroma uključenih u analizu, 123 aerodroma je raspoređeno u dobijene klastere (7 aerodroma nije zbog nedostatka podataka za pojedine promenljive). U prvom klasteru nalazilo se 33,1% aerodroma, u drugom 15,4% aerodroma dok se u trećem klasteru se nalazilo preostalih 46,2% aerodroma. U Tabeli 2 da je prikaz srednjih vrednosti po aerodromima i njihovim karakteristikama za svaki od dobijenih klastera. Prvi klaster se odnosi na aerodrome sa dve pararelne PSS i na aerodrome sa najvećom razdaljinom do centra grada u odnosu na aerodrome iz druga dva klastera. Neki od aerodroma razvrstanih u ovaj klaster su Lajpcig aerodrom, Keflavik aerodrom, Hanover aerodrome itd. Drugi klaster čine aerodromi sa 3 PSS, pre svega paralelne konfiguracije. Posmatrajaću ostala dva klastera, aerodromi unutar drugog klastera su specifični po najvećem broju ostvarenih operacija i broju putnika koji su leteli sa njih za dati period posmatranja. Što se tiče broja nesreća, ova grupa aerodroma prednjači po broju realizovanih nesreća u odnosu na druge dve grupe aerodroma. Neki od aerodroma razvrstanih u dati klaster su aerodromi u Antaliji, Amsterdamu, Atini, Sofiji, Varšavi itd. Najveći broj aerodroma razvrstan je u treći klaster i odnosi se na aerodrome sa jednom PSS. Kao posledica jedne PSS, ove aerodrome karakteriše najmanji broj realizovanih letova i putnika za analizirani period, dok je broj aviokompanija i ponuđenih destinacija sa ovih aerodroma takođe najmanji posmatrajaći aerodrome u sve tri grupe klastera. Po broju nesreća ovi aerodromi su slični aerodromima u klasteru I. Neki od predstavnika trećeg klastera su: aerodrom u Bolonji, Bremen aerodrom, Salzburg, gradski aerodrom u Londonu itd.

4. ZAKLJUČAK

Vazduhoplovne nezgode i nesreće pripadaju klasi retkih događaja u kontekstu obima i intenziteta uključenih operacija i aktivnosti. Statistički pokazatelji ukazuju na to da se i pored pozitivnih trendova poslednjih godina i dalje teško može uticati na smanjivanje rizika od takve vrste događaja. Stoga je neophodno analizirati sve faktore koji bi eventualno mogli da dovedu do retkih događaja i da izazovu ozbiljne posledice. Fokus ovog rada su aerodromi i realizovane nezgode i udesi na njima. Kroz analizu karakteristika aerodroma uz broj nezgoda i udesa, glavna ideja rada je bila da se identifikuju one karakteristike aerodroma koje su ili bi najviše imale uticaja na realizaciju nebezbednih događaja. Ovim bi se postiglo proaktivno delovanje u donošenju mera za smanjenje rizika od realizacije opasnih retkih događaja. Takođe, na taj način bi se analizirani aerodromi mogli svrstati u određene grupe po sličnosti čime bi se olakšalo definisanje i primena mera za očuvanje bezbednosti vazduhoplovnih operacija na njima.

Radi postizanja cilja rada, pored korelacije, korišćene su i izabrane metode multivarijacione statističke analize: analiza glavnih komponenti i klaster analiza. Uzorak je obuhvatao 130 evropskih aerodroma koji su opisani kroz tri grupe karakteristika: geografske, demografske i operativne. Broj nezgoda i nesreća, na datim aerodromima, za period od 1970 do 2009 godine je takođe uključen u analizu.

Pirsonovim koeficijentom korelacije je pokazana povezanost nezavisnih promenljivih (geografske, demografske i operativne karakteristike aerodroma) sa zavisnim promenljivima (nezgode i nesreće na aerodromima). Uočene su izvesne pozitivne korelacije, npr. na aerodromima sa višom nadmorskom visinom veći je broj realizovanih nezgoda i udesa. Sa druge strane, broj stanovnika u neposrednom okruženju aerodroma i broj putnika pozitivno koreliraju sa brojem udesa na aerodromu i u međunarodnom putničkom saobraćaju. Pored navedenog, broj aviokompanija korelira sa brojem nezgoda i udesa na aerodormu, kao i sa udesima u međunarodnom putničkom saobraćaju. Na kraju, broj PSS, konfiguracija PSS kao i veći broj destinacija koji se sa datog aerodroma opslužuju koreliraju sa brojem udesa u međunarodnom putničkom saobraćaju.

Analizom glavnih komponenti su dobijene 4 glavne komponente kojima je objašnjeno 80,49% varijanse. Ono što se može zaključiti iz ove analize jeste da realizacija nebezbednih događaja najviše zavisi od konfiguracije PSS i broja PSS na datom aerodromu te bi za smanjenje rizika trebalo detaljnije analizirati aerodromsku stranu aerodroma i tako uočiti šta je to što bi moglo da se unapredi.

Radi klasifikacije aerodorma korišćen je Hijerarhijski metod klasterizacije kojom su dobijena tri klastera koji se odnose na aerodrome sa paralelnim PSS (I klaster), operativno efikasne aerodrome (II klaster) i na aerodrome sa jednom PSS (III klaster). Aerodromi unutar klastera I i III su slični po broju realizovanih nesreća, dok aerodromi iz klastera II imaju pretežno paralelnu konfiguraciju PSS, kao i aerodormi unutar klastera I. Najveći broj realizovanih nesreća je zabeležen na aerodromima razvrstanim u klasteru II.

Dobijeni rezultati mogu koristiti aerodromskim operaterima, vazduhoplovnim vlastima radi definisanja određenih propisa i mera u cilju povećanja bezbednosti na aerodromskim površinama. Analize primenjene u ovom radu predstavljaju samo početak analiziranja retkih događaja na aerodromima i određivanja karakteristika koje bi imale najviše uticaja na njihovu analizu. Prethodno dobijeni rezultati analize bi mogli da se iskoriste kod definisanja modela kojima bi se odredile eventualne slabe tačke unutar aerodroma koje bi trebalo unaprediti sa ciljem smanjenja rizika od pojave nebezbednih događaja.

ZAHVALNICA

Istraživanje je finansirano sredstvima projekta TR 36033 Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

[1] Netjasov, F., Janic, M. (2008). A review of research on risk and safety modelling in civil aviation. *Journal of Air Transport Management*, 14(4), 213-220.

[2] Attaccalite, L., Di Mascio, P., Loprencipe, G., & Pandolfi, C. (2012). Risk assessment around airport. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 53, 851-860.

[3] Moretti, L., Di Mascio, P., Nichele, S., & Cokorilo, O. (2018). Runway veer-off accidents: Quantitative risk assessment and risk reduction measures. *Safety science*, 104, 157-163.

[4] Kovačić, Z. (1998). *Multivarijaciona analiza*, Ekonomski fakultet, Beograd.

[5] Jolliffe IT (2002), Principal component analysis, 2nd edn. *Springer*.

[6] Tabachnick, B. G., Fidell L. S. (2013). Using Multivariate Statistics (6th Edition). *Pearson*.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

KONCEPT OPERACIJA BESPILOTNIH VAZDUHOPLOVA U URBANIM PODRUČJIMA: RAZVOJ I TESTIRANJE

THE CONCEPT OF DRONE OPERATIONS IN THE URBAN AREAS

SARA ZORAJA[1], FEĐA NETJASOV[1]

[1] Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, Srbija
{s.zoraja; f.netjasov}@sf.bg.ac.rs

Rezime: *U ovom radu predložen je koncept operacija bespilotnih vazduhoplova koji bi se koristili za transport robe u urbanim područjima, u donjem delu vazdušnog prostora iznad naselja. Koncept operacija bespilotnih vazduhoplova u urbanim područjima opisan je kroz tri faze evolucije. Faza 1 je najpovoljnija za operatera s aspekta efikasnosti, zbog toga što se podrazumeva kretanje od tačke A do tačke B najkraćom putanjom. Faza 2 uvodi delimičnu uređenost sistema, s obzirom na to da je planirano kretanje bespilotnih vazduhoplova po unapred poznatoj mreži gradskih vazdušnih puteva. U Fazi 3 opisan je koncept operacija u potpuno uređenom sistemu, tj. specijalno projektovanim glavnim gradskim vazdušnim putevima, u kome postoji telo zaduženo za nadzor i vođenje bespilotnih vazduhoplova. Dobijeni rezultati su pokazali da se u zavisnosti od kriterijuma, koncepti operacija prikazani fazama 1, 2 i 3 mogu pokazati u manjoj ili većoj meri pogodnim za primenu u donjem delu vazdušnog prostora i mogu se koristiti sukcesivno.*

Ključne reči: *bespilotni vazduhoplovi, urbani vazdušni prostor, bezbednost*

Abstract: *In this paper, the concept of drone operations that would be used for transportation of goods in the urban areas, in the lower part of the airspace above urban areas, is proposed. The concept of drone operations in urban areas has been described through three phases of evolution. The Phase 1 is the most favorable for the operator from the aspect of efficiency because it means moving from point A to point B by the shortest path. Phase 2 introduces the idea of a partial arrangement of the system. In the Phase 3, the concept of operations is described in a fully controlled and organized system, with the urban traffic control in charge of supervising and guiding unmanned aircraft. Depending on the criteria, the results show that the concepts of operations presented in phases 1, 2, and 3 can be more or less suitable for application and implementation in the lower airspace and can be used sequentialy.*

Keywords: *drones, urban airspace, safety*

1. UVOD

Potreba za dostavom dobara u gradovima poslednjih godina ima značajan trend rasta. Danas je potreba za transportom od tačke A do tačke B, bilo da se radi o putnicima, robi, medicinskoj pomoći, itd., izraženija nego ikada. Naime, sa globalizacijom i sve većim brojem ljudi u gradovima, gužve i zagušenja na svakodnevnom nivou su postale faktor koji negativno utiče na efikasnost i ekspeditivnost u transportu [4]. Javlja se potreba za izbegavanjem gužvi na zemlji, a jedan od načina za prevazilaženje ovog problema može biti upotreba bespilotnih vazduhoplova (dronova).

Dronovi za dostavu robe u urbanim područjima su malih dimenzija, a pritom efikasni, što omogućava transport malih količina robe. Lete na kratkim distancama sa malom količinom tereta, povezuju proizvođače sa njihovim potencijalnim mušterijama direktnim letom, izbegavajući troškove i bezbednosne rizike karakteristične za dostavu dobara drumskim vidom saobraćaja.

NASA i Federalne vazduhoplovne vlasti Sjedinjenih Američkih Država, zajedno sa vazduhoplovnom industrijom i univerzitetima aktivno rade na razvoju koncepta UTM (Unmanned Aircraft System Traffic Management) za operacija dronova u donjem delu vazdušnog prostora (*Very Low Level Airspace* – VLL). Od suštinskog je značaja za dalji razvoj koncepta testirati granice UTM-a, struktuirati sistem i definisati pravila koji će važiti u donjem delu vazdušnog prostora [4].

2. KONCEPT OPERACIJA BESPILOTNIH VAZDUHOPLOVA U URBANIM PODRUČJIMA

Bezbedna integracija dronova u vazdušni prostor podrazumeva da su dronovi sigurni, efikasni i da nemaju ili imaju vrlo malo uticaja na već postojeće operacije u vazdušnom prostoru. Da bi se obezbedio zahtevani nivo bezbednosti, neophodno je definisati pravila kojima će se eventualne prepreke, koje utiču na nesmetano odvijanje saobraćaja, prevazići [6].

2.1. Principi

Prilikom definisanja konkretnih pravila, čiji će predlog biti detaljno predstavljen kasnije u radu, neophodno je ograničiti se i voditi se određenim principima [5]:

- koncept operacija dronova u urbanim područjima ne bi trebalo da zahteva velike promene u vidu infrastrukture u odnosu na već postojeću;
- pravila koja će biti definisana bi trebalo da budu slična pravilima u postojećem sistemu kontrole letenja;
- implementacija koncepta ne bi trebalo da pravi značajne promene kada se radi o podeli i nameni vazdušnog prostora.

Razlozi za uvođenje ovih principa su ekonomske i organizacione prirode. Pravila koja bi bila sušta suprotnost današnjem načinu funkcionisanja sistema vazdušnog saobraćaja bi bila teško prihvaćena od strane operatera, ali i ljudi na zemlji. Razlog koji se krije iza ove činjenice je taj što su današnja pravila u vazduhoplovstvu posledica prakse, tj. incidenata i akcidenata koji su se dešavali kroz istoriju. Suštinski drugačiji način funkcionisanja bi doveo do nepoverenja i rezervisanosti, što bi dalje odložilo implementaciju dronova u sistem [6].

2.2 Pretpostavke

Koncept operacija dronova predložen u ovom radu na nivou urbanog područja, temelji se na gore pomenutim principima i sledećim pretpostavkama [5]:

- postoji telo koje vrši nadzor i vođenje bespilotnih vazduhoplova u donjem delu vazdušnog prostora (*Urban Traffic Control* - UTC), slično kontroli letenja;
- tehničko-tehnološki aspekt radio-navigacione opreme je na najvišem mogućem nivou i omogućava nesmetano odvijanje operacija dronova u donjem delu vazdušnog prostora;
- kontrola letenja nije u nadležnosti za donji deo vazdušnog prostora i ne kontroliše saobraćaj koji se odvija na visinama do 400 ft [2] iznad nivoa zemlje, osim u okolini aerodroma;
- bespilotni vazduhoplovi raspolažu sa najnovijom tehnologijom i propratnim sistemima neophodnim za bezbedno obavljanje operacija;
- postoji sistem za prikupljanje i razmenu informacija između svih zainteresovanih strana (*System Wide Information Management* – SWIM);
- postoje standardi koji se tiču obavljanja operacija u VLL [3] vazdušnom prostoru doneti od strane vazduhoplovnih vlasti.

Pravilo koje se odnosi na maksimalnu visinu na kojoj bespilotni vazduhoplovi mogu leteti utvrđeno je na osnovu minimalne visine krstarenja vazduhoplova, koja iznosi 500 ft. Smatra se da je bezbedno razdvajanje od 100 ft dovoljno da se izbegne potencijalni bliski susret između vazduhoplova i drona [2].

Iako uvođenje pretpostavki ograničava koncept operacija, iste je neophodno uvesti zbog toga što u ovom trenutku nisu usvojena konkretna rešenja po pitanju organizacije, komunikacije i navigacije ovih tipova vazduhoplova. Simultano se radi na donošenju rešenja koja se tiču ovih pitanja što će u budućnosti olakšati proces formiranja koncepta operacija.

Pored toga, pravila predložena u ovom radu, odnose se na idealne meteorološke uslove, na uslove optimalne potražnje i na pretpostavku da je obavljanje operacija dostave dobara prihvaćeno od strane korisnika [6].

2.3 Ograničenja

Najčešća ograničenja su kvalitet prevoza dobara, emisije štetnih gasova, pristupačnost koja se ogleda kroz vreme i cenu dostave, buka opažena od strane ljudi na zemlji, bezbednost u slučaju nezgoda, efikasnost po pitanju potrošnje energije, itd. Pored toga, treba obezbediti kapacitet za povećanje obima operacija, koje se očekuju u bliskoj budućnosti nakon implementacije dronova za dostavu robe u donjem delu vazdušnog prostora [6].

Ograničenja u vazdušnom prostoru usko su povezana sa ograničenjima samih vazduhoplova. Na primer, ostvarivanje potrebnog nivoa bezbednosti zahteva razvoj tehnologija i implementaciju procedura koje će

osigurati bezbedno razdvajanje između dronova, između dronova i terena ili prepreka. Dalje, alate i metode za sekvenciranje saobraćaja je neophodno razviti kako bi se na optimalan način iskoristio vazdušni prostor [6]. Iz svega navedenog, može se zaključiti da glavno ograničenje jeste pitanje bezbednosti.

3. RAZVOJ KONCEPTA OPERACIJA

Koncept operacija predložen u ovom radu se fokusira na UTM operacije koje se dešavaju na ili ispod 400 ft (120 m) iznad naseljenih mesta. Koncept je struktuiran na osnovu određenih postojećih standarda u vazdušnom saobraćaju, ali je ujedno uveden i niz pretpostavki kako bi se postigla standardizacija i generalizacija koncepta operacija. Pored toga, imajući u vidu da je koncept implementacije dronova u vazdušni prostor u svrhe dostave dobara u ranim fazama svog razvoja, u trenutku pisanja rada ne postoji konkretna regulativa na osnovu koje bi bilo moguće razviti koncept operacija, bez uvođenja pretpostavki [6].

Visina na kojoj dronovi lete je relativna visina, tj. vertikalno rastojanje posmatrane tačke (drona), za koju se podrazumeva da je u vazduhu, u odnosu na referentnu ravan. Korišćenjem relativne umesto apsolutne visine smanjuje se rizik od narušavanja bezbednog nadvišavanja prirodnih ili veštačkih prepreka.

Imajući u vidu da je prvobitna namena dronova – dostava dobara u urbanim područjima, značajno je napomenuti da će ove operacije biti bez vizuelnog nadzora operatera (*Beyond Visual Line of Site* – B-VLOS), zbog toga što operater (*Remote Pilot* – RP) neće biti u mogućnosti da održava vizuelni kontakt sa dronom (*Visual Line of Site* – VLOS) sve vreme leta. Umesto toga, RP upravlja dronom pomoću instrumenata iz udaljene upravljačke stanice (*Remote Pilot Station* – RPS). Pored toga, jasno je da će dronovi biti programirani tako da budu autonomni. Ovaj tip operacija predstavlja fundamentalnu osnovu za razvijanje koncepta dostave dobara u urbanim područjima [1].

Autonomnost dronova, ali i činjenica da će operacije biti B-VLOS, vode ka tome da će još jedan od zahteva, koji će dronovi morati da zadovolje, biti opremljenost antikolizionim sistemom, koji bi bio pandam postojećem TCAS-u (Traffic Collision Avoidance System) u civilnom vazduhoplovstvu. Postojanje ovakvog sistema koji bi pružao informacije o prisustvu "stranog tela" u određenom radijusu je od vitalnog značaja za bezbedne operacije bespilotnih vazduhoplova [6].

Kontrola letenja nadležna za nadzor, komunikaciju i bezbedno vođenje vazduhoplova kroz vazdušni prostor nije zadužena za upravljanje dronovima u donjem delu vazdušnog prostora. Međutim, prikazano je kroz faze postepeno uvođenje nekakvog tela (tzv. UTM-a) koje će imati sličnu ulogu kao konvencionalna kontrola letenja, ali koja će se baviti isključivo vođenjem bespilotnih vazduhoplova.

3.1 Faza 1 koncepta

Prva faza razvoja koncepta operacija se temelji na slobodnom letenju iznad naseljenih mesta između baze operatera i korisnika usluga. Pod slobodnim letenjem podrazumeva se letenje na ili ispod 400 ft (120 m) iznad nivoa zemlje, direktno od tačke A do tačke B (najkraćim putem), bez postojanja vazdušnih koridora i bez postojanja tela koje vrši nadzor i vođenje bespilotnih vazduhoplova (Slika 1, levo) [6].

Pretpostavlja se da će operacije dronova na nivou grada, u najranijoj fazi, biti organizovane tako da budu što jednostavnije i što povoljnije za operatera. S obzirom na to da će glavni izvor energije dronovima biti baterije, a teži se tome da one budu što dugotrajnije, akcenat se u prvoj fazi projektovanja stavlja na pređeni put i vreme koje je neophodno da se dronom izvrši dostava od tačke A do tačke B. Operateri bi u ovom slučaju birali ortodromsko rastojanje, tj. najkraće rastojanje između dve tačke na Zemljinoj površini za dostavu dobara, budući da su u tom slučaju operativni troškovi najniži.

Jedan operater bi, na teritoriji jednog grada, mogao da obavlja operacije na ovaj način. Ovakva organizacija operacija u vazdušnom prostoru bi bila izvodljiva ukoliko bi postojala koordinacija unutar organizacionih struktura operatera koje bi vodile računa da ne dolazi do presecanja putanja, a samim tim ni do potencijalnih konflikata [6].

Međutim, uvođenje još jedne baze drugog operatera bi dovelo do povećanja kompleksnosti saobraćajne situacije u donjem delu vazdušnog prostora. Bez hijerarhije, tj. tela koje vrši nadzor i vođenje bespilotnih vazduhoplova, porastao bi broj potencijalnih konflikata čime bi saobraćajna situacija postala nebezbedna i nepovoljna. Bezbednost je i dalje najvažniji prioritet u vazduhoplovstvu, bilo da se radi o vazduhoplovima koji lete sa ili bez posade. Takođe, treba imati u vidu da se operacije dostave robe dronovima planiraju za donji vazdušni prostor, iznad urbanih područja, čime se stanovništvo izlaže dodatnom riziku od posledica koje bi nastale konfliktom ili kolizijom dva ili više dronova.

Glavna prednost ovog koncepta je svakako najkraće rastojanje i najkraće vreme dostave od tačke A do tačke B. Samim tim, operater bi teorijski imao kapacitet koji je ograničen brojem raspoloživih dronova, koji bi se koristili za dostavu robe, i vremenom dostave [6].

Iako bi za operatere idealan slučaj bio kada bi mogli da lete po najkraćoj mogućoj putanji, s aspekta javne bezbednosti taj slučaj se ne može okarakterisati kao najidealniji. Teško je zamisliti sistem koji funkcioniše bez delimičnog ili potpunog nadzora i vođenja bespilotnih vazduhoplova. Iako se dronovi nalaze visoko na lestvici tehnološkog napretka, ipak će biti potrebno mnogo vremena da se automatizacija i sistem harmonizuju tako da ne dolazi do potencijalnog narušavanja bezbednosti [6].

3.2 Faza 2 koncepta

Koncept predstavljen u prvoj fazi razvoja predstavlja osnovu za dalji razvoj i organizaciju operacija u donjem vazdušnom prostoru. Pored nedostataka kao što je veliki broj potencijalnih konflikata, narušavanje bezbednosti i kompleksna saobraćajna situacija, nameće se još problema, među kojima je problem privatnosti. Naime, ukoliko bi operateri vršili dostavu dronovima iz svojih baza do finalne destinacije najkraćom mogućom putanjom, to bi neretko značilo da isti preleću privatne posede stanovnika. Na taj način bi ljudima bila narušena ne samo privatnost, već i bezbednost, tj. postojao bi određeni rizik da dođe do incidenta iznad njihovog poseda [6].

Imajući u vidu sve navedene probleme koji prate koncept operacija opisan u Fazi 1, može se zaključiti da bi rešenje moglo biti uspostavljanje delimično uređenog sistema. Faza 2 nastaje evolucijom Faze 1 usled povećanja broja operatera i potražnje za takvom vrstom usluge.

Faza 2 podrazumeva letenje na ili ispod 400 ft (120 m) iznad nivoa naselja, od tačke A do tačke B, korišćenjem "gradskih vazdušnih puteva" koji su replika mreže puteva na zemlji na nivou jednog grada, bez postojanja tela koje vrši nadzor i vođenje bespilotnih vazduhoplova (Slika 1, sredina) [6].

Fundamentalni koncept Faze 2 zasniva se na formiranju transportne mreže gradskih vazdušnih puteva, na osnovu već postojeće gradske transportne mreže. Transportna mreža predstavlja složen skup više čvorova i veza između njih, po kojoj se obavlja proces prevoza, prenosa ili premeštanja objekata transporta primenjenom transportnom tehnologijom u vremenu i prostoru [6].

Ovakav pristup prevazilazi problem letenja iznad privatnih poseda, kao i problem neuređenosti sistema. Mreža sačinjena od čvorova i grana daje dobar uvid u saobraćajnu situaciju i pozitivno utiče na nivo bezbednosti. Ipak, analizom različitih parametara može se doći do zaključka da replika gradske transportne mreže na mrežu vazdušnih puteva kojim bi se kretali dronovi, ne predstavlja najbolje rešenje po pitanju efikasnosti. Problem kompleksnosti saobraćajne situacije, koji je naizgled rešen uvođenjem uređenog sistema, se lako može pokazati kao i dalje aktuelan ukoliko se izvrši analiza po nekim od parametara kvaliteta. Veliki broj raskrsnica, koje opravdano postoje na zemlji, u vazduhu mogu potencijalno predstavljati uska grla na kojima se povećava broj potencijalnih konflikata. Dalje, određene grane u gradskoj transportnoj mreži bi verovatno bile procentualno korišćene više vremena, dok bi druge bile korišćene manje, što bi dalje dovelo do smanjenja koeficijenta iskorišćenja predloženih vazdušnih puteva [6].

Slučajevi i situacije koje mogu biti pogodne za razvoj konflikata nam daju indikaciju da je ipak potrebno struktuirati vazdušni prostor i osnovati telo koje će se baviti organizacijom kretanja bespilotnih vazduholova u donjem delu vazdušnog prostora, kako bi se postigao određeni nivo bezbednosti [6].

3.3. Faza 3 koncepta

Evolucijom Faze 2, usled daljeg povećanja broja operatera i potražnje za takvom vrstom usluge, a samim tim i većeg rizika da dođe do konflikata, nastaje Faza 3. Koncept operacija u Fazi 3 odnosi se na operacije koje se dešavaju na ili ispod 400 ft (120 m) iznad nivoa naselja, od tačke A do tačke B, korišćenjem "gradskih vazdušnih koridora" projektovanih isključivo za kretanje bespilotnih vazduhoplova, koji su kontrolisani od strane tela koje vrši nadzor i vođenje bespilotnih vazduhoplova (Slika 1, desno) [6].

Uvođenjem podobnog tela koje je uporedivo današnjoj kontroli letenja postiže se uređenost sistema, sa jasno definisanom strukturom i pravilima letenja. U ovakvom sistemu, bezbednost je na najvišem mogućem nivou. Pored povećanja bezbednosti, kontrolisani sistem uliva poverenje građanima, samim tim, proširuje se spektar njegove primene [6].

4. ILUSTRACIJA KONCEPTA OPERACIJA

Za potrebe ilustracije razvijenog koncepta u ovom radu je definisan generički primer koji se može razviti i primeniti na primeru bilo koje urbane teritorije. Simulacija saobraćaja rađena je u programima *GeoGebra* i *MS Excel* [6].

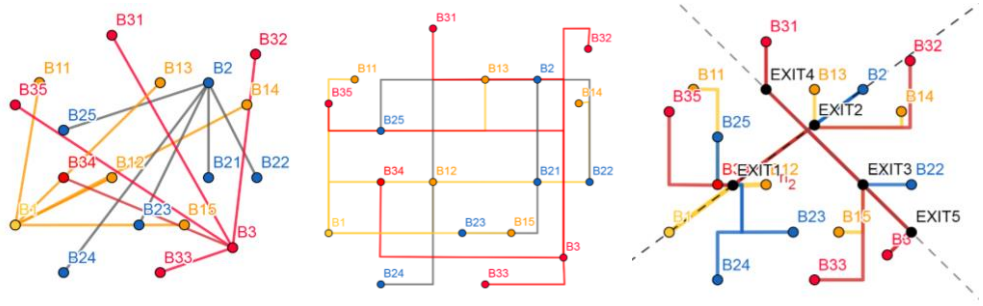
Primer je urađen na sledećem scenariju [6]:

- ukupan broj baza operatera je 3, a ukupan broj korisnika je 15;
- broj korisnika kojima se vrši dostava robe iz svake od baza je 5;

- simulirano je ukupno 15 operacija u intervalu od *t* do *t*+60 minuta, pri čemu su vremena poletanja u intervalu od *t* do *t*+30 minuta;
- geografski položaj baza operatera, korisnika, kao i vremena poletanja su određeni na slučajan način;
- flota operatera je unificirana;
- svi dronovi se kreću istom krstarećom brzinom koja iznosi 50 km/h;
  zanemaruje se uticaj vetra i drugih meteoroloških pojava.

Cilj ovog generičkog primera jeste evaluacija predloženog koncepta operacija kroz tri faze, kako bi se pokazalo da li i u kojoj meri teorijske pretpostavke predstavljene konceptom operacija odgovaraju rezultatima koji su dobijeni simulacijom saobraćaja. Poređenje faza izvršeno je na osnovu tri parametra [6]:

- *rastojanje* [km] – pređeni put između baze operatera i krajnjeg korisnika;
- *vreme dostave* [min] – vreme koje je potrebno da se pređe rastojanje krećući se određenom brzinom;
- *broj potencijalnih konflikata* – na mestima ukrštanja putanja bespilotnih vazduhoplova.



Slika 1. Izgled hipotetičke mreže u Fazi 1 (levo), 2 (sredina) i 3 (desno) [6]

5. REZLTATI ANALIZE

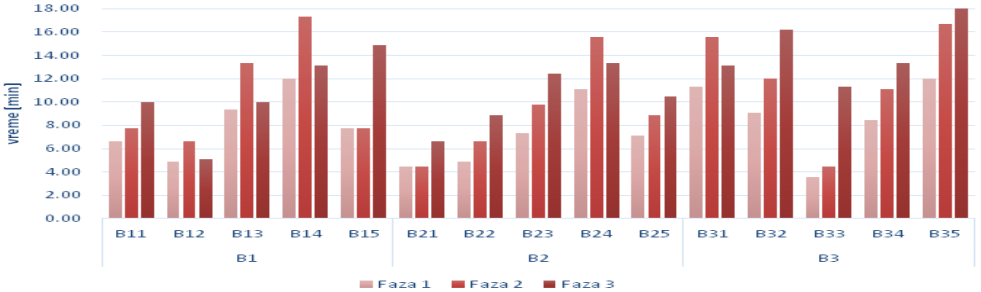
Analizom pomenuta tri parametra za svaku fazu ponaosob dobijeni su rezultati prikazani na slikama 2, 3 i 4.

Na slici 2 su prikazana pređena rastojanja od baza B1, B2 i B3 do korisnika za sve tri faze uporedo. Logično, najkraća rastojanja se ostvaruju u Fazi 1 koncepta, dok se u većini slučajeva najveća rastojanja ostvaruju u Fazi 3.



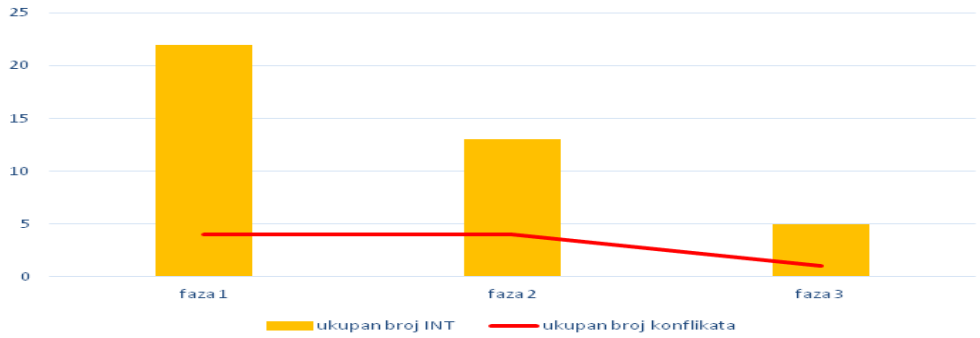
Slika 2. Rastojanje između baze i korisnika [6]

Na slici 3 su prikazana vremena trajanja letova od baza B1, B2 i B3 do korisnika za sve tri faze uporedo. Logično, najkraća vremena se ostvaruju u Fazi 1 koncepta, dok se u većini slučajeva najduža ostvaruju u Fazi 3. Ovi rezultati su razumljivi jer proizilaze iz činjenice da je zbog konstantne brzine dronova veza između pređenog rastojanja i vremena leta direktna.



Slika 3. Vreme leta od baze do korisnika [6]

Na slici 4 su prikazani ukupni brojevi presečnih tačaka putanja (*Intersection* - INT) u svakoj pojedinoj Fazi kao i ukupan broj potencijalnih konflikata. Interesanto je zapaziti da u Fazi 3 u kojoj postoji telo koje upravlja saobraćajem dronova, broj presečnih tačaka i broj potnecijalnih konfliktnih situacija je najmanji.



Slika 4. Međuzavisnost između broja presečnih tačaka (INT) i broja potencijalnih konflikata [6]

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu predložen je koncept operacija dronova koji bi se koristili za transport robe u urbanom području, u donjem delu vazdušnog prostora iznad urbanih naselja. Kriterijum kojem je u ovom radu dat najveći značaj je kriterijum bezbednosti, zbog čega se poseban akcenat stavlja na ideju o uređenosti sistema, a samim tim i postojanja tela koje će se baviti nadzorom i vođenjem bespilotnih vaduhoplova u donjem delu vazdušnog prostora.

Imajući u vidu značaj kriterijuma bezbednosti, jedan od parametara koji je bio razmatran bio je broj potencijalnih konflikata, pri čemu ni u jednoj od faza broj konflikata nije bio jednak nuli. Ovaj podatak govori da postoji prostor za poboljšanje koncepta operacija ili uvođenje nekog novog. Poređenjem faza koncepata operacija, došlo se do zaključka da u navedenim uslovima, pri uvedenim pretpostavkama i ograničenjima, koncept operacija Faze 3 predstavlja najbolje rešenje, tj. predstavlja dovoljno dobru kombinaciju efikasnosti i zahtevanog nivoa bezbednosti.

Veliki je izazov izvršiti implementaciju dronova u vazdušni prostor, imajući u vidu da su korisnici vazdušnog prostora, između ostalog, i civilni vazduhoplovi. Međutim, donošenjem odgovarajuće regulative kojom će se definisati propisi, pravila i procedure moguće je izvršiti koordinaciju operacija i ujedno obezbediti visok nivo bezbednosti u sistemu vazdušnog saobraćaja.

ZAHVALNICA

Istraživanje je finansirano sredstvima projekta TR 36033 Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

[1] ACUO, *How do we see them*, http://www.acuo.org.au/industry/how-do-we-see-them-vlos-evlos-bvlos (pristupljeno 11.4.2021).

[2] EASA (2015). *Proposal to create common rules for operating drones in Europe*, Cologne, Germany.

[3] EUROCONTROL & EASA (2018). *U-Space Services – Implementation Monitoring Report*.

[4] NASA (2019). *Urban Air Mobility Air Mobility - Airspace Integration Concepts and Considerations*

[5] SESAR Joint Undertaking (2019). *Initial view on Principles for the U-Space architecture*, Brussels, Belgium

[6] Zoraja S. (2020). *Koncept operacija dronova u urbanim područjima*. Saobraćajni fakultet, Beograd.

Simulacija i stohastički modeli

Simulation and Stochastic Models

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

SIMULACIONI MODEL ZA PRORAČUN EMISIJE ŠTETNIH GASOVA NA AERODROMU BEOGRAD

SIMULATION MODEL FOR POLLUTANTS EMISSION CALCULATION AT BELGRADE AIRPORT

JELENA BELIĆ[1], BOJANA MIRKOVIĆ[1], MARKO ĐOGATOVIĆ[1], TATJANA KRSTIĆ SIMIĆ[1]

[1] Saobraćajni fakultet, Beograd, jelena.v.belic@gmail.com, {b.mirkovic, m.djogatovic, t.krstic}@sf.bg.ac.rs.

Rezime: *Zaštita životne sredine predstavlja jedno od važnijih globalnih pitanja poslednjih decenija i sve više dobija na značaju. Aerodrom Beograd identifikovao je upravljanje emisijom gasova sa efektom staklene bašte kao jednu od ključnih oblasti kojima će se baviti u narednom periodu. U ovom radu modelirana je emisija izduvnih gasova vazduhoplova na Aerodromu Beograd pomoću simulacije. Analizirane su vrednosti emisije za vršni period najzauzetijeg dana na aerodromu, kako ukupne, tako i vrednosti po operacijama. Pored toga, proračunata je i emisija na aerodromu primenom standardnog LTO ciklusa. Poređenjem sa rezultatima simulacije, pokazano je da za aerodrom ove veličine data metoda znatno precenjuje ukupnu emisiju izduvnih gasova.*

Ključne reči: *aerodromske operacije, životno okruženje, emisija gasova, simulacioni model*

Abstract: *Environment protection has been an important global issue during the last couple of decades and is becoming ever more important. Belgrade Airport identified greenhouse gases emission management as one of the key fields to be addressed. In this paper, aircraft exhaust emissions at Belgrade Airport were modelled. Emission results for peak period of the busiest day are analyzed, including total emission as well as emission per operation. Besides that, emission of standard LTO cycle was calculated. Comparing to simulation results, it is evident that, for the airport of this size, given method overestimates total greenhouse gases emission.*

Keywords: *airport operations, environment, pollutants emission, simulation model*

1. UVOD

Vazduhoplovi kao posledicu sagorevanja goriva emituju gasove sa efektom staklene bašte (Greenhouse Gases – GHG), od kojih je približno 72% ugljen-dioksida (CO_2), 28% vodene pare (H_2O) i manje od 1% ostalih gasova, što uključuje monoazotne okside (NO_x), ugljen-monoksid (CO), ugljovodonik (HC), sumpor-dioksid (SO_2) i čestice (PM – Particulate Matter). Na nivou Evrope, u 2016. godini vazdušni saobraćaj učestvovao je u ukupnoj GHG emisiji sa 3,6%, a sa 13,4% u emisiji generisanoj od strane saobraćaja [1].

Uticaj operacija vazduhoplova na zagađenje životne sredine se uobičajeno posmatra kroz dve komponente. Jedna se odnosi na lokalnu emisiju zagađivača tokom ciklusa sletanja i poletanja vazduhoplova na aerodromima (*Landing and Take-off* – LTO), i to od nadmorske visine poletno-sletne staze (PSS) do visine od 3000 ft, a druga na globalnu emisiju zagađivača koji se emituju tokom ostalih faza leta (non-LTO). Prva komponenta je važan izvor zagađenja vazduha u okolini aerodroma, a time direktno i/ili indirektno ima uticaj na zdravlje stanovnika i ekosistem [2].

Standardni ICAO LTO ciklus podrazumeva sledeće faze [3]: prilaz i sletanje – 4 minuta, taksiranje – 26 minuta, poletanje – 0,7 minuta, penjanje – 2,2 minuta. Pretpostavljeno vreme taksiranja od 26 min (7 min *taxi-in* i 19 min *taxi-out*) može biti značajno veće na velikim aerodromima sa velikim obimom saobraćaja, dok je istovremeno za brojne male i srednje aerodrome (kao što je Aerodrom Beograd) značajno precenjeno. Zbog toga je za analizu emisije gasova poželjno koristiti prosečna vremena taksiranja ili proračunata vremena taksiranja za svaku operaciju, u zavisnosti od PSS i parking pozicije koju određeni vazduhoplov koristi [4], kao što je to urađeno na primeru Aerodroma Beograd u ovom radu. Simulacija operacija vazduhoplova na vazdušnoj strani Aerodroma Beograd realizovana je korišćenjem *SimEvents* biblioteke *Simulink*-a [5].

Mrežni model vazdušne strane Aerodroma Beograd prikazan je u Sekciji 2. U Sekciji 3 prikazan je proračun potrošnje goriva i GHG emisije i uvedene su određene pretpostavke. Simulacioni model za

proračun emisije gasova na Aerodromu Beograd i rezultati simulacije prikazani su u Sekciji 4. Rezultati su upoređeni sa proračunom za standardni LTO ciklus. U Sekciji 5 dat je zaključak i pravci daljih istraživanja.

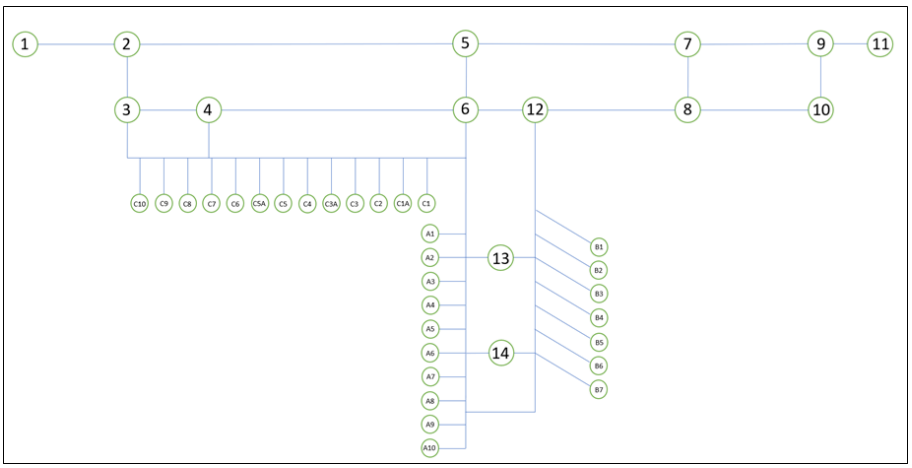
2. MREŽNI MODEL VAZDUŠNE STRANE AERODROMA BEOGRAD

Aerodrom Beograd (IATA: BEG, ICAO: LYBE) je najveći aerodrom u Srbiji, kako po veličini, tako i po broju operacija poletanja i sletanja. Ima jednu poletno-sletnu stazu orijentacije 12/30, dužine 3400 m i širine 45 m. Poletno-sletnu stazu sa paralelnom rulnom stazom spajaju dve izlaznice. Tri platforme (A, B i C) namenjene su za putničke i kargo vazduhoplove sa ukupno 27 parking pozicija, dok se četvrta platforma koristi za vazduhoplove generalne avijacije (nije modelirana).

Na osnovu plana aerodroma, definisan je mrežni dijagram [6] na kojem čvorovi predstavljaju tačke u sistemu od značaja za regulisanje kretanja vazduhoplova, dok grane predstavljaju dužine koje vazduhoplov prelazi između tih tačaka (Slika 1). Vreme prelaska iz jednog čvora u drugi proračunava se na osnovu dužine grane i brzine koju određeni vazduhoplov ima u datoj fazi leta. Čvor 1 predstavlja tačku (u vazduhu) u kojoj počinje zajednička putanja u završnom prilazu (Final Approach Fix – FAF), dok preostali čvorovi predstavljaju tačke na zemlji i formiraju mrežu površina za kretanje na aerodromu, u skladu sa podacima iz Zbornika vazduhoplovnih informacija [7].

Brzine kretanja vazduhoplova na određenim granama dobijene su aproksimacijom, na osnovu iskustva pilota. Brzine u poletanju i sletanju se razlikuju u zavisnosti od tipa vazduhoplova, dok su brzine rulanja iste za sve tipove i iznose 30 kt na izlaznicama i paralelnoj rulnoj stazi, a 20 kt na ostalim rulnim stazama i platformi.

Kako se na Aerodromu Beograd PSS 12 koristi oko 70% vremena [8], razmatran je samo slučaj korišćenja ove staze. Pretpostavljeno je da svi vazduhoplovi u sletanju mogu da prihvate izlaznicu D (grana 7-8 na mrežnom dijagramu), a da vreme zadržavanja na stazi (Runway Occupancy Time – ROT) za sve vazduhoplove u sletanju iznosi 46,8 sekundi. Vreme zadržavanja na stazi pretpostavljeno je na osnovu rezultata studije rađene za Aerodrom Brisbejn [9]. Usvojena je vrednost ROT za izlaznicu koja se nalazi na 1845 m od praga PSS, što je približno položaju izlaznice D na Aerodromu Beograd. Validacija ovih pretpostavljenih vrednosti izvršena je na osnovu stvarnih vremena dodira PSS i vremena parkiranja na parking poziciji, zabeleženih na aerodromu za posmatrani vršni dan.



Slika 1: Mrežni dijagram – prikaz površina za kretanje vazduhoplova na Aerodromu Beograd

Emisija izduvnih gasova na Aerodromu Beograd analizirana je za vršni period dana sa najvećim brojem operacija za 2019. godinu (26.07.). Izabranog dana na aerodromu su zabeležene ukupno 294 operacije poletanja i sletanja, gde su uključene sve vrste letova. Za potrebe rada, izdvojene su operacije putničkog i robnog saobraćaja, kojih je zabeleženo 231. Kao vršni period određena su četiri sata sa najvećim brojem operacija (od 16 h do 20 h), koji obuhvata 65 operacija, odnosno 35 poletanja i 30 sletanja.

3. PRORAČUN POTROŠNJE GORIVA I EMISIJE GASOVA

Flota vazduhoplova koji saobraćaju na Aerodromu Beograd predstavljena je sa pet tipova vazduhoplova koji imaju najveći udeo u ukupnoj populaciji, proračunato na osnovu broja operacija svakog od tipova tokom jula meseca 2019. godine. Ostali tipovi svrstani su u jedan od ovih pet tipova na osnovu pripadnosti istoj familiji vazduhoplova i sličnih karakteristika motora. Najveći udeo od 58% ima grupa vazduhoplova iz Airbus

familije, koja je predstavljena vazduhoplovom tipa A320. Ostale grupe učestvuju sa sledećim udelom: ATR-72 – 21%, B737 – 10%, CRJ900 – 6% i E195 – 5%.

Za proračun potrošnje goriva i emisije GHG gasova za mlazne motore korišćena je ICAO baza emisije [10], u kojoj su date vrednosti potrošnje goriva (kg/s) i indeksa emisije određenih gasova (količina emitovanog zagađivača po kilogramu sagorelog goriva) po tipu motora, za različite režime rada motora u zavisnosti od faze leta (poletanje, penjanje, sletanje i taksiranje).

Kako za turboelisne motore ne postoji javno dostupna baza podataka o potrošnji goriva i GHG emisiji, za vazduhoplov ATR-72 koji ima turboelisne motore podaci su aproksimirani pomoću podataka o potrošnji i emisiji za vazduhoplov tipa B737, za čiji motor podaci postoje i u ICAO bazi, Tabela 1 [11]. Na primer, jedan motor vazduhoplova ATR-72 tokom LTO ciklusa emituje 35% HC od ukupne emisije HC koju tokom LTO ciklusa emituje jedan motor B737. Dobijeni procenti dalje su iskorišćeni da se na osnovu indeksa emisije i potrošnje goriva za B737 dobiju odgovarajući indeksi i potrošnja za ATR-72.

Tabela 1: Aproksimacija podataka za ATR-72

Tip aviona	Gorivo (kg/LTO)	HC (kg/LTO)	CO (kg/LTO)	NO_x (kg/LTO)
B737	392	0.418	6.517	3.595
ATR-72	100	0.145	1.165	0.91
%	26%	35%	18%	25%

GHG gasovi koji su uzeti u obzir u simulacionom modelu su CO_2, H_2O, SO_x, HC, CO i NO_x. Emisija CO_2, H_2O i SO_x direktno zavisi od potrošenog goriva, odnosno indeks emisije je isti za sve faze leta i iznosi redom 3149 g/kg, 1230 g/kg i 0,84 g/kg [12]. Sa druge strane, indeks emisije HC, CO i NO_x zavisi i od faze leta, odnosno od režima rada motora, i razlikuje se kod različitih tipova motora. Za svaki od vazduhoplova u floti odabran je karakterističan tip motora koji je najčešće ugrađivan na dati tip vazduhoplova [3], a iz baze emisije dobijena je potrošnja goriva za svaki od tipova motora za posmatrane faze leta (Tabela 2). Dalje se iz baze emisije dobija i podatak o indeksu emisije za određeni gas, izražen u gramima po kilogramu potrošenog goriva.

Tabela 2: Potrošnja goriva po tipu motora i fazi leta

Tip aviona	Tip motora	Potrošnja goriva poletanje (kg/s)	Potrošnja goriva sletanje (kg/s)	Potrošnja goriva taksiranje (kg/s)
A320	CFM56-5B4/P	1.132	0.312	0.104
B737	CFM56-3B1	0.946	0.29	0.114
E195	CF34-10E5	0.789	0.221	0.084
CRJ900	CF34-8C5	0.648	0.179	0.064
ATR-72	PW2037	1.571	0.458	0.152

Ukupno potrošeno gorivo tokom posmatranih faza leta j na letu i izračunava se pomoću relacije (1):

$$TF_i = N_i \cdot \sum_j (FF_{ij} \cdot t_{ij}) \tag{1}$$

TF_i – ukupno potrošeno gorivo na letu i tokom svih posmatranih faza leta (kg)
N_i – broj motora vazduhoplova koji obavlja posmatrani let i
FF_{ij} – potrošnja goriva (po motoru) tokom faze leta j na letu i (kg/s)
t_{ij} – vreme koje vazduhoplov na letu i provede u fazi leta j (s)

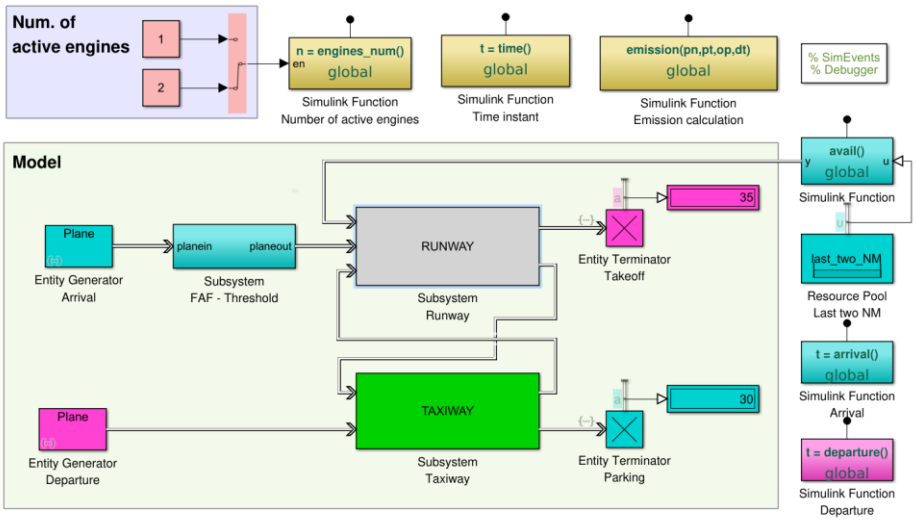
Na sličan način dobija se i emisija gasa k na letu i (2).

$$E_{ik} = N_i \cdot \sum_j (EI_{ijk} \cdot FF_{ij} \cdot t_{ij}) \tag{2}$$

E_{ik} – emisija gasa k na letu i tokom svih posmatranih faza leta (g)
EI_{ijk} – indeks emisije gasa k tokom faze j leta i (g/kg)

4. SIMULACIONI MODEL ZA PRORAČUN EMISIJE GASOVA

Na Slici 2 prikazan je model sistema realizovan korišćenjem *SimEvents* biblioteke grafičkog alata za modeliranje dinamičkih sistema *Simulink*.



Slika 2: Simulacioni model operacija na Aerodromu Beograd

Vazduhoplov u sletanju pojavljuje se u sistemu u tački FAF. Kako vazduhoplovi u sletanju moraju da održavaju međusobno rastojanje od 3 NM (propisano razdvajanje za vazduhoplove kategorije turbulencije *Medium*), podsistem FAF – PSS obezbeđuje da se između vazduhoplova u sletanju održava ovo razdvajanje, tako što tek kada prvi vazduhoplov pređe 3 NM, sledeći vazduhoplov može da uđe u sistem.

Vreme do trenutka dodira proračunava se na osnovu brzine vazduhoplova u prilazu i dužine završnog prilaza. Dužina završnog prilaza je zapravo rastojanje od FAF-a do praga PSS na koji vazduhoplov sleće, odnosno u ovom slučaju 8 NM. U podsistemu PSS vazduhoplov zauzima poletno-sletnu stazu, što daje signal da drugi vazduhoplovi ne mogu da je koriste.

Kada napusti PSS, vazduhoplov ulazi u podsistem rulnih staza. Svi vazduhoplovi na početku imaju jedan zajednički segment (grane: 7-8 i 8-12, Slika 1), a potom u zavisnosti od platforme na koju se upućuju, imaju različitu putanju. Na kraju zajedničkog segmenta, u čvoru 12 mrežnog dijagrama, bira se platforma ka kojoj vazduhoplov nastavlja. Vazduhoplovi koji se upućuju na platformu B odvajaju se ka istoj, dok vazduhoplovi koji se upućuju na platforme A ili C imaju dodatni zajednički segment pre razdvajanja (grana 12-6). Vreme potrebno da vazduhoplov dođe do parking pozicije izračunava se preko brzina vazduhoplova u rulanju i dužina segmenata na rulnim stazama. Ukoliko se kao primer uzme vazduhoplov koji se uputio na poziciju C5, on će rulati brzinom od 30 kt od napuštanja PSS (čvor 7) do čvora 12, gde će biti upućen na C platformu. Na segmentu od čvora 12 do čvora 6 imaće istu brzinu rulanja, posle čega skreće ka platformi i brzina mu se smanjuje na 20 kt. Po dolasku na dodeljenu parking poziciju, vazduhoplov izlazi iz sistema, pri čemu se kao rezultat prikazuje emisija koju je imao tokom posmatranih faza leta. Vreme taksiranja posmatranih vazduhoplova u sletanju trajalo je između 3 i 4 minuta.

Prilikom poletanja, vazduhoplov ulazi u sistem kada krene sa parking pozicije. Vazduhoplovi sa platforme B imaju različitu putanju prilikom rulanja u poletanju u odnosu na vazduhoplove sa A i C platforme. Takođe, vazduhoplovi sa platforme B na poletanje kreću preko čvora 12, paralelnom rulnom stazom do čvora 3, dok vazduhoplovi sa platformi A i C idu direktno na čvor 3, pri čemu vazduhoplovi sa platforme A prolaze pored platforme C.

U čvoru 3 vazduhoplovi dalje čekaju na izlazak na PSS i poletanje. Ovde se formira red čekanja. Uslov da vazduhoplov krene na poletanje je da je vazduhoplov koji je prethodno poleteo ili sleteo napustio PSS, a da je naredno sletanje udaljeno minimalno 2 NM od praga na koji sleće. Kada su ispunjeni svi uslovi da vazduhoplov krene u poletanje, on napušta red čekanja i zauzima PSS. Vazduhoplov izlazi iz sistema kada preleti suprotan kraj PSS, što je usvojeno da je 90 sekundi nakon polaska na poletanje. Prosečno vreme taksiranja posmatranih vazduhoplova u poletanju iznosilo je 13 minuta.

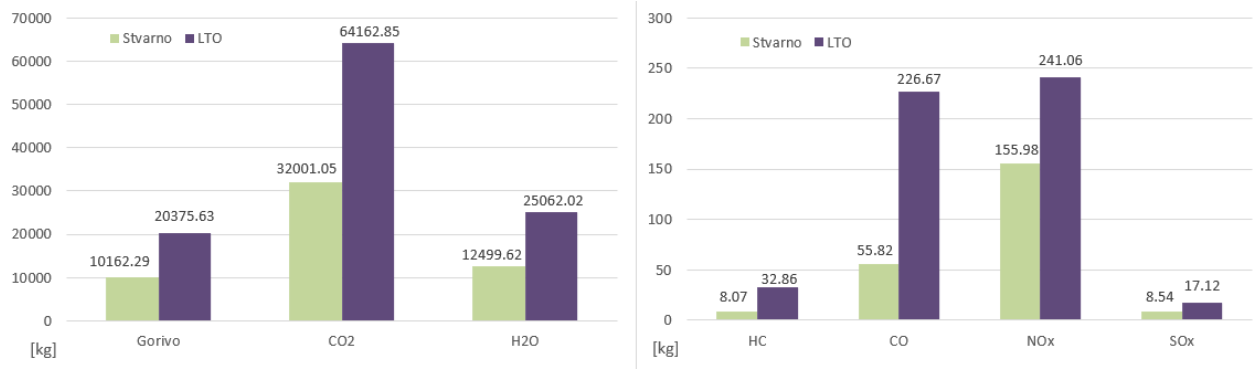
Pored navedenog, u simulacionom modelu je regulisano i „mešanje“ operacija na površinama za kretanje, jer se određeni segmenti putanja vazduhoplova u sletanju i poletanju poklapaju. Na tim mestima formira se (potencijalno) red čekanja. Važno je napomenuti da se vazduhoplovima koji čekaju dodeljeno vreme čekanja dodaje na ukupno vreme rulanja, pa se samim tim povećava i njihova emisija.

4.1. Rezultati

Kao osnovni rezultat simulacije dobijena je ukupna količina potrošenog goriva i emitovanih gasova tokom posmatranog vršnog perioda (četiri sata, od 16 h do 20 h), za razmatrane operacije poletanja i sletanja – Slika

3, zeleni stubići. Na istoj slici uporedno su prikazane i vrednosti dobijene proračunom za isti saobraćaj, ali za standardni ICAO LTO ciklus - ljubičasti stubići.

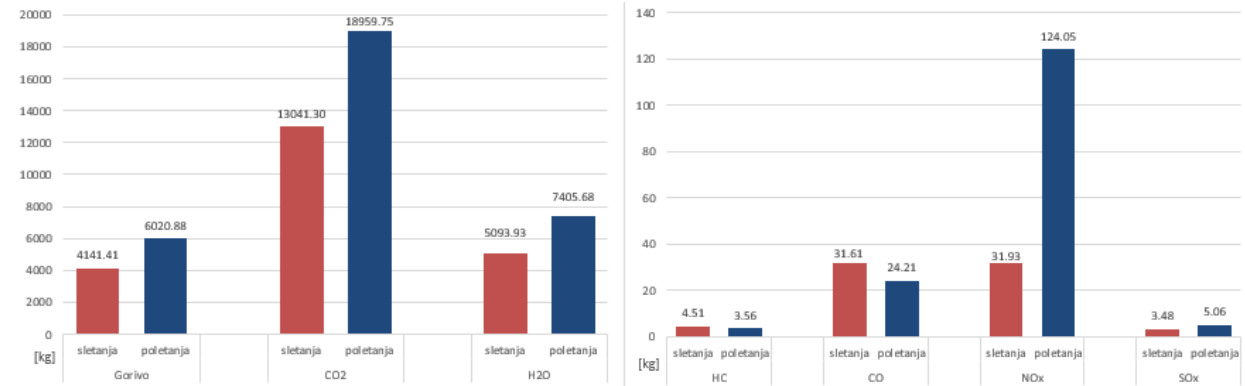
Sa slike se lako može uočiti značajna razlika u količini emisije različitih gasova (za oba slučaja), što dobro odslikava pomenutu činjenicu o udelu različitih zagađivača u izduvnim gasovima motora. Može se videti da je emitovano najviše CO_2, što odgovara pomenutoj vrednosti od 72% u ukupnoj GHG emisiji generisanoj od strane vazduhoplova, a da je sledeća po količini emisija H_2O sa udelom od približno 28%, dok su vrednosti za ostale gasove značajno niže, što potvrđuje da je njihov udeo u ukupnoj emisiji manji od 1%. Takođe, na grafiku se može primetiti odnos koji emisija CO_2 i H_2O ima u odnosu na količinu potrošenog goriva, što odgovara njihovim indeksima emisije, pa je tako ukupna emisija CO_2 oko tri puta veća od utrošenog goriva, što odgovara indeksu emisije od 3,149 kg po kg goriva. Posmatrajući posebno emisiju ostalih gasova, primećuje se da je emisija NO_x najveća u ovoj grupi, dok je druga po redu emisija CO. Ovo je svakako posledica indeksa emisije i vremena provedenog u određenoj fazi leta, ali indirektno je i posledica udela tipova vazduhoplova, jer se indeksi emisije razlikuju između njih, pa je tako udeo vazduhoplova E195 koji ima najveću emisiju CO u taksiranju nedovoljno veliki da ukupna emisija ovog gasa bude veća. Sa druge strane, udeo A320 je preko 50%, a indeksi emisije NO_x za motore ovog vazduhoplova su najveći za poletanje i drugi po redu za sletanje i taksiranje, u poređenju sa ostalim tipovima vazduhoplova.



Slika 3: Ukupno potrošeno gorivo i emisija gasova u vršnom periodu

Poređenjem vrednosti dobijenih za standardni LTO ciklus i „stvarnih“ vrednosti mogu se uočiti značajne razlike, kako u samom potrošenom gorivu, tako i u emisiji zagađivača koji zavise samo od količine potrošenog goriva. Za standardni LTO ciklus dobijene su približno dvostruko veće vrednosti. Za GHG čiji se indeksi emisije razlikuju po fazama leta može se primetiti nešto drugačiji odnos ukupne emisije dobijene za stvarne vrednosti trajanja pojedinačnih faza u odnosu na vrednosti za standardni LTO ciklus. Vrednosti emisije CO i HC su oko četiri puta veće za standardni LTO ciklus. Ovo je posledica toga što su indeksi emisije ova dva zagađivača najveći za fazu rulanja, a upravo je ova faza značajno duža u standardnom LTO ciklusu. Sa druge strane, indeksi emisije NO_x najveći su u fazama poletanja i penjanja, a u simulaciji je, iako nije razmatrana faza penjanja, pretpostavljeno nešto duže trajanje faze poletanja – 90 sekundi. U standardnom LTO ciklusu poletanje traje 42 sekunde, a penjanje 132 sekunde, pa to sve zajedno dovodi do toga da je emisija NO_x pri standardnom LTO ciklusu veća za više od 50%.

Kada se uporede vrednosti potrošnje goriva i količine emitovanih GHG tokom poletanja i sletanja („stvarne“ vrednosti, dobijene simulacijom), takođe se mogu uočiti određene zavisnosti - Slika 4.



Slika 4: Ukupno potrošeno gorivo i emisija gasova po operacijama

Količina goriva koja se potroši tokom poletanja veća je nego ona za vreme sletanja, što je u skladu sa potrošnjom goriva, odnosno činjenicom da motori tokom poletanja rade u režimu sa 100% potiska. Stoga, emisija gasova koja zavisi samo od potrošenog goriva (CO_2, H_2O i SO_x) takođe je veća za operacije poletanja. Nasuprot tome, kod emisije HC, CO i NO_x postoji razlika u indeksu emisije po režimima rada motora, pa je u skladu sa tim različita i raspodela dominantnog zagađivača tokom različitih operacija. To je najprimetnije kod emisije NO_x, gasa za koji je indeks emisije najveći tokom poletanja. Zbog toga, kao i zbog činjenice da je pri poletanju veća i potrošnja goriva, ukupna emisija NO_x tokom operacija poletanja je skoro četiri puta veća nego pri operacijama sletanja. Sa emisijom HC i CO situacija je nešto drugačija. Ovi zagađivači su izraženiji tokom taksiranja i sletanja, pa bez obzira što je potrošnja goriva veća tokom poletanja, ipak ta razlika nije toliko velika, pa je ukupna emisija ovih gasova veća za operacije sletanja.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu analizirana je emisija izduvnih gasova vazduhoplova na beogradskom aerodromu, pomoću simulacije u grafičkom alatu za simulaciono modeliranje *Simulink*. Analizirane su ukupne vrednosti potrošenog goriva i emitovanih gasova za sve posmatrane vazduhoplove, kao i vrednosti po tipovima operacija (sletanja i poletanja). Pokazano je kako na GHG emisiju utiču potrošnja goriva, indeksi emisije, ali i udeo različitih tipova vazduhoplova u floti. Pored toga, proračunata je i emisija gasova na aerodromu primenom standardnog LTO ciklusa. Poređenjem sa rezultatima simulacije, pokazano je da za aerodrom ove veličine data metoda znatno precenjuje ukupno potrošeno gorivo i odgovarajuću GHG emisiju.

Dalja istraživanja na ovu temu mogla bi da obuhvate analizu emisije za celodnevni saobraćaj, ali takođe i uključivanje stvarnih vrednosti za pojedine parametre koji su u ovom radu bili pretpostavljeni. Pored toga, dalja istraživanja mogla bi biti usmerena i ka analizi uticaja povećanja obima saobraćaja na aerodromu na GHG emisiju, na osnovu kratkoročnih i dugoročnih prognoza.

LITERATURA

[1] European Aviation Safety Agency, EASA. (2019). European Aviation Environmental Report 2019, doi: 10.2822/309946

[2] Yilmaz, I. (2017). Emissions from passenger aircrafts at Kayseri Airport, Turkey. Journal of Air Transport Management, 58, 176-182

[3] European Environment Agency – EEA. (2019). EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019.

[4] Mirković, B. Ganić, E. (2020). Mogućnosti za smanjenje emisije gasova u taksiranju na Aerodromu Beograd. Tehnika, 75 (6), 759-766

[5] Zhang Y., Cassandras C. G., Wei L., Mosterman P. (2018). A Discrete-Event and Hybrid Simulation Framework Based on SimEvents for Intelligent Transportation System Analysis, IFAC-PapersOnLine 51(7), 323-328

[6] Belić, J. (2020). Simulacioni model za proračun emisije izduvnih gasova vazduhoplova na Aerodromu Beograd, master rad br. DP8933, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet

[7] Kontola letenja Srbije i Crne Gore, SMATSA. (2021). Zbornik vazduhoplovnih informacija. https://smatsa.rs/aip/, pristupljeno 21.05.2021.

[8] Šljukić, S., Đogatović, M., Mirković, B. (2018). Simulation Model for Determining the Location of Runway Exit. 13th Balkan Conference on Operational Research, Belgrade, 365-372

[9] Brisbane Airport Runway Occupancy Time – Airport Capacity Enhancement. https://www.airservicesaustralia.com/wp-content/uploads/Brisbane-Runway-Occupancy-Time.pdf, pristupljeno 10.07.2020.

[10] International Civil Aviation Organization, ICAO. (2020). Aircraft Engine Emissions Databank https://www.easa.europa.eu/domains/environment/icao-aircraft-engine-emissions-databank, pristupljeno 10.07.2020.

[11] Čokorilo, O. (2016) Environmental issues for aircraft operations at airports. Transportation Research Procedia, 14, 3713-3720

[12] EUROCONTROL Experimental Centre. (2001). Forecasting Civil Aviation Fuel Burn and Emissions in Europe.https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/library/015_Forecasting_Fuel_Burn_and_Emissions_in_Europe.pdf , pristupljeno 24.05.2021.

XLVIII Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23. September 2021.
MATΦ University of Belgrade Faculty of Mathematics
Mathematical Institute SANU

ALGEBRAIC MODELING OF SOCIAL SYSTEMS EVOLUTION – ALMODES

JERZY MICHNIK[1]

[1] University of Economics in Katowice, 1 Maja 50, 40-287 Katowice, Poland, jerzy.michnik@ue.katowice.pl

Abstract: *The article presents the possibilities of using algebraic modeling of the evolution of complex systems that are of interest to social sciences. The system is represented by a network of interacting components. The mechanism of evolution appears as a result of the propagation of interactions in the system and is modeled using matrix algebra. The proposed method is able to reflect various types of evolution of system components, such as, e.g. non-linear growth, convergence to a certain level, or oscillations. Consequently, the method can be used in the analysis of the behavior of various systems and help in solving problems that arise in human activity.*

Keywords: *ALMODES, dynamics, evolution, social system, algebraic modeling, Weighted Influence Non-linear Gauge System*

1. INTRODUCTION

The evolution of system that, in addition to technical components, include people and complex objects (organizational units, abstract objects) is the subject of wide interest in scientific circles. It is interdisciplinary in nature and attracts the attention of researchers representing various fields of science.

Different ways of describing the evolution of social systems have one thing in common: in the modeling process a researcher tries to estimate the directly immeasurable components of the system and combine these estimates with measurable variables in order to be able to apply a formal model. The method proposed here is derived from previous work and continue the attempts in modifying the original Weighted Influence Non-linear Gauge System (WINGS) method [8] to gain a modeling tool for system evolution [1, 3]. For this new approach using the acronym ALMODES (ALgebraic MODeling of Evolution of System) is proposed.

Due to the limitation of the length of the article, rather limited and random than systematic review of publications will be presented. Even that it clearly points to a wealth of methods for modeling complex social systems in the context of their evolution.

The most popular approach is System Dynamics (SD), the creator of which was J. Forrester. Sterman's monograph is a rich source of knowledge about the Forrester method, especially in the context of social systems and economic activity [10]. Another attempts to explain the mechanism of historical evolution are based on the same mathematical theory (ordinary differential equations) [5]. Fuzzy Cognitive Map (FCM) [6] is another way of describing the dynamics of social systems that has many applications (see e.g. [9]). A qualitatively different approach to study dynamic limit behavior in social networks, based on fixed-point logics has been presented in work of Benthem [4]. A Multi-Agent Approach to simulate cellular automata considered as a very close representation of the evolution of complex social systems is a subject of study by Auer and Norris [2]. Wang et. al. employed the gray correlation analysis (GCA) to investigate the time lags effects of innovation input on output in the national innovation systems [11].

2. ALGEBRAIC MODEL OF SOCIAL SYSTEM EVOLUTION

2.1. Basic assumptions

The application of an algebraic approach to modeling system evolution requires a number of assumptions. The general assumptions on which this work is based are:

- The cause-and-effect relationship between the components of the system underlies the behavior of the system and changes in its state over time.
- The complex relations between the components of the system can be approximated by:
  - the two-component interactions,
  - the events occurring at isolated points in time (discrete model).
- Indirect interrelations are delayed proportionally to the number of intermediate components.

With the above assumptions, the system evolution model can be represented by a directed graph (digraph) in which the system components are represented by vertices and their interactions by arcs.

In this paper, it is proposed to use the widely known relationship of directed graphs with matrix algebra to model the evolution of the system. For this purpose, we assume that all dependencies between the components of the system can be characterized by real numbers. These numbers will come from expert estimation (in the case of directly immeasurable quantities) or from a functional transformation of measurable quantities.

In Fig. 1 we see an example of a graph representing a system model. In this figure (and all subsequent ones), we assume the convention that when there is no interrelation between the starting vertex Ci and the ending vertex Cj, there is no corresponding arc in the graph. In particular, this also applies to the self-interaction, that is, the arc from Ci to itself. We associate with the digraph a matrix similar to the adjacency matrix. We will call it

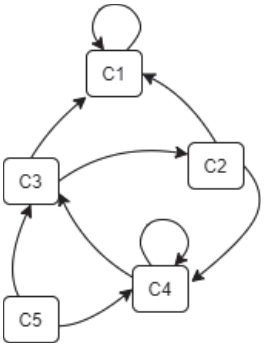


Figure 1 Sample system graph.

the *interaction matrix* or *dependency matrix* and denote it as $\mathbf{A} = [a_{ij}]_{i,j=1,\ldots,N}$, where N – the number of system elements. a_{ij} represents the value of influence exerted by vertex i on vertex j. The term (i, j) in consecutive powers of this matrix $\mathbf{A}^2$, $\mathbf{A}^3$ etc. is the algebraic sum of the values of paths with lengths of 2 arcs, 3 arcs, etc., connecting the vertex Ci with the vertex Cj. The value of the path is determined by the product of the elements corresponding to the arcs on the path. For example, if there is a path in the graph connecting vertex C3 with vertex C1 through an intermediate vertex C2, then it consists of two arcs, and the corresponding value will be the product of $a_{32}a_{21}$ and will appear in the second power of the matrix $\mathbf{A}$. This path can be seen in Fig. 1.

We will assume that a direct interaction occurring on a path with a length of one arc requires a properly defined, unit period of time. Indirect actions will require a multiple of this unit segment corresponding to the number of arcs on the path connecting the vertices. Thus, the model is based on a discrete time measurement that will be described with successive natural numbers.

We define the state vector as N-dimensional vector of real numbers $\mathbf{s}(t)$, where $t = 1, 2, \ldots$ is the time in the model. The row form (transposition, marked with $'$) of the state vector is written as $\mathbf{s}'(t) = [s_1(t), s_2(t), \ldots, s_n(t)]$. Changes caused by interactions in the system, occurring in consecutive time intervals $1, 2, \ldots, t$, in relation to the initial state $\mathbf{s}(0)$, are included in the adequate powers of the interaction matrix $\mathbf{A}$ $\mathbf{A^2}$, $\ldots, \mathbf{A}^t$.

We will assume that changes in subsequent time periods accumulate additively. We will investigate how information about changes in a system can be used with linear algebra formulas. Multiplying the state vector on the left by successive powers of the influence matrix, we get:

$$\mathbf{s}(t) = \mathbf{s}(0) + \mathbf{A}\mathbf{s}(0) + \mathbf{A}^2\mathbf{s}(0) + \ldots + \mathbf{A}^t\mathbf{s}(0) = \sum_{u=0}^{t} \mathbf{A}^u\mathbf{s}(0) = \mathbf{T}(t)\mathbf{s}(0), \tag{1}$$

If we multiply the transposition of the starting state vector on the right by the matrix A, we get

$$\mathbf{s}'(t) = \mathbf{s}'(0) + \mathbf{s}'(0)\mathbf{A} + \mathbf{s}'(0)\mathbf{A}^2 + \ldots + \mathbf{s}'(0)\mathbf{A}^t = \sum_{u=0}^{t} \mathbf{s}'(0)\mathbf{A}^u = \mathbf{s}'(0)\mathbf{T}(t), \tag{2}$$

In the formulas (1) and (2) the matrix $\mathbf{T}$ was introduced, which is the sum of the powers of the interaction matrix (including the zero power i.e. unit matrix)

$$\mathbf{T}(t) = \sum_{u=0}^{t} \mathbf{A}^u. \tag{3}$$

For a selected component of the system i and time point u, from the formula (1) we get

$$[\mathbf{s}(u)]_i = \sum_{k=1}^{n} [\mathbf{A}^u]_{ik} s_k(0). \tag{4}$$

According to the properties of matrix $\mathbf{A}$ element k from row i in $[\mathbf{A}^u]_{ik}$ represents the cumulative impact of element i on element k exerted along all paths of length u, connecting element i with element k. The sum over k determines an influence of component i on all components of the system (including itself). As a consequence, the cumulative impacts of the component i on the system for t time segments will be determined by the row i of the matrix $\mathbf{T}$

$$[\mathbf{s}(t)]_i = \sum_{k=1}^{n} [\mathbf{T}(t)]_{ik} s_k(0). \tag{5}$$

Similar reasoning for Eq. (2) leads to

$$[\mathbf{s}'(u)]_i = \sum_{k=1}^{n} s_k(0) [\mathbf{A}^u]_{ki}. \tag{6}$$

Here, element k form column i represents cumulative impact of element k on element i exerted along all paths of length t. The sum determines the influence of all system components (including the component itself) on the selected component. The cumulative impact on the component i for t time periods will be determined by the column i of the matrix $\mathbf{T}$, according to the equation

$$[\mathbf{s}'(t)]_i = \sum_{k=1}^{n} s_k(0) [\mathbf{T}(t)]_{ki}. \tag{7}$$

To sum up: information on the evolution of the component over time from the beginning of the analysis to time t

- contained in row i of matrix $\mathbf{T}(t)$ refers to the impact of component i on the whole system,
- contained in column i of matrix $\mathbf{T}(t)$ refers to the impact of whole system on component i.

In order to track the state of system components changing over time, we focus our attention on how the system affects each component. It will be represented by a vector $\mathbf{s}'(t)$,

$$\mathbf{s}'(t) = \mathbf{s}'(0)\mathbf{T}(t). \tag{8}$$

In reality, the elements of the system are complex objects that are treated as indivisible and homogeneous components only for the needs of the model. Therefore, in the vast majority of cases, it will not be possible to define a measurable quantity describing their condition. Additionally, our goal is to obtain information about relative changes in the state of system elements resulting from mutual relations. Therefore, we will assume that the initial states of all elements are the same and, for the sake of simplicity, equal to 1. This assumption does not diminish the generality of the obtained results and allows easily to generalize to a case with any initial state. With this assumption, the equations (5) i (7) take the form

$$[\mathbf{s}(t)]_i = \sum_{k=1}^{n} [\mathbf{T}^t]_{ik} = I_i(t), \tag{9}$$

$$[\mathbf{s}'(t)]_i = \sum_{k=1}^{n} [\mathbf{T}^t]_{ki} = R_i(t). \tag{10}$$

In the above formulas, new concepts were introduced: $I_i(t)$ – *total impact* and $R_i(t)$ – *total receptivity* (or susceptibility) of component i, Total receptivity serves to evaluate the change in state of component i over time. In the algebraic model of system behavior introduced above, there is also additional information that may be useful in the analysis. In addition to total receptivity, we have total impact, which shows the strength of the total effect of a component on the system. We can also utilize the linear combinations of impact and receptivity:

$$Inv_i(t) = I_i(t) + R_i(t), \quad Role_i(t) = I_i(t) - R_i(t). \tag{11}$$

$Inv_i(t)$ – *involvement* reflects the importance of the component in the system, $Role_i(t)$ – its *role*: $Role_i(t) > 0$ means the active component, $Role_i(t) < 0$ – passive, $Role_i(t) = 0$ stands for the perfect balance of impact and receptivity.

3. MODELS OF THE SIMPLEST SYSTEMS

While a single element can hardly be considered a system, studying its behavior will help build models and analyze systems composed of more than one component. On the other hand, its evolution can be thought of as a result of internal interactions in a component that is usually also a complex object.

For a single item, the sums in the equations (9) and (10) come down to one term

$$I_1(t) = R_1(t) = t_{11}(t) = \sum_{s=1}^{t} a_{11}^s = a_{11} + a_{11}^2 + \ldots + a_{11}^t = \begin{cases} a_{11}\dfrac{1-a_{11}^t}{1-a_{11}}, & \text{dla } a_{11} \neq 1 \\ ta_{11} & \text{dla } a_{11} = 1 \end{cases} \tag{12}$$

which means that time evolution of a single element is given by the sum of the geometric sequence. Since the only relationship in this example is the self-interaction of the element, the impact and the receptivity are equal to each other. When $0 < a_{11} < 1$ the sequence of sums in the equation converges, when $a_{11} = 1$ it increases linearly with time, when $a_{11} > 1$ it increases non-linearly with t. For negative values, the behavior will be analogous, except that there will be oscillations resulting from alternating negative and positive values of a_{11} powers.

The simplest system is a set of two interacting components. If we introduce at least two non-zero joins, the graph becomes a circular graph. Considering the symmetries, there are three possible cases with two non-zero elements. Due to lack of space, we will only present a variant with two non-zero interactions, which is the simplest feedback model. Its matrix has only two non-zero elements (a_{12} and a_{21}). The graph is shown in Fig. 2. Matrix $\mathbf{T}(t)$ for this case is given by the following equation

$$\mathbf{T}_{23}(t) = \begin{bmatrix} \sum_{k=1}^{t} a_{12}^{[k/2]} a_{21}^{[k/2]} & \sum_{k=1}^{t} a_{12}^{k} a_{21}^{k-1} \\ \sum_{k=1}^{t} a_{12}^{k-1} a_{21}^{k} & \sum_{k=1}^{t} a_{12}^{[k/2]} a_{21}^{[k/2]} \end{bmatrix} \tag{13}$$

for $k = 1, 2, \ldots$, $[x]$ – integer part of a number x. As can be seen, the symmetry of the interactions causes that the impacts and receptivities for both vertices do not differ much. Studying the behavior of more complex systems requires the use of numerical methods because analytical formulas are unattainable.

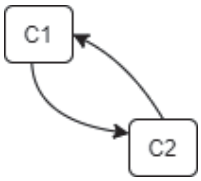


Figure 2 Two-component system.

4. MODES OF BEHAVIOR IN SYSTEM WITH THE FEEDBACK LOOP

There is a number of types of behavior that typically appear in an evolving system. For example Sterman [10] lists exponential grow, goal seeking, and oscillation as the most fundamental. S-shaped growth, S-shaped growth with overshoot and oscillation, and overshoot and collapse are also mentioned as common modes of behavior. They arise from nonlinear interactions of the fundamental feedback structures.

The shapes mentioned above as most fundamental can be obtained in the algebraic model containing one or two nodes. They appear as a result of different values of interactions: positive, negative, below one, equal one or above one, and their combinations. An example of oscillations in the two-component system with specific values of interactions is shown in Fig. 3. It can be shown that model with 3 components is able to reproduce also other common modes of behavior named by Sterman [10] as overshoot with collapse, growth with overshoot and goal seeking.

Lets consider the simplified model of public policy. Its graph is presented in Fig. 4. The meaning of nodes are: C1 – economic development, C2 – population growth, C3 – state of natural environment. The value of self-interactions of nodes represent the strength: C1 – of economic policy, C2 – demographic policy, and C3 - environment protection policy. The specific values of all interrelations are:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0.8 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0.3 & -0.4 \\ 0.4 & 0 & a_{33} \end{bmatrix} \tag{14}$$

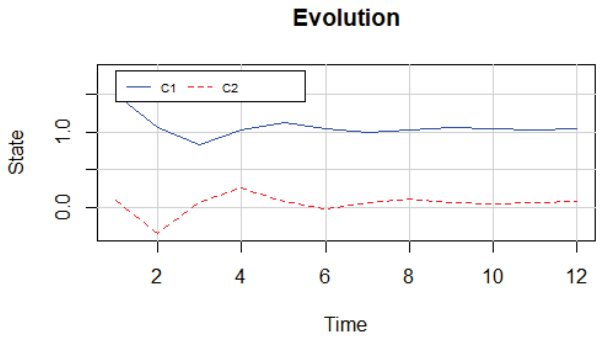


Figure 3 Evolution of two-component system ($a_{12} = -0.9$, $a_{21} = 0.5$).

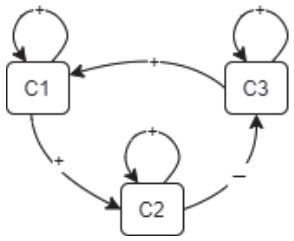


Figure 4 Three-component system – public policy model.

We compare the evolution of the system described by matrix in Eq. 14 with two cases: $a_{33} = 0.2$ – weak environmental policy and $a_{33} = 0.9$ – strong environmental policy. The results for 20 periods are presented in Fig. 5. It is clear that in both cases population growth lags slightly behind economic growth. State of natural environment worsens in the case of weak environmental policy. When the environmental policy becomes strong, the lag of environment state behind the economic and population growth becomes more evident. Strong environmental policy can cause the environment to return to it initial state.

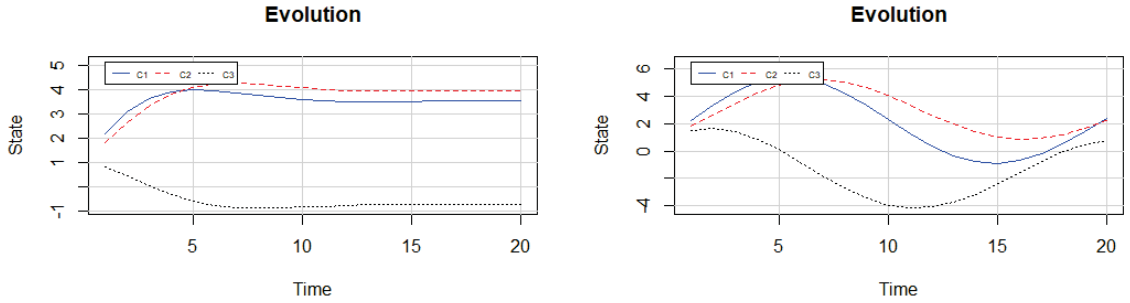


Figure 5 Evolution of the public policy system. Change in environmental policy: left chart – weak $a_{33} = 0.2$, right chart – strong $a_{33} = 0.9$.

5. CONCLUSION

The ALMODES approach presented in this paper makes it possible to study the evolution of social systems in which there are complex and abstract components. The structure of the network in the ALMODES is very similar to the causal (cognitive) map, thanks to which its meaning and method of creation may be easier for practitioners. The information requirements are also not high, which is important in practice.

As Mendoza and Prabhu state, the cause-effect relationships in many complex social systems cannot be structured in a stock-and-flow framework of System Dynamics. In addition, *"knowledge about the elements themselves and their interactions are too general such that their explicit functional relationships cannot be determined or modeled formally"* [7]. In such cases ALMODES can become a valuable alternative or

complementary tool to the SD method.

The other competitor – FCM – requires, the arbitrary chosen, threshold function, which is uninterpretable, and can distort the model results [9]. The FCM procedure is carried out until the stable state is reached, so FCM cannot model cases with non-linear growth.

The key issues that arise in the application of the ALMODES method include: determining the unit of time and assessing the values of interrelations values in the network. In particular, the determination of the sign and the range of the value of the influence is a serious challenge for the user. In order to deal with it, knowledge about the system and assistance of experienced analyst is needed. Note that these (or similar) issues are not unique to ALMODES, but appear in all similar approaches.

As it was shown in the paper, the ALMODES method is able to reflect a wide spectrum of state changes in the modeled system. Thanks to this, it can be used to solve many different problems. Among them may be those relating to: business processes, business or public policy, environmental protection, participatory modeling and many others social issues.

REFERENCES

[**1**] Adamus-Matuszyńska, A., Michnik, J., & Polok, G. (2019). A Systemic Approach to City Image Building. The Case of Katowice City. Sustainability, 11(16), 4470.

[**2**] Auer, K., & Norris, T. (2001). "ArrierosAlife" a Multi-Agent Approach Simulating the Evolution of a Social System: Modeling the Emergence of Social Networks with "Ascape." Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 4(1).

[**3**] Banaś, D., & Michnik, J. (2019). Evaluation of the Impact of Strategic Offers on the Financial and Strategic Health of the Company—A Soft System Dynamics Approach. Mathematics, 7(2), 208.

[**4**] Benthem, J. (2015). Oscillations, Logic, and Dynamical Systems.

[**5**] Cheon, T., & Poghosyan, S. S. (2017). Spiral orbits and oscillations in historical evolution of empires. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 469, 353–362. https://doi.org/10.1016/j.physa.2016.11.035

[**6**] Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. International Journal of Man-Machine Studies, 24(1), 65–75.

[**7**] Mendoza, G. A., & Prabhu, R. (2006). Participatory modeling and analysis for sustainable forest management: Overview of soft system dynamics models and applications. Forest Policy and Economics, 9(2), 179–196.

[**8**] Michnik, J. (2013). Weighted Influence Non-linear Gauge System (WINGS)—An analysis method for the systems of interrelated components. European Journal of Operational Research, 228(3), 536–544.

[**9**] Penn, A. S., Knight, C. J. K., Lloyd, D. J. B., Avitabile, D., Kok, K., Schiller, F., Woodward, A., Druckman, A., & Basson, L. (2013). Participatory Development and Analysis of a Fuzzy Cognitive Map of the Establishment of a Bio-Based Economy in the Humber Region. PLOS ONE, 8(11), e78319.

[**10**] Sterman, J. (2000). Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. Irwin/McGraw-Hill.

[**11**] Wang, D., Zhao, X., & Zhang, Z. (2016). The Time Lags Effects of Innovation Input on Output in National Innovation Systems: The Case of China. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2016, e1963815. https://doi.org/10.1155/2016/1963815

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

SIMULATION MODELLING OF AIRSIDE OPERATIONS AT NIS AIRPORT AND VALIDATION BY MODELS COMPARISON

GORAN PAVLOVIĆ[1], BOJANA MIRKOVIĆ[1], MARKO ĐOGATOVIĆ[1]

[1] Saobraćajni fakultet, Beograd, {g.pavlovic, b.mirkovic, m.djogatovic}@sf.bg.ac.rs

Abstract: *This paper presents the simulation methodology used to analyze the airside operations at Nis airport. Results obtained from two software solutions with different scope and level of sophistication were compared in order to validate the models, as well as to assess their applicability and cost/benefit trade-off.*

Keywords: *simulation modelling, airport, airside, Arena, Simmod.*

1. INTRODUCTION

Any decision related to infrastructure expansion or operational improvement has to be supported by comprehensive studies in order to choose the best option and avoid unnecessary cost. There is always a trade-off between the level of detail and time/cost considerations. Sometimes it is extremely difficult to provide an analytical formulation of the complex systems' processes and their interactions. Simulation presents a common way to avoid these issues by creating computer-based models of real-world physical systems in order to to study complex system behaviour and monitor the operational performance under different conditions, associated to changes on demand side (traffic volume and structure) and supply side (infrastructural and/or operational changes).

When it comes to assessing capacity of any complex system (airport being one of them), one of the parameters that usually comes into consideration is delay. It is also one of the principal measures of performance at airports, and proposals for investments into new airport facilities are typically largely based on the argument that such investments would reduce delays [1]. The type of delay model that will be most appropriate in each case depends on the requirements of the analysis. If a very high level of detail is desired, such as computing delays at every part of the airport including taxiways, apron areas, stands, etc, one of the standard large-scale, microscopic simulation models should be used. Best-known models of this type, commonly accepted by the industry, are Simmod Pro, RAMS Plus, TAAM, AirTOp, etc. [5]. Results of the survey conducted in [5] show that more than 90 percent of respondents use purpose-built commercial simulation tools for airport planning purposes. These models are the so called gate-to-gate models, meaning their scope covers complete aircraft operation from turnaround at departure airport, taxi-out and take-off, through all stages of flight (climb, cruise, descent), to approach and landing, taxi-in and turnaround at arrival airport.

While these tools can be used to their full capacity for analysis of airside operations at large airports and advanced concepts implementations, they have certain limitations when it comes to small airports with specific operational concepts. Due to that, studies involving small airports often rely on analytical models (where applicable) or general-purpose simulation models.

Section 2 presents simulation models of airside operations at Nis Airport. Firstly, simple model created in Arena – general-purpose discrete event simulation and automation software, is presented. Later on, for validation purpose, operations were modelled using specialized airport simulation software Simmod. Results obtained from both models are presented and compared in Section 3, while Section 4 gives the conclusion on model validation and discusses the applicability of both models.

2. AIRSIDE OPERATIONS MODELS

Nis Constantine the Great Airport (IATA: INI, ICAO: LYNI) is the second largest airport in Serbia, after Belgrade Nikola Tesla Airport. It is a mixed civil-military airport and has one asphalt runway (2500 x 45m) and one smaller grass runway (1700 x 50m), both of which with 11/29 orientation [3]. One connecting taxiway (TWY D) and one apron with four aircraft stands are currently available for commercial operations. More details about the airport and its layout can be found in [2].

2.1. Arena model

In order to gain initial insights into the airport system and layout constraints at Nis Airport, a simple model was created in Arena, see Figure 1.

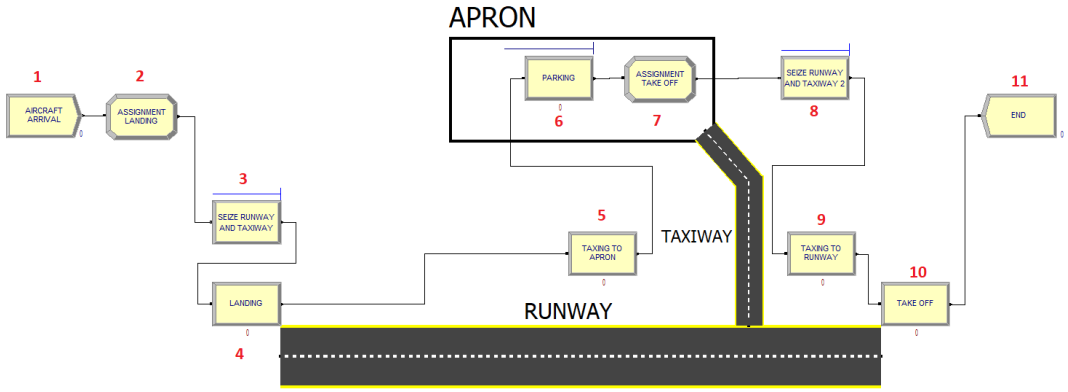


Figure 1: Nis Airport airside operations model in Arena

Quite user-friendly and simple to use, Arena offered a possibility to model key airport processes with an acceptable level of realism and obtain some valuable preliminary results. Different levels of traffic demand were modelled by modifying distributions of interarrival time of flights, gradually increasing the number of aircraft arriving at the airport in a given period of time.

Along with the scenario corresponding to current airside layout (C), three hypothetical future scenarios, implying upgraded taxiway system (C+TWY) and 1 or 2 additional aircraft stands (C+TWY+1/2AS), were simulated for different traffic demand levels. These scenarios are summarized in Table 1.

Table 1: Arena model – scenarios

Scenario	Number of connecting + parallel taxiways	Number of aircraft stands	Airline mix % (low-cost/traditional)	Runway in use (landing/take-off)
C	1+0	4	90/10	11/29
C+TWY	2+1	4		11/11
C+TWY+1AS		5		11/11
C+TWY+2AS		6		11/11

More details about the modules, input parameters and associated probability distributions, as well as results obtained from Arena model can be found in [2].

2.2. Simmod model

Contrary to general-purpose Arena, Simmod is a specialized simulation software that allows building very detailed and sophisticated models of airport systems. Aircraft movements in Simmod are simulated by node and link structure used to create paths traversed by aircraft (see [4]). Nodes and links can be on the ground and/or in the air.

The modelling process usually starts with importing a graphic file (image) of the airport that helps in creating a corresponding network of ground links (segments). As the focus of this study is on ground infrastructure, a very limited network of air links was created, consisting only of final approach (from Final Approach Fix - FAF to threshold, 10 NM for RWY11) and initial climb after take-off. Consequently, there is only one ROUTE that aircraft can follow during their approach and one departure route for take-off. Figure 2 shows a schematic view of the overall network in Scenario C+TWY.

At least two nodes (for each end of the runway) in the airspace network must be labelled as INTERFACE NODES. These are the nodes where aircraft transition between airspace and ground network (labelled 1 and 2 in Figure 2). Runway in use set for the whole duration of the simulation is RWY11 (white arrow, Figure 2).



Figure 2: Network of ground links (left); apron (right)

A list of links that are blocked when an aircraft pushes back has been defined for each gate. For example, GATE 1 located at node 7 blocks the link coming off the gate (6-7) and two links left and right from it (5-6 and 6-8). Same logic has been applied for all other gates. No restriction in GATE usage has been set – all airlines are allowed to use all available gates. Three airlines covering major portion of traffic demand at Nis airport were created in the simulation – Swiss Airlines (SWR), Ryanair (RYR) and WizzAir (WZZ), operating primarily B738 and A320 aircraft models.

Unlike Arena, where the stochastic process of aircraft arrivals was modelled by setting the probability distribution of their interarrival times, in Simmod this is done by creating the probability of lateness (PRB_LATENESS) distribution that assigns random delay to flights beyond the initially scheduled time of arrival. This creates certain difficulties in comparing the results obtained from Arena and Simmod, which is further discussed in Section 3.

Two weeks of traffic in July 2019 were analysed in order to estimate the parameters of the lateness probability function. Cumulative distribution function of "lateness probability" is shown in Figure 3. It can be seen that almost 80% of flights arrive within 20 minutes of their STA and about 90% within 40 minutes. Nevertheless, there is a small probability of extremely large deviations up to 170 minutes.

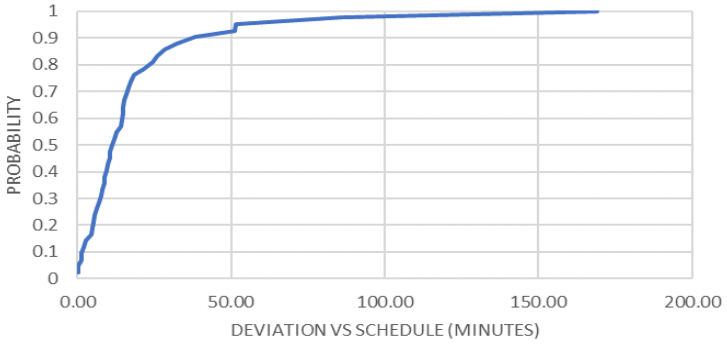


Figure 3: Lateness probability

Initial set of flights has been created based on the flight schedule for a typical busy day of operations in May 2019 (Table 2). As seen from the table, spacing between arriving flights is quite even (approx. 2 hours), which is a good starting reference allowing fairly simple creation of higher demand levels.

Namely, in order to simulate more challenging traffic situations, flights from the reference schedule were cloned by the SETCLONE function with different cloning probabilities, reflecting different traffic demand levels. However, the first higher demand level is created by manually inserting additional flights at even intervals between the existing ones, because the spacing between subsequent flights in the initial schedule is quite large, and cloned flights are bunched around associated "parent" flights since their "lateness" is comparatively small. The associated demand level is designated as "Doubled" (D), as the number of flights is doubled compared to initial schedule. Nine more traffic demand levels were created by cloning scenario D, increasing the traffic between 120% to 320% compared to reference scenario.

Table 2: Initial flight schedule used for the simulation

Airline	Destination	Arrival	Departure
WizzAir	Memmingen (EDJA)	9:30	10:00
WizzAir	Dortmund (EDLW)	11:50	12:20
Swiss Int. Airlines	Zurich (LSZH)	13:45	14:35
Ryanair	Bratislava (LZIB)	15:40	16:10

While turnaround time (per airline type) in Arena was modelled by a single probability distribution incorporating all of its steps, in Simmod it is split between disembarking, towing (if applicable) and boarding distributions. In the case of Nis Airport, towing is not applicable since turnaround process is conducted at GATE and there are no significant breaks between subsequent flights. This is explained by the fact that no airline had its aircraft based at the airport in spring/early summer 2019 (reference period for this study). The same data as for the Arena model was used to estimate these probability distributions. Namely, disembarking process is considered to take 40% of the total turnaround time, while the rest is boarding time. Figure 4 shows the cumulative distributions obtained for low-cost and traditional carriers. Note that a very limited set of data for traditional carriers was used, which explains somewhat distorted probability distribution. However, this is not considered to impact the simulation results significantly.

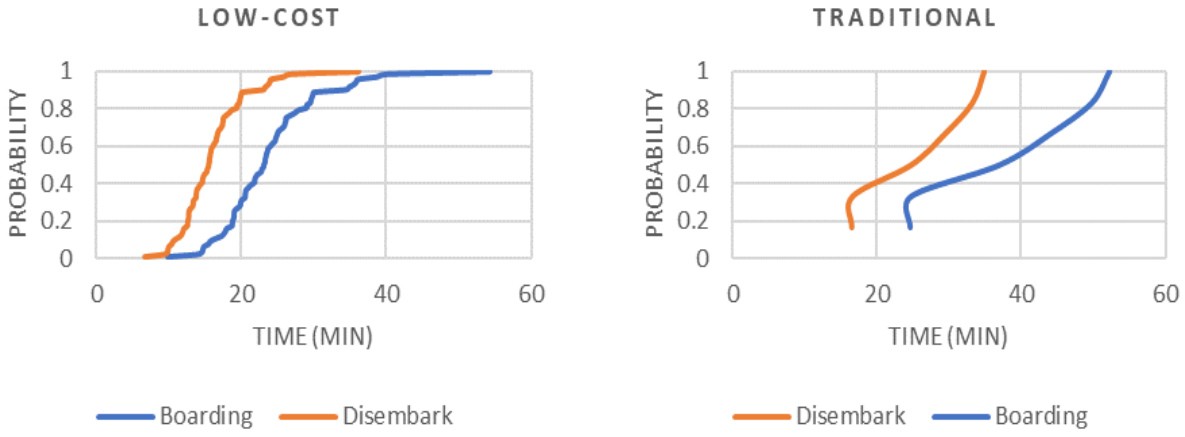


Figure 4: Turnaround time distributions for low-cost (left) and traditional (right) carriers

When it comes to airspace portion of the simulation model, wake turbulence separation distances between different aircraft groups have been set in accordance with ICAO wake turbulence categories and separation minima. However, when a wake turbulence restriction is not required, e.g. between a pair of MEDIUM aircraft that represent major portion of traffic demand used in this simulation, then separation reverts to Minimum Radar Separation (MRS) of 3NM.

Simple network of air links is created to define the path to be followed in the event of a missed approach (e.g. runway is occupied by departing flight). Aircraft experiencing missed approaches are then repeatedly routed back to the same interface node until a successful landing is accomplished.

Several trial simulations were performed and checked in Simmod Animator in order to verify that operations are modelled correctly and that no unrealistic operational situations occur. These trials revealed some inconsistencies for the current scenario. It turns out that such a basic layout is extremely difficult to model with Simmod, because the software is adapted for modelling operations at large airports.

Namely, the impossibility of circular operations on ground due to availability of only one connecting taxiway creates major constraints to the current system and greatly limits its throughput. In order to avoid head-on encounters between aircraft on ground, arriving flights are required to hold airborne if any aircraft on the ground already started taxing for departure. Conversely, all departing flights have to wait for arriving aircraft to park at the stand before taxing for departure. Moreover, the existence of only one connecting taxiway to threshold 29 implies the backtrack procedure for departing flights when runway 11 is in use. While some of these constraints were successfully modelled (e.g. using DEPARTURE_BLOCK function), Simmod does not offer the possibility to hold aircraft in the air if all stands on the ground are occupied

and/or there is an aircraft taxing for departure. This causes gridlocks (and consequently failed iterations) in high demand situations in Scenario C (see Section 3).

In other scenarios, circular operations were enabled by adding a parallel taxiway with a departure queue before lining up on the runway, as well as staging area in order to hold arriving flights from entering the apron until there is at least one free gate for parking. This eliminated the possibility of gridlocks and scenarios were successfully assessed, without failed iterations.

3. MODELS COMPARISON

The ways traffic demand is generated in Arena and Simmod are quite different and greatly complicate direct comparison. It is no doubt that probability distribution of delay with respect to schedule, as defined in Simmod, consequently leads to a certain interarrival times between subsequent flights (as specified in Arena). However, it is extremely difficult to establish a connection between a cloning probability (and delay) in Simmod and interarrival time distribution in Arena. In an attempt to create at least an approximate comparison, traffic demand levels were linked by comparing the average number of flights processed in a unit of time during a simulation run. Table 3 presents the links established in such a way.

Table 3: Link between traffic demand levels in Simmod and Arena

Arena[1]	*	60	50	40	30	20
Simmod	Initial	Doubled (D)	120%D	150%D	200%D	300%D

1 - Demand level designator reflects a parameter of the probability distribution used, as in (Pavlovic *et al.* 2019).

As seen in the table above, in Simmod it was not even possible to achieve the highest demand levels that were simulated in Arena, because of an increasing share of gridlocks occurring. This may be also explained by the fact that traffic demand in Simmod is not as evenly distributed over time as in Arena.

Figure 5 shows the comparison between results obtained from Arena and Simmod. It should be noted that delay figures were calculated as an average across all flights during a simulation run and not just delayed ones, which explains somewhat lower values on Y axis.

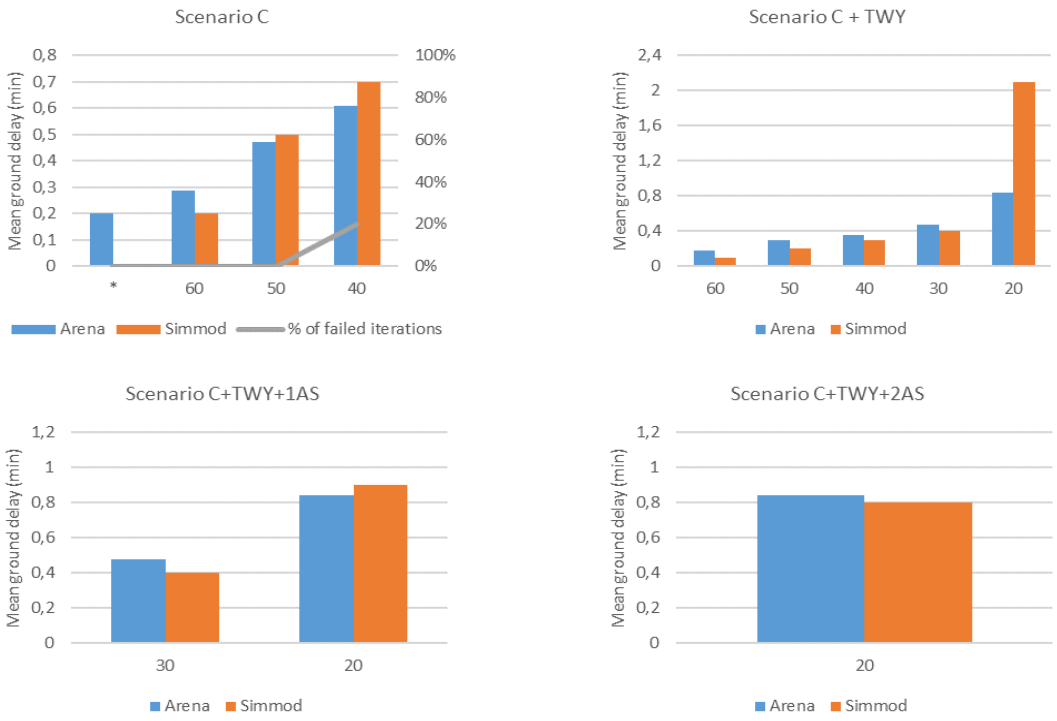


Figure 5: Comparison of results from Arena and Simmod

Figures indicate that results obtained by the two models are quite comparable, despite the approximate method of linking demand levels. In scenario C, delay figures obtained in Arena for higher demand levels tend to be underestimated, especially taking into account the fact that 20% of failed iterations in Simmod for demand level 40 reduced the corresponding mean ground delay to a certain extent. This underestimation

could be explained by the fact that opposite runways (11 for arrivals/29 for departures) were in use for scenario C in Arena, removing the burden of backtrack procedure for departures and thus increasing runway capacity, while in Simmod this situation was not possible to model (in general, such a situation is rarely seen in real world operations and is only possible in very low traffic demand conditions).

For most of the traffic demand levels in other three scenarios delay obtained in Arena appears to be slightly overestimated when compared to Simmod. The most notable exception is observed in Scenario C+TWY where delay obtained in Arena for demand level 20 is largely underestimated. It seems that the system reaches saturation somewhere between demand levels 30 and 20.

At the end, one of the reasons for the divergence in results could also lie in the difference between traffic demand distributions over the simulation time in two models (the distribution being smoother in Arena).

4. CONCLUSION

This paper explains the simulation methodology used to assess the airside operations at Nis airport and combines the results obtained from two different software tools – general-purpose one that was used to create a simple model, and specialized airport simulation software where an advanced and more detailed model was created.

The results obtained from two models are fairly similar, despite the model developed in Arena being a lot simpler than the advanced one created in Simmod. This proves that even a simple model that is much less time-consuming to create can give a good initial estimate of the capacity bottlenecks and expected delays. However, this statement is only valid for rather simple airports like the one modelled in this study. More complex airport systems are often difficult to model with a general-purpose software like Arena, because of many dependencies and conditional rules that must be created. To sum up, the difference in results obtained by the two models barely justifies the efforts and time spent in creating more detailed model in Simmod.

As the goal of this paper was to compare and validate the models, rather than providing precise and robust delay estimates to support future infrastructure plans, it should be noted that results achieved are based solely on current traffic characteristics in terms of traffic mix, airline types etc. Comprehensive sensitivity analysis is needed to cover more diverse situations, e.g. increase in the share of traditional airlines (affecting turnaround times) or general aviation (affecting runway throughput), changes in daily demand profiles etc.

At the end, another aspect that should be taken into account are other components of the airport system, e.g. terminal building (check in, passport and security controls, waiting areas etc.) or ground handling resources. In the case of Nis airport, total capacity is heavily constrained by insufficient development of the landside resources, so any increase in traffic demand is conditioned by a careful and all-inclusive planning and development process.

LITERATURA

[1] De Neufville, R., Odoni, A. (2003). Airport Systems. Planning, Design and Management. McGraw Hill, New York.

[2] Pavlovic, G. and Mirkovic, B. (2019). Simulation of airside operations at Nis Airport. Proceedings of 46st Symposium of Operations Research, SYM-OP-IS 2019, Kladovo, Serbia, September 15-18, 2019, pp. 687-692

[3] Serbia and Montenegro Air Traffic Services SMATSA. (2019). Aeronautical Information Publication (AIP) Serbia/Montenegro

[4] Simmod User's Manual. How Simmod works. Retreived from http://www.tc.faa.gov/acb300/how_simmod_works.pdf, July 2020

[5] Transportation research Board, TRB. 2019. *Simulation Options for Airport Planning*. Washington, DC: The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/25573.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

STOCHASTIC MODELS FOR A SIMPLE LOTTERY GAME

JELENA JOCKOVIĆ[1], BOJANA TODIĆ[2]

[1] Matematički fakultet, Studentski trg 16, Beograd, Srbija, jjocko@matf.bg.ac.rs

[2] Matematički fakultet, Studentski trg 16, Beograd, Srbija, btodic@matf.bg.ac.rs

Abstract: *We consider a simple lottery game (in Serbian: "greb-greb lutrija"), where buying a ticket can lead to rewards $C_1, C_2, \ldots, C_k$ with known probabilities. According to characteristic habits of the customer/gambler (a reasonable customer buys exactly one ticket per day; more optimistic customer buys one ticket per day, and if he gets any reward, immediately buys another ticket; passionate gambler keeps buying new tickets (one or more), as long as he is getting any reward, etc.), we obtain several modifications of the initial setting. There are also various ways to end the game. We will demonstrate that these different scenarios can be considered as special cases of urn problems, Markov reward processes, and multitype branching processes with rewards, which will allow us to obtain quantities like the expected total reward, or the waiting time until the total reward reaches a desired level.*

Keywords: *lottery game, urn problems, Markov reward process, multitype branching process*

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

O RASPODELI VEROVANJA PARAMETARA POUZDANOSTI DVOKOMPONENTNOG SISTEMA SA NEZAVISNIM EKSPONENCIJALNIM RASPODELAMA
ON A FIDUCIAL DISTRIBUTION OF THE RELIABILITY PARAMETER OF A TWO-COMPONENT SYSTEM WITH INDEPENDENT EXPONENTIAL DISTRIBUTIONS

ŽIKICA LUKIĆ[1], BOJANA MILOŠEVIĆ[2], MARKO OBRADOVIĆ[3]

[1] Matematički fakultet, Studentski trg 16, Beograd, Srbija, zikica_lukic@matf.bg.ac.rs

[2] Matematički fakultet, Studentski trg 16, Beograd, Srbija, bojana@matf.bg.ac.rs

[3] Matematički fakultet, Studentski trg 16, Beograd, Srbija, marcone@matf.bg.ac.rs

Rezime: *Parametar pouzdanosti dvokomponentnog sistema $R = P\{X > Y\}$, kod koga X označava snagu sistema, a Y stres, predstavlja verovatnoću da će sistem opstati. U radu je izvedena raspodela verovanja (engl. fiducial distribution) parametra $R = P\{X > Y\}$, pri čemu su X i Y nezavisne slučajne veličine sa eksponencijalnim $\mathcal{E}(\lambda)$ i $\mathcal{E}(\mu)$ raspodelama. Dobijeni teorijski rezultati su ilustrovani empirijskim ocenama raspodele verovanja za uzorke različitog obima, i različite vrednosti parametara λ i μ. Dodatno, predložen pristup je upoređen sa frekvencionističkim i Bajesovim ocenjivanjem parametra R.*

Ključne reči: *raspodela verovanja, dvokomponentni sistem, eksponencijalna raspodela, pouzdanost, stres-snaga*

Abstract: *Reliability parameter of a two-component system $R = P\{X > Y\}$, where X denotes the strength of the system and Y denotes the stress of the system represents probability that the system will prevail. Fiducial distribution of the parameter $R = P\{X > Y\}$ is derived in this paper in a case that X and Y are independent random variables with exponential $\mathcal{E}(\lambda)$ and $\mathcal{E}(\mu)$ distributions respectively. Theoretical results obtained in the paper are illustrated with empirical estimates of fiducial distributions for different sample sizes and different values of parameters λ and μ. The suggested approach was compared with frequentist and Bayes estimates of the parameter R.*

Keywords: *fiducial distribution, two-component system, exponential distribution, reliability, stress-strength*

Statistički modeli

Statistical Models

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

ISTRAŽIVANJE FAKTORA KOJI UTIČU NA POTENCIJALNE MIGRACIJE STUDENATA

EXPLORING THE FACTORS WHICH IMPACT THE POTENTIAL MIGRATION OF STUDENTS

ISIDORA ALBIJANIĆ[1], STRAHINJA RADAKOVIĆ[2], MILICA MARIČIĆ[1], VELJKO JEREMIĆ[1]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, {ia20203652,milica.maricic,veljko.jeremic}@fon.bg.ac.rs
[2] Ministarstvo spoljnih poslova, Beograd, radakovic.strahinjaa@gmail.com

Rezime: *Ovo istraživanje sprovedeno je sa ciljem utvrđivanja faktora na osnovu kojih se može predvideti namera studenata da napuste Srbiju nakon studija. Predloženi model obuhvata socijalne faktore, percepciju karijere, odnose sa porodicom i prijateljima, kao i region iz kojeg student potiče. Rezultati binomne logističke regresije pokazali su da socijalni faktori, odnosi sa porodicom i region imaju značajnog uticaja na stav studenta o migriranju; pritom, njihov uticaj je takav da, što je izraženiji njihov značaj za studenta, manja je verovatnoća nameravanog odlaska.*

Ključne reči: *migracije studenata, mobilnost, migraciona politika, odliv mozgova, logistička regresija.*

Abstract: *This study aims to identify the factors which influence students' intention to emmigrate Serbia after finishing studies. Our suggested model includes social factors, career perception, relations with family and friends and region of origin. Results of the binomial logistic regression showed that social factors, family relations and region of origin significantly impact students' migration intention. Namely, the more they are important for a student, the less likely his intention to emmigrate will be.*

Keywords: *student migration, mobility, migration policy, brain drain, logistics regression.*

1. UVOD

U poslednjih nekoliko decenija uočava se porast migracionih kretanja, kao i njihovo usložnjavanje. Imajući u vidu da je populacija ključni nosilac društvenog i ekonomskog razvoja svake zemlje, migracioni procesi neminovno utiču na demografsku i ekonomsku situaciju države u kojoj se odvijaju [6]. Usled pojačanih migracionih kretanja, ali i povećanog imigracionog pritiska kojem su izložene ekonomski razvijene zemlje, došlo je do porasta interesovanja stručne javnosti za ovu problematiku [20]. Ipak, dosadašnja istraživanja migracionih procesa i dalje nisu doprinela razjašnjenju osnovnih pitanja kao što su faktori koji utiču na odluku pojedinca o migriranju, mogućnost predviđanja migracionih tokova, kao i način upravljanja migracijom od strane država [22,15].

Za Srbiju se može reći da je zemlja sa dugom tradicijom iseljavanja [20]; takve okolnosti mogu se povezati sa različitim činiocima. Između ostalog, Srbija se smatra jednom od evropskih zemalja sa najizraženijim međuregionalnim razlikama [14]. Ilustrativno, prema Prvom nacionalnom izveštaju o društvenom uključivanju i smanjenju siromaštva Vlade Republike Srbije, racio najrazvijenije i najnerazvijenije opštine (prema nivou ekonomskog razvoja) iznosi 10:1 [27]. Posledice dugoročnog usmeravanja investicija isključivo na velike regionalne centre jesu upravo unutrašnje i spoljašnje migracije prvenstveno ruralnih i perifernih područja [14].

Pored regionalnih nejednakosti, koje najviše utiču na dobrovoljne migracije, značajno utiču i nestabilna politička i ekonomska situacija devedesetih godina prošlog veka. Ovi faktori su proizveli brze i masovne migracije preko granica zemlje, potvrđujući da su ratovi i promene u političkom sistemu okidač najozbiljnijih, odnosno prisilnih migracija [8].

U uskoj vezi sa faktorima pokretačima emigracije je i profil emigranta. Prema podacima OECD, emigranti su po pravilu mlade, sposobne i obrazovane osobe, koje se, prema tome, lakše prilagođavaju na novu sredinu u odnosu na ostatak stanovništva [4]. Njihov odlazak nanosi veliku štetu ekonomiji, demografiji, kulturi, društvu i tehnologiji; stoga posebnu pažnju treba usmeriti na mlađu populaciju, prvenstveno studente. Iako treba prihvatiti činjenicu da će se emigracioni procesi neminovno nastaviti s obzirom na njene jake pokretače, kao što su mogućnosti za zapošljavanje, usavršavanje, školovanje na

prestižnim univerzitetima [4], nepostojanje adekvatnih mehanizama za upravljanje migracijama dovelo bi do katastrofalnih posledica. Kada je reč o mladom stanovništvu u Srbiji, na koje, iz prethodno pomenutih razloga, treba usmeriti najviše pažnje pri analizi migracionih tokova, prethodna istraživanja pokazala su da su ključni faktori koji utiču na emigraciju u vezi sa nezadovoljstvom opštim uslovima života, na prvom mestu ekonomskom situacijom u Srbiji.

Imajući u vidu uticaj migracionih procesa na državu i njen celokupni sistem kao i dosadašnja saznanja o migracionim tokovima u Srbiji, ali na globalnom nivou, cilj ovog rada je definisanje faktora koji utiču na nameru studenta o napuštanju Srbije i omogućuju predviđanje takve odluke. U svrhu istraživanja sprovedena je anketa među studentima završnih godina osnovnih i master akademskih studija Fakulteta organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu i korišćena je binarna logistička regresija radi predviđanja koji faktori utiču na njihovu odluku o napuštanju/migriranju. Bolje razumevanje uzroka emigracije moglo bi da doprinese razvoju i implementaciji odgovarajućih politika usmerenih kako na one koji žele da ostanu u Srbiji, tako i na one koji planiraju svoj odlazak, a sve sa namerom zadržavanja mlade populacije u zemlji.

2. PREGLED LITERATURE

Prema rečniku Međunarodne organizacije za migracije (IOM), migracija se može definisati kao kretanje lica kako preko međunarodnih granica tako i unutar granica jedne države. Obuhvata sve vrste kretanja stanovništva, bez obzira na dužinu, uzroke i sastav. Pored toga, iako na međunarodnom nivou ne postoji opšteprihvaćena definicija, u rečniku IOM definiše se i termin „migrant“ kao lice koje je napustilo svoje uobičajeno prebivalište prešavši u drugu zemlju ili drugo mesto u istoj državi, privremeno ili trajno, pri čemu razlozi mogu biti različiti [10].

Kada je reč o faktorima koji utiču na migraciono kretanje, postoje različiti modeli i teorije kojim se objašnjava ovaj fenomen. Vikramasing i Vimalaratana [28] klasifikuju migracione teorije na tri kategorije: mikro nivo, kroz odluku o migriranju iz perspektive pojedinca, makro nivo, agregatnu tačku gledišta, kao što je ekonomska struktura zemlje, i mezo nivo, koji se nalazi između prethodna dva nivoa, a koji uključuje odnose sa porodicom, društveno umrežavanje i tako dalje.

Među teorijama na mikro nivou, koji je od najvećeg interesa u ovom radu jer razmatra uticajne faktore iz ugla pojedinca, ističe se Model privlačenja i odbijanja, gde je osnovna teza da će ljudi potencijalno migrirati ukoliko pojedinac veruje da su uslovi života u drugoj zemlji bolji u odnosu na one u trenutnom prebivalištu [23]. Jednu od razrada ove teorije pruža Li [12] prema kome su osnovne grupe faktora: faktori u vezi sa mestom porekla, faktori u vezi sa željenom destinacijom, moguće prepreke i lični faktori. Prema ovom stanovištu, u svakoj sredini postoje faktori koji zadržavaju ljude unutar te sredine ili ih privlače ka njoj, i nasuprot tome, postoje i faktori koji odbijaju pojedince od određene sredine. Jasno je da je set takozvanih pluseva i minusa specifičan za svakog pojedinca, međutim, moguće je uočiti klase ljudi koji se ponašaju na sličan način pod uticajem iste opšte grupe faktora. U preprekama za promenu mesta boravka posebno se ističe distanca između mesta porekla i željene destinacije. Najzad, u lične faktore uvršteni su, između ostalog: inteligencija, lični kontakti i informisanost, sklonost promenama. Značajno je pomenuti i Teoriju potrošnje koja se razlikuje od tradicionalnih teorija migracije po tome što se odluka zasniva na maksimizaciji ukupne vrednosti, kako materijalne, tako i nematerijalne, kao što su klima, bezbednost, blizina porodice i prijatelja [11]. Još jedna teorija koju vredi navesti je Teorija motivisanog odlučivanja, prema kojoj su osnovni faktori: mogućnost ostvarenja migracionog kretanja, motivacija – koja zavisi od toga koje vrednosti pojedinac neguje, očekivanja – percipirani ishodi migracije, podsticaji – odnos pluseva i minusa zemlje porekla i željene destinacije [11].

Ako se usredsredimo na migracije studenata, jedno istraživanje sprovedeno među internacionalnim diplomiranim studentima u SAD [9] imalo je za cilj predviđanje njihovog karijernog puta i mesta boravka nakon studija na osnovu njihovog obrazovanja. Što se tiče pitanja „Da li da ostanem u SAD nakon diplomiranja ili da se vratim u domovinu?“ uočeno je da su značajan uticaj imali profesionalni (kvalitet obrazovanja, karijerni planovi), lični (obrazovanje roditelja, socio-ekonomski status) i socijalni faktori (prilagođenost američkom društvu i drugi).

Kada je reč o migracijama studenata u Srbiji, korisni zaključci mogu se izvući iz istraživanja Tanje Pavlov [19], gde je utvrđeno da sa rastom nivoa obrazovanja raste i želja za migriranjem iz Srbije. Zabrinjavajuć je podatak da 33% ispitanih doktoranata i magistranata razmišlja o odlasku, kao i 24% visokoobrazovanih. Takođe je uočeno da je među osobama koje razmišljaju o iseljenju statistički značajno više učenika i studenata u odnosu na druga zanimanja (izuzev trenutno nezaposlenih i zaposlenih izvan proizvodnje). Sa druge strane, treba spomenuti i studiju Mojića i Petrovića [16] sprovedenu među mladima starosti od 19 do 35 godina, gde se došlo do suprotnog i iznenađujućeg zaključka – ne postoji razlika između ispitanika različitog nivoa obrazovanja u pogledu migracionih razmišljanja. Ipak, kada se dalje razmatra

preduzimanje konkretnih koraka za ostvarenje migracionih razmišljanja, obrazovanje pokazuje značajan uticaj – više je visokoobrazovanih ljudi koji su preduzeli određene korake u odnosu na ispitanike sa nižim nivoom obrazovanja. Prema istraživanju Tomanovića i saradnika [25], migracije ka većim mestima karakteristične su za ispitanike sa višim stepenom obrazovanja, ali i većim prihodima domaćinstva, dok obrazovanje roditelja ne pokazuje značajnu vezu.

U ovom radu za modelovanje i predviđanje odluke studenta o napuštanju Srbije korišćena je binomna logistička regresija; podsticaj se nalazi u čestoj primeni logističke regresije u radovima u ovoj oblasti. Primera radi, ordinalna logistička regresija je korišćena za ispitivanje migracija nakon završetka studija internacionalnih studenata nosilaca stipendije Republike Češke, odnosno za utvrđivanje kako posmatrani prediktori (stavovi o povratku, normativni pritisak u vezi sa povratkom, percipirana bihejvioristička kontrola) objašnjavaju varijabilitet namere studenata da se vrate u Češku [17]. Takođe, ista metoda primenjena je u istraživanju Silvestrija i saradnika [24] za utvrđivanje faktora koji utiču na predviđanje odluke o migriranju studenata medicine i zdravstvene nege u Tanzaniji i Zambiji, pri čemu su posmatrani, između ostalog, oblast i godina studija, broj jezika koje student tečno govori, maternji jezik, ekonomski status porodice. Logistička regresija primenjena je i u studiji koju su sproveli Gerhes, Dragomir i Černikova Buka [7], a u kojoj je cilj bio utvrditi nameru o odlasku rumunskih studenata inženjerstva nakon završenih studija. Takođe, logistička regresija primenjena je u istraživanju usmerenom na utvrđivanje faktora koji utiču na nameru migriranja kineskih studenta sa Univerziteta Saskačivan u Kanadi [13], a ispitivane su demografske karakteristike, specifične karakteristike poput bračnog statusa roditelja, zanimanja roditelja, porodične finansijske situacije, kao i stečeno iskustvo i utisci o Kanadi, uključujući broj godina provedenih u Kanadi, sticanje prijatelja u Kanadi i tako dalje. Još jednu značajnu studiju u ovoj oblasti sproveli su Akl i saradnici [2] sa ciljem utvrđivanja faktora koji utiču na namere odlaska diplomiranih studenata u oblasti medicine iz Libana, uključujući demografske i obrazovne karakteristike (primera radi, visokoškolska ustanova, godina studija, stav o sopstvenom rangiranju u odnosu na druge studente).

3. OPIS SPROVEDENOG ISTRAŽIVANJA

3.1. Opis sprovedene ankete

Anketa čiji su rezultati korišćeni u ovoj studiji je sprovodena u periodu od 1. jula do 1. septembra 2020. godine korišćenjem servisa Google Forms. Anketa je distribuirana studentima Univerziteta u Beogradu, Fakulteta organizacionih nauka. Potom su podaci adekvatno kodirani i sprovedena je njiihova statistička analiza u softveru SPSS 25.

Anketa se sastojala od 6 celina. Prvi deo ankete se odnosio na demografska pitanja koja su korišćena za opis uzorka i za ispitivanje uticaja demografskih faktora na odluku o migriranju (pol, godine starosti, mesto porekla, region, između ostalih). Zatim je postavljen niz pitanja koji se odnose na vezu sa porodicom. Cilj ove grupe pitanja je da se kvantifikuje ispitanikova veza i privrženost porodici. Pitanja u ovoj celini su preuzeta i modifikovana po uzoru na pitanja u radu Baruha i saradnika [3]. Korišćena pitanja su: „Ja i moja porodica smo veoma bliski“, „Važno mi je da živim blizu svoje porodice“, „Odnosi sa porodicom su mi veoma važni“, „Nedostaje mi porodica ako ih ne viđam često“, „Bilo bi mi teško da napustim porodicu i odselim se“. Sledeći niz pitanja se odnosio na vezu sa prijateljima. Ponovo su modifikovana pitanja iz literature [3] i pridodata su nova: „Imam veliki krug prijatelja sa kojima sam svakodnevno u kontaktu“, „Ja i moji prijatelji smo veoma bliski“, Važno mi je da mogu često da se viđam sa prijateljima“, „Odnosi sa prijateljima su mi veoma važni“, „Nedostaju mi prijatelji ako ih ne viđam često“, „Bilo bi mi teško da moram da stičem nove prijatelje“ i „Imam nekoliko dugogodišnjih prijatelja koje ne želim da izgubim“. Poslednja grupa faktora koja je posmatrana su socijalni faktori. Ispitanicima je bilo ponuđeno osam socijalnih faktora i od njih se očekivalo da iskažu svoje zadovoljstvo istim: „Vladavina prava“, „Rodna ravnopravnost“, „Sloboda veroispovesti“, „Zdravstveni sistem“, „Sistem obrazovanja (osnovno i srednje)“, „Visokoškolsko obrazovanje“, „Kulturna scena“ i „Prava zaposlenih“. Autori su samostalno definisali posmatrane ekonomske i socijalne faktore. Najzad, poslednji posmatrani faktor jeste percepcija karijere, odnosno očekivanja studenata u pogledu buduće karijere. Pitanja u ovoj celini su preuzeta iz istraživanja Petrovića [21]: „Smatram da ću nakon završenih osnovnih studija na FON-u biti spreman da obavljam posao za koji se školujem“, „Smatram da većina poslodavaca ima pozitivno mišljenje o FON-u“, „Smatram da će mi prilikom traženja posla obrazovanje na FON-u pružiti prednost u odnosu na srodne fakultete“, „Smatram da ću po završetku fakulteta lako naći posao u struci“, „Smatram da ću po završetku fakulteta naći posao koji je dobro plaćen“, „Smatram da ću po završetku fakulteta karijeru graditi u Srbiji“. Namera o migriranju posmatrana je kroz modifikaciju pitanja iz literature [18]: „Po završetku studija planiram da napustim Srbiju“.

Sva pitanja koje se odnose na stavove ispitanika o vezi sa porodicom, prijateljima, zadovoljstvu socijalnim i ekonomskim faktorima, percepciji karijere i nameri odlaska merena su na Likertovoj skali od 1 (Nimalo se ne slažem) do 4 (U potpunosti se slažem). Pritom, treba naglasiti da je skala za nameru odlaska u inostranstvo redefinisana za potrebe sprovođenja binomne logističke regresije na dve kategorije – prvu čine studenti koji su u potpunosti ili delimično protiv odlaska iz Srbije, dok drugoj pripadaju ispitanici koji su u potpunosti ili delimično za odlazak iz Srbije.

3.2. Opis uzorka

Anketu je popunilo 177 studenata, od toga je u istraživanju učestvovalo 110 studentkinja (62.1% uzorka) i 67 studenata (37.9% uzorka). Prosečna starost ispitanika je 23.67 godina, sa standardnim odstupanjem od 0.173. Takav rezultat je očekivan, jer je ciljna populacija istraživanja činila studente osnovnih i master studija. Najveći deo uzorka čine upravo studenti završnih godina i master studenti, 65.4% uzorka. Imajući u vidu da su studenti završnih godina i master studenti upravo oni studentni koji su u periodu studiranja kada donose važne odluke o daljem usavršavanju i razvoju karijere u Srbiji ili u inostranstvu, smatramo je posmatrani uzorak zadovoljavajuć. Najmlađi ispitanik imao je 20, a najstariji 30 godina, zaključujemo da raspon starosti iznosi 10 godina, što je takođe očekivano, imajući u vidu maksimalnu dužinu trajanja osnovnih i master studija. Što se tiče regiona odrastanja, ubedljivo najveći broj studenata dolazi iz Beograda i okoline 55.9%, zatim zapadne Srbije (14.7%) i centralne Srbije (12.4%). Rezultati pokazuju da je gotovo polovina ispitanika (46%) odrastalo u domaćinstvima sa primanjima preko 100 000 RSD, a zatim u domaćinstvima sa primanjima između 70 000 i 100 000 RSD njih 23.7%. Preostali ispitanici su ili odlučili da ne odgovore na ovo pitanje ili su odrasli u domaćinstvima sa nižim nivoom primanja. Studije više od polovine anketiranih studenata su finansirane iz budžeta (57.1%), a prosečna ocena svih ispitanika na trenutnim studijama koje pohađaju iznosi 8.2 sa standardnim odstupanjem od 0.052, što potvrđuje da su vrlo dobri studenti učestvovali u istraživanju. Kada je reč o nameri odlaska u inostranstvo, 60.5% studenata ne planira da emigrira (uključujući one koji su iskazali potpunu ili delimično sigurnost u svoj stav), dok preostalih 39.5% planira svoj odlazak, sa većim ili manjim stepenom sigurnosti.

4. REZULTATI SPROVOĐENJA LOGISTIČKE REGRESIJE

U posmatranom modelu binarne logističe regresije zavisna promenljiva je namera o odlasku (Jača ili Slabija), dok su nezavisne promenljive odnos sa porodicom, odnos sa prijateljima, percepcija socijalnih faktora, percepcija karijere, kao i region iz koga ispitanik dolazi.

Prilagođeni koeficijent determinacije (Nagelkerke R^2) iznosi 0.24, što znači da predloženi skup varijabli unapređuje predikciju modela za 24% u odnosu na početni model bez prediktora. Kada je reč o tačnosti klasifikacije, sveukupno posmatrano, model 69.5% slučajeva svrstava u tačne kategorije; preciznije, tačno klasifikuje 86% studenata koji ne nameravaju da emigriraju, dok je taj procenat značajno manji za studente koji planiraju svoj odlazak – 44.3%, što se i moglo očekivati s obzirom da pored navedenih faktora postoji veliki broj činilaca koji utiču na odluku o migriranju, a koji nisu obuhvaćeni modelom.

U Tabeli 1 se može videti da su statistički značajni sledeći faktori: odnosi sa porodicom, socijalni faktori, centralna Srbija kao jedan od datih regiona. Naime, u slučaju porodice količnik šansi iznosi 0.646, odnosno, što je student više vezan za porodicu, to je manja verovatnoća da namerava da napusti Srbiju. Pored toga, količnik šansi za socijalne faktore je 0.448, što pokazuje da što percipira da je stanje socijalnih faktora u Srbiji bolje, manja je verovatnoća da će napustiti Srbiju. Najzad, za centralnu Srbiju količnik šansi iznosi 0.299, što implicira da je za studente koji dolaze iz centralne Srbije manja verovatnoća nameravanog odlaska u odnosu na Vojvođane i Beograđane (koji predstavljaju referentnu kategoriju). Studenti iz drugih regiona ne pokazuju značajnu razliku o odnosu na Vojvodinu i Beograd.

Za proveru slaganja modela sa podacima primenjen je Hošmer-Lemešov test, čiji rezultati pokazuju da nije uočen manjak slaganja sa podacima (χ^2=9.537, p=0.299). Pored toga, omnibus testovi za koeficijente modela dokazali su da model sa pomenutim nezavisnim varijablama značajno doprinosi unapređenju baznog modela koji sadrži samo konstantu, odnosno, objašnjava veći procenat varijabiliteta (χ^2=34.603, p<0.01).

Tabela 1. Rezultati logističke regresije

	B	S.E.	Valdova statistika	Signifikantnost	Količnik šansi
Karijera	-0,437	0,359	1,480	0,224	0,646
Porodica	-1,264	0,322	15,444	0,000	0,282
Prijatelji	0,428	0,414	1,070	0,301	1,535
Socijalni faktori	-0,803	0,334	5,762	0,016	0,448
Region			6,506	0,164	
Centralna Srbija	-1,208	0,573	4,443	0,035	0,299
Južna i istočna Srbija	-0,548	0,646	0,719	0,397	0,578
Zapadna Srbija	0,151	0,513	0,087	0,768	1,163
Van Srbije	0,816	0,851	0,919	0,338	2,263
Konstanta	5,371	1,793	8,975	0,003	215,153

Možemo zaključiti da je kreirani model dobrog kvaliteta, da ima zadovoljavajući nivo predikcije, kao i zadovoljavajući broj prediktora.

5. ZAKLJUČAK

Imajući u vidu da je emigriranje mladih i obrazovanih ljudi jedan od najvećih problema sa kojima se Srbija suočava, sve institucije koje su strateški uključene u praćenje migracija trebalo bi da posvete pažnju prepoznavanju ključnih uzročnika emigracije, kako bi migracione politike bile definisane tako da eliminišu potencijalne uzroke ovog fenomena.

Jedno od zabrinjavajućih saznanja ove studije jeste značajan procenat studenata koji nameravaju da napuste Srbiju nakon fakulteta – čak 40%. Primera radi, taj broj je primetno manji među rumunskim studentima inženjerstva – 23,5% [7] i studentima iz Slovačke – 23,2% [18]. Pored toga, saznanje da studenti koji su iskazali jaču privrženost porodici imaju manju verovatnoću za migriranje u skladu je sa rezultatima Orosove i saradnika [18], s tim da oni taj faktor definišu kao zadovoljstvo porodicom/domom. Percepcija karijere nije se pokazala kao značajan faktor, što je u skladu sa studijom [3], dok su socijalni faktori značajan prediktor, što je u suprotnosti sa rezultatima konceptualnog modela koji je razvijen u studiji Radakovića [23].

Kao jedno od ograničenja treba istaći redefinisanje Likertove skale sa 4 na 2 podeoka za pitanje o nameri odlaska iz Srbije. Time je neminovno izgubljen deo informacija koji je prikupljen istraživanjem, posebno imajući u vidu razlikovanje onih koji delimično jesu za odlazak od onih koji se sa tim delimično ne slažu. S tim u vezi, jedan od mogućih pravaca budućih istraživanja jeste sprovođenje upravo ordinalne regresije, ali na znatno većem uzorku kako bi se ispunili preduslovi za sprovođenje analize [5]. Takođe, možemo primetiti da je tačnost klasifikacije studenata koji nameravaju da napuste Srbiju na niskom nivou, te bi u budućim studijama trebalo raditi na njegovom unapređenju kroz uključivanje drugih faktora u model, kao što su, na primer [26]: instrumentalne barijere (prethodno iskustvo u inostranstvu, lakoća pronalaženja smeštaja, jezičke barijere, finansiranje puta), lične karakteristike kao što su želja za promenama, samouverenost, efikasnost odnosno sposobnost snalaženja u datoj situaciji. Još jedno uočeno ograničenje jeste posmatranje namere o odlasku isključivo kroz jedno pitanje („Planiram da po završetku studija napustim Srbiju“). Potencijalni problem u vezi sa time je činjenica da se otkrivanje potencijalne migracije ne završava prepoznavanjem namere za taj čin. Da li će do odlaska zaista i doći, zavisi i od preduzetih koraka, odnosno stepena do kog je student spreman da plan sprovede u delo; dakle, bilo bi poželjno proširiti model kroz uključivanje veze između namere i ponašanja [1].

LITERATURA

[1] Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational behavior and human decision processes, 50*(2), 179-211.

[2] Akl, E. A., Maroun, N., Major, S., Afif, C., Abdo, A., Choucair, J., . . . Schünemann, H. J. (2008). Post-graduation migration intentions of students of Lebanese medical schools: a survey study. *BMC public health, 8*(1), 1-8.

[3] Baruch, Y., Budhwar, P. S., & Khatri, N. (2007). Brain drain: Inclination to stay abroad after studies. *Journal of world business, 42*(1), 99-112.

[4] Bobić, M. (2018). MASSIVE YOUTH EMIGRATION FROM SERBIA - WHAT ARE WE TO DO. U *Ka boljoj demografskoj budućnosti Srbije* (str. 188-189). Beograd: Srpska akademija nauka i umetnosti, Institut društvenih nauka.

[5] Fagerland, M. W., & Hosmer, D. W. (2017). How to test for goodness of fit in ordinal logistic regression models. *The Stata Journal, 17*(3), 668-686.
[6] Gabrić-Molnar, I., & Slavić, A. (2014). The Impact of emigration from Serbia to Hungary on the Human Resources of Vojvodina. *Zbornik Matice srpske za drustvene nauke, 148*, 571-581.
[7] Gherheș, V., Dragomir, G. M., & Cernicova-Buca, M. (2020). Migration intentions of Romanian engineering students. *12*(12), 1-31.
[8] Grečić, V. (2001). Migracije sa prostora SR Jugoslavije od početka 90-tih godina XX veka. *Ekonomski anali, 44*(153-154), 57–84.
[9] Han, X., Stocking, G., Gebbie, M. A., & Appelbaum, R. P. (2015). Will they stay or will they go? International graduate students and their decisions to stay or leave the US upon graduation. *PloS one, 10*(3), e0118183.
[10] International Organization for Migration. (2011). *Key Migration Terms* . Preuzeto sa IOM UN Migration: https://www.iom.int/key-migration-terms#Migrant
[11] Kumpikaite, V., & Zickute, I. (2012). Synergy of migration theories: theoretical insights. *Inzinerine ekonomika-Engineering economics, 23*(4), 387-394.
[12] Lee, E. S. (1966). A theory of migration. *Demography, 3*(1), 47-57.
[13] Lu, Y., Zong, L., & Schissel, B. (2009). To stay or return: Migration intentions of students from People's Republic of China in Saskatchewan, Canada. *Journal of International Migration and Integration/Revue de l'integration et de la migration internationale, 10*(3), 283-310.
[14] Lukić, V., & Stoilković, M. A. (2017). Interrelation of spatial disparities in development and migration patterns in transition economy: Serbia-Case study. *Human Geographies, 11*(1), 65-76.
[15] Massey, D., Arango, J., Hugo, G., Kouaouci, A., Pellegrino, A., & Taylor, J. E. (1999). *Worlds in motion: understanding international migration at the end of the millennium.* Clarendon Press.
[16] Mojić, D., & Petrović, I. (2013). Mladi i legitimnost društvenog poretka u Srbiji: razmišljanja i delanja u pravcu emigracije. *Sociologija/Sociology: Journal of Sociology, Social Psychology & Social Anthropology, 55*(2), 229-244.
[17] Novotný, J., Feřtrová, M., & Jungwiertová, L. (2020). Postgraduate migration behaviour of international university students supported from the Czech Development Cooperation scholarships. *Population, Space and Place, 26*(7).
[18] Orosová, O., Benka, J., Hricová, L., & Kulanová, M. (2018). Gender, rootedness, normative beliefs and emigration intentions of Slovak university students. *International Migration, 56*(4), 172-196.
[19] Pavlov, T. (2009). *Migracioni potencijal Srbije.* Beograd: Grupa 484.
[20] Penev, G., & Predojević-Despić, J. (2012). Prostorni aspekti emigracije iz Srbije. Tri" vruće" emigracione zone. *Stanovništvo, 50*(2), 35-64.
[21] Petrović, I. (2017). *Analiza ključnih faktora izbora fakulteta i preferencija studenata. Master rad.* Beograd: Fakultet organizacionih nauka.
[22] Portes, A. (1997). Immigration Theory For a New Century: Some Problems and Opportunities. *International Migration Review, 31*(4), 799-825.
[23] Radaković, S. (2020). *Konceptualni model za istraživanje faktora koji utiču na potencijalne migracije studenata.* Beograd.
[24] Silvestri, D. M., Blevins, M., Afzal, A. R., Andrews, B., Derbew, M., Kaur, S. .., & Vermund, S. (2014). Medical and nursing students' intentions to work abroad or in rural areas: a cross-sectional survey in Asia and Africa. *Bulletin of the World Health Organization, 92*, 750-759.
[25] Tomanović, S., Stanojević, D., Jarić, I., Mojić, D., Dragišić Labaš, S., Ljubičić, M., & Živadinović, I. (2012). *Mladi-naša sadašnjost: istraživanje socijalnih biografija mladih u Srbiji.* Beograd: Čigoja štampa.
[26] Traikova, D., Möllers, J., & Petrick, M. (2018). Go west? Emigration intentions of young Bulgarian agricultural specialists. *ournal of Rural Studies, 62*, 134-145.
[27] Vlada Republike Srbije. (2011). *Prvi nacionalni izveštaj o socijalnom uključivanju i smanjenju siromaštva.*
[28] Wickramasinghe, A. A., & Wimalaratana, W. (2016). International migration and migration theories. *Social Affairs, 1*(5), 13-32.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

VIŠESTRUKA ANALIZA KORESPODENCIJE: VIZUELIZACIJA POVEZANOSTI KATEGORIJSKIH PROMENLJIVIH IZ UPITNIKA

MULTIPLE CORRESPONDENCE ANALYSIS: VISUALIZING RELATIONSHIP OF CATEGORICAL VARIABLES FROM A QUESTIONNAIRE SURVEY

Dana Bucalo Jelić[1]

[1] Poljoprivredni fakultet, Nemanjin 6, Beograd, Srbija, bucalo@agrif.bg.ac.rs

Rezime: *Odnosi između kategorijskih promenljivih pogodno i efektno mogu se analizirati višestrukom analizom korespondencije (Multiple Correspondence Analysis - MCA). MCA omogućava da se rezultati grafički prikažu što olakšava tumačenje najvažnijih asocijacija. Skupovi podataka sa kategorijskim promenljivim uobičajeni su u mnogim oblastima i u ovom radu prikazana je primena MCA nad podacima iz online upitnika koji je sproveden 2020. tokom vanrednog stanja u Srbiji, zbog pandemije COVID-19, sa ciljem da se utvrdi kakav efekat je vanredno stanje imalo na doktorante.*

Ključne reči: *Višestruka analiza korespodencije, višestruke tabele kontigencije, grafički prikaz - mapa*

Abstract: *The relationships between categorical variables can be analyzed by Multiple Correspondence Analysis (MCA) effectively and conveniently. The MCA allows the results to be displayed graphically which makes it easier to interpret the most important associations. Data sets with categorical variables are common in many areas and this paper presents the application of the MCA over the data from the online questionnaire conducted in 2020 during the state of emergency in Serbia, due to the COVID-19 pandemic, in order to determine the effect of the state of emergency on doctoral students.*

Keywords: *Multiple Correspondence Analysis, multi-way contingency table, graphical display - map*

1. UVOD

Skupovi podataka sa kategorijskim promenljivim uobičajeni su u mnogim naučnim disciplinama ali njihovo analiziranje podređeno je ograničenom broju statističkih metoda. Jedna od neparametarskih metoda koja analizira odnose unutar skupa kategorijskih promenljivih je višestruka analiza korespodencije (Multiple Correspondence Analysis - MCA) i njen krajnji rezultat je grafički prikaz koji omogućava efikasno tumačenje veza kategorija promenljivih.

Za primenu MCA koristi se skup kategorijskih promenljivih (više od dve) ali zbog prirode analize MCA potrebno je da se sve promenljive tiču pojave koja se istražuje. Na primer, ne postoji kombinacija demografskih promenljivih i promenljivih koje mere neke stavove. Kada se pored onog što se istražuje imaju i podaci o opštim socio-demografskim promenljivim za svakog ispitanika (npr. pol, starost, bračni status, obrazovanje i sl.) one se u MCA analizu uključuju kao dopunske (supplementary) promenljive[1].

U ovom radu iskorišćena je metoda MCA da bi se analizirali podaci iz online ankete koja je sprovedena od strane autora a koja je imala je za cilj da utvrdi kakav efekat je vanredno stanje u Srbiji imalo na rezultate doktoranata. Posmatrane su četiri kategorijske promenljive koje daju informacije o doktorskim studijama ispitanika a pored njih uzete su u obzir i tri opšte karatkeristike doktoranata (pol, godine, da li imaju decu) i one su uzete kao dopunske promenljive.

2. METODOLOGIJA

Neka n označava ukupan broj ispitanika, Q ukupan broj pitanja (promenljivih) i q neka je redni broj pitanja, $q = 1, \ldots, Q$. Sa J_q označava se broj kategorija (nivoa) u q-tom pitanju, tako da je ukupan broj kategorija je

$$J = \sum_{q=1}^{Q} J_q.$$

[1] videti više [1, 2]

Vrši se kodiranje čitavog skupa podataka u indikator promenljive i dobija se indikator matrica $\mathbf{Z}$. Suma svakog reda matrice $\mathbf{Z}$ jednaka je Q, dok sume kolona predstavljaju broj ispitanika koji je izabrao j-tu kategoriju (nivo) i jednake su n_j, $j = 1,..J$. Za svako pitanje Q zbir njegovih kategorija tj. kolona je n. Čitav skup, odnosno matrica $\mathbf{Z}$ ima nQ elemenata [5].

χ^2-rastojanje između dve kolone definisano je

$$d^2_{\chi^2}(j,j') = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{r_i} \left(\frac{p_{ij}}{c_j} - \frac{p_{ij'}}{r_{j'}} \right)^2$$

χ^2-rastojanje između dve kategorije j i j' indikator matrice je

$$d^2_{\chi^2}(j,j') = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{1/n} \left(\frac{z_{ij}/nQ}{n_j/nQ} - \frac{z_{ij'}/nQ}{n_{j'}/nQ} \right)^2 = n \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{z_{ij}}{n_j} - \frac{z_{ij'}}{n_{j'}} \right)^2$$

Ovo rastojanje se smanjuje kada većina ispitanika izabere istu kategoriju i ono zavisi od frekvencija kategorije [4]. Kvadratno rastojanje, j-te kategorije od centroida 'oblaka' kategorija (nivoa) G_j jednako je

$$d^2(j,G_j) = n \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{z_{ij}}{n_j} - \frac{1}{n} \right)^2 = \frac{n}{n_j} - 1$$

Što je frekvencija određene kategorije (nivoa) manja, to je kategorija udaljenija od centra. Kvadratno rastojanje ponderisano sa n_j/nQ predstavlja inerciju j-kategorije:

$$inercija(j) = d^2(j,G_j) \times \frac{n_j}{nQ} = \left(\frac{n}{n_j} - 1 \right) \frac{n_j}{nQ} = \frac{n - n_j}{nQ} = \frac{1}{Q} \left(1 - \frac{n_j}{n} \right)$$

Analogno gore rečenom, ako se kategorija manje puta javlja, njena inercija je veća. Često se preporučuje izbegavanje kategorija sa malim frekvencijama koje bi mogle previše uticati na ukupnu analizu rezultata ali generalno, u MCA uticaj kategorija sa niskim frekvencijama često se precenjuje. [4]

Inercija promenljive (pitanja) definiše se zbirom inercija njegovih kategorija, tačnije

$$inercija(q) = \sum_{j=1}^{J_q} \frac{1}{Q} \left(1 - \frac{n_j}{n} \right) = \frac{J_q - 1}{Q}$$

ako promenljiva ima veći broj kategorija, to je veća njena inercija. Sabiranjem inercija svih promenljivih (pitanja) dobijamo potpunu inerciju 'oblaka' kategorija (nivoa) iliti ukupnu inerciju

$$inercija(\mathbf{Z}) = \sum_{q=1}^{Q} inercija(q) = \sum_{q=1}^{Q} \frac{J_q - 1}{Q} = \frac{J - Q}{Q} = \frac{J}{Q} - 1$$

Dalje se nalazi niže-dimenzionalni podprostor, odnosno za 'oblak' tačaka kategorija koji leži u visoko-dimenzionalnom prostoru, pronalazi podprostor koji će tačke (kategorije) predstaviti što je moguće vernije. SVD algoritm primenjen na indikator matricu daje rešenje za optimalni podprostor. Broj ne-nula svojstvenih vrednosti λ_i indikator matrice, zasnovan je na Q faktora sa ukupno J nivoa, pa je jednak $J - Q$ [7]. Broj svojstvenih vrednosti predstavlja dimenziju podprostora.

Kako svojstvene vrednosti predstavljaju glavne inercije, u MCA imamo $J - Q$ glavnih inercija i ovde se može odrediti prosečna inercija po dimenziji

$$\bar{\lambda} = \frac{\sum_{l=1}^{J-Q} \lambda_l}{J - Q} = \frac{\frac{J}{Q} - 1}{J - Q} = 1/Q.[5]$$

Vrednost $1/Q$ služi kao prag za odlučivanje koje glavne inercije vrede u MCA analogno pragu 1 za sopstvene vrednosti u PCA.

MCA se može posmatrati kao pandan metodi glavnih komponenti (Principal Component Analysis - PCA) za kategorijske podatke jer podrazumeva smanjenje dimenzionalnosti podataka kako bi se dobio potprostor koji najbolje predstavlja podatke u smislu maksimiziranja varijabilnosti projektovanih tačaka [3].

3. PRIMENA MCA

Tokom maja 2020. godine, u Srbiji, autor je sproveo kratku online anketu sa kategorijskim promenljivim tj. pitanjima i njihova analiza izvršena je korišćenjem MCA sa dopunskim (supplementary) promenljivim. Kako je od 16. marta do 6. maja u Srbiji trajalo vanredno stanje, zbog pandemije COVID-19, cilj je bio utvrditi kakav efekat je vanredno stanje imalo na doktorante. Pitanja koja su poslužila u svrhu ovog cilja su:

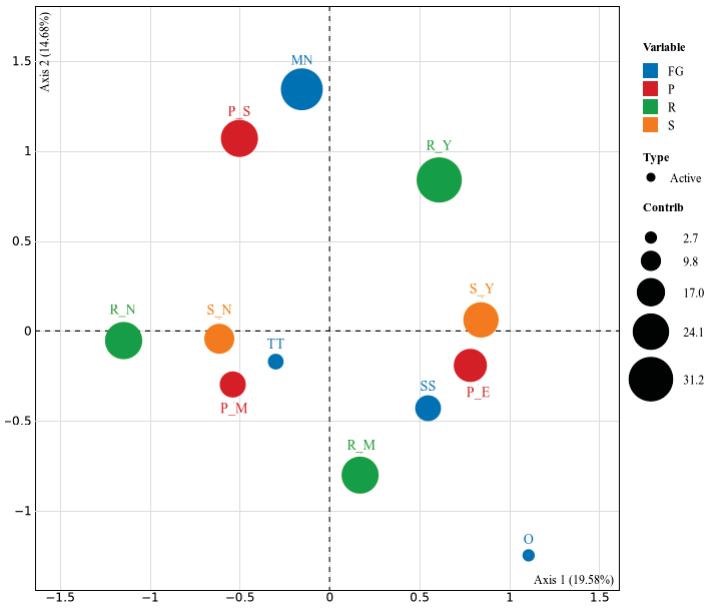
- Fakultet doktorskih studija - Faculty Groups (FG)
  (Društveno-humanističke (SS) /Prirodno-matematičke (MN) /Tehičko-tehnološke (TT) /Ostale nauke (O))
- Faza doktorskih studija - Phases (P)
  (Početna (S) /Među faza (M) /Završna faza (E))
- Da li ste u kucnim uslovima imali sve resurse za fazu vaših doktorskih studija/vašeg istraživanja? - Resources (R) (Da (Y)/ Veci deo (M)/ Nedovoljno(N))
- Da li ste zadovoljni rezultatima koje ste postigli u toku vanrednog stanja? - Satisfied (S)
  (Yes/No)

Kao dopunske (supplementary) promenljive uzete su:

- Pol - Gender (G) (Male/Female)
- Grupe godine starosti - Age Groups (AG) (24-26; 27-29; 30-32; 33-35; 36-38; 39+)
- Da li imate dete/cu? - Kids (K) (Yes/No)

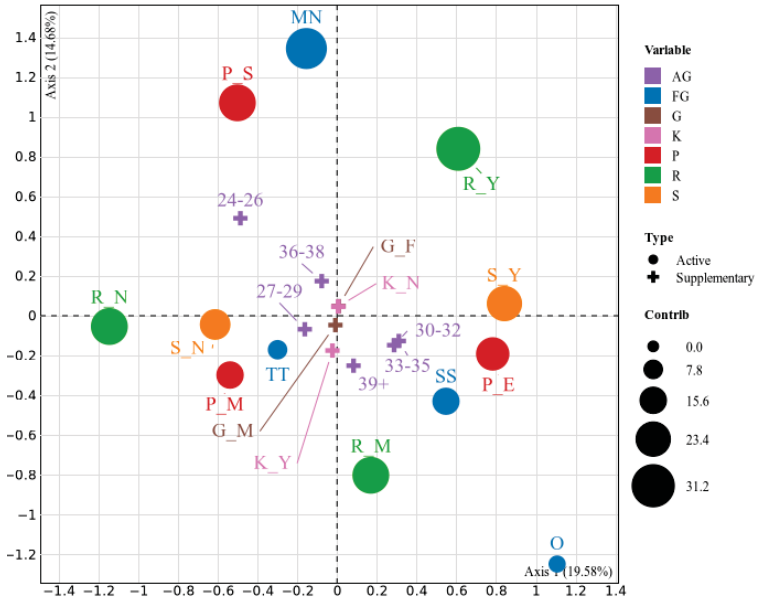
U anketi je učestvovalo 312 doktoranata, od čega je 50% žena 50% muškaraca, a prosečna starost doktoranta je 30 godina. 79% doktoranata nema dete(cu), dok 21% ima i tokom vanrednog stanja deca nisu išla u škole i vrtiće. Od 155 žena i 157 muškaraca, 38 (12%) doktorantkinja ima dete, 117 (37%) nema a kod muških njih 27 (9%) je sa decom dok je 130 (42%) bez dece.

MCA za ove podatke daje 8 svojstvenih vrednosti, pa podprostor na koji se mogu predstaviti promenljive iz upitnika je dimenzije 8. Medjutim, u razmatranje se uzimaju samo one svojstvene vrednosti tj. inercije koje su veće od praga 0.25 a to su ovde prve tri jer imaju vrednosti 0.3916, 0.2937, 0.2601 što je u procentima redom 19.58, 14.68 i 13.01. Apsolutne vrednosti inercija govore o razdvajanju kategorija duž dimenzija i prva apsolutna vrednost inercije je dosta veća od ostalih pa će najveće razdvajanje kategorija biti duž prve dimenzije. Relativne vrednosti govore sa koliko tačnosti mapa predstavlja podatke, na osnovu dobijenih relativnih vrednosti, kažemo da 3-dimenzionalna mapa sa 47.27% tačnosti prikazuje podatke dok je kod 2-dimenzionalne mape to 34.26%.



Slika 1 : Mapa promenljivih FG, P, R, S

Slika (1) predstavlja 2-dimenzionalnu mapu četri ispitivane promenljive, gde je grupacija fakulteta (FG) plava, faza doktorskih studija (P) crvena, resursi u kucnim uslovima (R) zelena, zadovoljni rezultatima (S) narandžasta. Prva dimenzija na mapi predstavljena je x-osom a druga y-osom. Raspored i blizina tačaka na mapi određene su vrednostima χ^2-rastojanja, i upućuju kako i koliko su kategorije povezane. Veličina tačaka govori o učešću ispitanika u određenoj kategorij. Uočljivo je da je najmanje doktoranata iz "ostalih nauka"(O) i da su slabo povezani sa drugim kategorijama promenljivih.



Slika 2 : Mapa svih promenljivih FG, P, R, S, AG, G, K

Promenljiva (S) - zadovoljni rezultatima je dihotomna i pravi podelu duž *x*-ose. Na levoj strani *x*-ose su doktoranti koji nisu zadovoljni (Satisfied_No - S_N) rezultatima koje su postigli tokom vanrednosg stanja a desno su oni koji su zadovoljni (Satisfied_Yes - S_Y). Ovoj podeli duž *x*-ose prirodno se pridružuje se i promenjiva (R) - resursi, gde se sa strane (S_N) nalaze oni koji nisu imali dovoljno resursa (R_N), a na desnoj strani kod (S_Y) su oni koji su imali sve resurse (R_Y) i oni koji su imali veći deo (R_M) . Takođe se uočava da promenljiva (P) faza doktorskih studija ima podelu duž *x*-ose, i doktoranti koji su bili u početnoj (Phases_Start - P_S) i među (Phases_Middle - P_M) fazi ulavnom nisu zadovoljni svojim rezultatima, dok oni koji su bili u završnoj fazi (Phases_End - P_E) su zadovoljni.

Na osnovu mape MCA, zaključujemo da doktoranti koji nisu zadovoljni (S_N) svojim rezultatima bili su u među fazi doktorskih studija (P_M), nisu imali dovoljno sredstava za svoja istraživanja (R_N) i to su uglavnom doktoranti na doktorskim studijam tehničko tehnoloških fakulteta (TT). Zadovoljni doktoranti (S_Y) su oni koji su bili u završnoj fazi doktorskih studija (P_E) u toku vanrednog stanja, imali su dovoljno sredstava za svoja istraživanja i oni su sa društveno-humanističkih fakulteta (SS). Izdvajaju se doktoranti sa prirodno-matematičkih fakulteta (MN) jer su uglavnom u početnoj fazi doktorskih studija (P_S) i nalaze se među onima koji nisu zadovoljni svojim rezultatima (S_N).

Slika (2) predstavlja mapu svih promenljivih, drugim rečima prethodnoj mapi Slika (1) priključili smo i dopunske promenljive pol (G), godine starosti (AG) i deca (K). Zaključujemo da što se tiče pola doktorantkinje (G_M) su te koje nisu zadovoljne svojim rezultatima. Kao što je i očekivano mlađi doktoranti (24-26) su u početnoj fazi (P_S) pa samim tim i nisu zadovoljni svojim rezultatima, dok stariji (30-32, 33-35, 39+) doktoranti su u završnoj fazi (P_E) pa su zadovoljni svojim rezultatima (S_Y). Svojim rezultatima nisu zadovoljni ni doktoranti sa decom (K_Y).

4. ZAKLJUČAK

MCA u službi analize sprovedenog istraživanja o doktorantima, dala je dobre rezultate tj. mape koje veoma jasno i razumljivo pokazuju povezanost među kategorijama promenljivih tj. pitanja. Može se istaći da tokom vanrednog stanja doktoranti sa prirodno-matematičkih i tehnološko-tehnički fakulteta bili su uskraćeni za svoj potpuni rad, nasuprot doktoranata sa društveno-humanističkih fakulteta. Vanredno stanje odgovaralo je doktorantima koji su u završnoj fazi, jer ako se pođe od činjenice da faza završetka zbog svoje obimnosti zahteva veću fokusiranost, onda je vanredno stanje to obezbedilo doktorantima.

S obzirom da upitnik predstavlja uobičajeni alat istraživanja i uglavnom se sastoji od kategorijskih podataka, zamena dosadnih tabela kontigencija sa upečatljivim grafičkim prikazom nesporni je napredak u obradi podataka upitnika [6]. S toga nije iznenađenje da je metoda MCA veoma prihvaćena u ovakvim istraživanjima.

Napomena

Posebnu zahvalnost za stvaranje ovog rada dugujem docentu Matematičkog fakulteta Univerziteta u Beogradu dr Bojani Milošević.

LITERATURA

[**1**] Greenacre M., (1984). Theory and Applications of Correspondence Analysis. Academic press.
[**2**] Greenacre M. (2007). Correspondence Analysis in Practice. Chapman and Hall.
[**3**] Groenen P. & Josse J., (2016). Multinomial Multiple Correspondence Analysis. arXiv: Methodolog.
[**4**] Husson F. & Josse J., (2014). Multiple correspondence analysis from: The Visualization and Verbalization of Data. CRC Press.
[**5**] Le Roux B. & Rouanet H., (2010). Multiple correspondence analysis. SAGE Publications.
[**6**] Lebart L. & Saporta G. (2014). Historical Elements of Correspondence Analysis and Multiple Correspondence Analysis from: The Visualization and Verbalization of Data. CRC Press.
[**7**] Nenadic O. & Greenacre M., (2005). Computation of multiple correspondence analysis, with code in R. SSRN Electronic Journal.

Višekriterijumska analiza i optimizacija

Multicriteria Analysis and Optimization

XLVIII Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23. September 2021.
MATΦ University of Belgrade Faculty of Mathematics
Mathematical Institute SANU

A NEW CLASS OF WEIGHTED EQUILIBRIUM PROBLEMS

MIRUNA MIHAELA BELDIMAN[1], ANDREI DAN HALANAY[2], ANDREEA MĂDĂLINA STANCU -RUSU[1]

[1] Caius Iacob-Gheorghe Mihoc Institute of Mathematical Statistics and Applied Mathematics of the Romanian Academy, Strada 13 Septembrie 13, Bucureşti, Romania, miruna.m@gmail.com,andreea_madalina_stancu@yahoo.com

[2] Faculty of Mathematics and Computer Science, Strada Academiei 14, Bucureşti, Romania, andrei.halanay@unibuc.ro

Abstract: *We consider some equilibrium problem systems and their corresponding weighted problems, and find equivalence conditions between them. Then, for these classes of problems we establish a few existence results under different types of generalized weighted monotonicity assumptions.*

Keywords: *Generalized Monotonicity, Generalised Convexity, Hemicontinuity, Weighted Problems over Product Sets*

1. INTRODUCTION

Equilibrium problems represent a framework for many important problems such as optimisation, variational inequalities, fixed point problems, saddle point problems, Nash equilibrium problems or complementarity problems. This type of problems arise in different fields such as finance, mechanics, traffic equilibria, etc.

The scalar equilibrium problems were introduced and studied by Blum and Oettli [7] and Noor and Oettli [10]. Then, Ansari, Oettli and Schlager [2] considered two classes of vector equilibrium problems and introduced the set-valued equilibrium problems.

In the present paper some of the previous results as well as results of Ansari, Schaible and Yao ([3, 4]) are extended. Some of our results were announced in [5] and are proven here. Also, the statement of the first main theorem appeared in [6]. Here we give for the first time its proof and use it to obtain the existence of solutions for more general equilibrium problem systems. In order to do this new assumptions are necessary to obtain the existence of solutions for the associated weighted problems.

2. NOTATIONS AND PRELIMINARY RESULTS

For each given $m \in \mathbb{N}$, we denote by $\mathbb{R}^m_+$ the nonnegative orthant of $\mathbb{R}^m$ and T^m_+ its simplex.

Let $I = \{1, ..., n\}$ be a finite index set and for each $i \in I$, let ℓ_i be a positive integer. For each $i \in I$, let X_i be a real topological vector space, K_i a nonempty convex subset of X_i and Y_i an arbitrary set.

Let $X = \prod_{i \in I} X_i$ and $K = \prod_{i \in I} K_i$.

For each $x \in X$, $x_i \in X_i$ denotes the i th coordinate of x and we write $x = (x_i)_{i \in I}$. For each $i \in I$, let $f_i : K \to Y_i$ and $\Psi_i : Y_i \times K_i \times K_i \to \mathbb{R}^{\ell_i}$ two maps and $\Psi = (\Psi_i)_{i \in I}$. We consider the following systems of vector equilibrium problems:

(Ψ-SVEP) Find $\bar{x} \in K$ such that, for each $i \in I$

$$\Psi_i(f_i(\bar{x}), \bar{x}_i; y_i) \notin \mathbb{R}^{\ell_i}_+ \setminus \{\mathbf{0}\}, \forall y_i \in K_i$$

and the weak form

(Ψ-SVEP)$_w$ Find $\bar{x} \in K$ such that, for each $i \in I$

$$\Psi_i(f_i(\bar{x}), \bar{x}_i; y_i) \notin int\mathbb{R}^{\ell_i}_+, \forall y_i \in K_i$$

Relative to the (Ψ-SVEP) and (Ψ-SVEP)$_w$ problems we introduce the following weighted general equilibrium problems over product of sets:

(Ψ-WEPP) Find $\bar{x} \in K$ with respect to the weight vector $W = (W_1, ..., W_n) \in \prod_{i=1}^{n} \left(\mathbb{R}^{\ell_i}_+ \setminus \{\mathbf{0}\}\right)$ such that

$$\sum_{i \in I} W_i \cdot \Psi_i(f_i(\bar{x}), \bar{x}_i; y_i) \leq 0, \forall y_i \in K_i$$

and

(Ψ-SWEP) Find $\bar{x} \in K$ with respect to the weight vector $W = (W_1, ..., W_n)$ such that, for each $i \in I$ and $W_i \in \mathbb{R}_+^{\ell_i} \setminus \{\mathbf{0}\}$,

$$W_i \cdot \Psi_i(f_i(\bar{x}), \bar{x}_i; y_i) \leq 0, \forall y_i \in K_i.$$

► **Definition 1.** A solution of ($\Psi-$WEPP) or of ($\Psi-$SWEP) is called normalised if for each $i \in I, W_i \in T_+^{l_i}$.

Denote by K^w (respectively K_s^w) the solution set of (Ψ-WEPP) (respectively (Ψ-SWEP)) and by K_n^w (respectively K_{sn}^w) the normalised solution set of (Ψ-WEPP) (respectively (Ψ-SWEP)).

In what follows, we assume that

$$W = (W_1, ..., W_n) \in \prod_{i=1}^{n} \left(\mathbb{R}_+^{\ell_i} \setminus \{\mathbf{0}\} \right)$$

is a given weight vector.

The following lemma shows that the solution sets of (Ψ-WEPP) and (Ψ-SWEP) coincide.

► **Lemma 2.** *Let W be a given weight vector (respectively $W = (W_1, ..., W_n) \in \prod_{i \in I} T_+^{\ell_i}$). We suppose that for any $i \in I$, $\Psi_i(f_i(x), x_i; x_i) = 0$ for all $x_i \in K_i$. Then $K^w = K_s^w$ (respectively $K_n^w = K_{sn}^w$).*

Proof. Obviously, $K_s^w \subseteq K^w$. Conversely, let $\bar{x} \in K^w$. Then,

$$\sum_{i \in I} W_i \cdot \Psi_i(f_i(\bar{x}), \bar{x}_i; y_i) \leq 0$$

for all $y_i \in K_i$, $i \in I$.

For each $j \neq i$, let $y_j = \bar{x}_j$. Since $\Psi_j(f_i(\bar{x}), \bar{x}_j; \bar{x}_j) = 0$ for all $j \neq i$, $j \in I$, from the last inequality we have that, for each $i \in I$,

$$W_i \cdot \Psi_i(f_i(\bar{x}), \bar{x}_i; y_i) \leq 0,$$

for all $y_i \in K_i$.

Hence, $\bar{x} \in K_s^w$ and, therefore, $K^w = K_s^w$.□

The next result shows that $(\Psi\text{-SVEP})_w$ or (Ψ-SVEP) can be solved using (Ψ-SWEP).

► **Lemma 3.** *Each normalised solution $\bar{x} \in K$ with vector $W \in \prod_{i=1}^{n} T_+^{\ell_i}$ (respectively $W \in \prod_{i=1}^{n} (intT_+^{\ell_i})$) of (Ψ-SWEP) is a solution of $(\Psi\text{-SVEP})_w$ (respectively (Ψ-SVEP)).*

Proof. Let $\bar{x} \in K$ be a normalised solution of (Ψ-SWEP) with weight vector $W \in \prod_{i=1}^{n} T_+^{l_i}$ (respectively $W \in \prod_{i=1}^{n} \left(intT_+^{l_i} \right)$). Suppose that $\bar{x} \in K$ is not a solution of $(\Psi\text{-SVEP})_w$ (respectively (Ψ-SVEP)). Then there would exist some $i \in I$ and a $y_i \in K_i$ satisfying

$$\Psi_i(f_i(\bar{x}), \bar{x}_i; y_i) \in int\mathbb{R}_+^{\ell_i}, \text{ (respectively } \Psi_i(f_i(\bar{x}), \bar{x}_i; y_i) \in \mathbb{R}_+^{\ell_i} \setminus \{\mathbf{0}\}).$$

Since $W_i \in T_+^{l_i}$ (respectively $W_i \in intT_+^{l_i}$), for each $i \in I$, we have

$$W_i \cdot \Psi_i(f_i(\bar{x}), \bar{x}_i; y_i) > 0$$

for all $i \in I$, which contradicts our assumption that $\bar{x} \in K$ is a solution of (Ψ-SWEP) .□

3. RESULTS

3.1. Existence results for ($\Psi-$WEPP)

The notion of weighted monotonicity was introduced in [1] for variational inequalities and used for example in [11]. In this section, we consider three classes of generalized weighted monotone mappings, but in order to simplify the exposition we shall employ the term of "weighted monotonicity" instead of "generalized weighted monotonicity". Then, we will establish some existence results for a solution of ($\Psi -$ WEPP).

▶ **Definition 4.** The family $(f_i)_{i\in I}$ of functions is said to be:
(i) weighted monotone w.r.t. (W,Ψ) if, for all $x,y\in K$, we have

$$\sum_{i\in I} W_i\cdot(\Psi_i(f_i(y),x_i;y_i)-\Psi_i(f_i(x),x_i;y_i))\leq 0$$

and weighted strictly monotone w.r.t. (W,ψ) if the inequality is strict for all $x\neq y$;
(ii) weighted pseudomonotone w.r.t. (W,Ψ), if, for all $x,y\in K$, we have

$$\sum_{i\in I} W_i\cdot\Psi_i(f_i(x),x_i;y_i)\leq 0\Longrightarrow\sum_{i\in I} W_i\cdot\Psi_i(f_i(y),x_i;y_i)\leq 0$$

and weighted strictly pseudomonotone w.r.t. (W,Ψ) if the second inequality is strict for all $x\neq y$;
(iii) weighted maximal pseudomonotone w.r.t. (W,Ψ) if it is weighted pseudomonotone w.r.t. (W,Ψ) and, for all $x,y\in K$, we have

$$\sum_{i\in I} W_i\cdot\Psi_i(f_i(z),x_i;z_i)\leq 0,\ \forall z\in(x,y]\Longrightarrow\sum_{i\in I} W_i\cdot\Psi_i(f_i(x),x_i;y_i)\leq 0 \tag{1}$$

where $(x,y]=\prod_{i\in I}(x_i,y_i]$ and weighted maximal strictly pseudomonotone w.r.t. (W,Ψ) if it is weighted strictly pseudomonotone w.r.t. (W,Ψ) and (1) holds.

▶ **Definition 5.** The family $(f_i)_{i\in I}$ of functions is said to be weighted hemicontinuous w.r.t. (W,Ψ) if, for all $x,y\in K$ and $\lambda\in[0,1]$, the mapping $\lambda\longmapsto\sum_{i\in I} W_i\cdot\Psi_i(f_i(x+\lambda(y-x)),x_i;y_i)$ is continuous.

▶ Proposition 6. Suppose the family $(f_i)_{i\in I}$ of functions satisfies:
$i_1)$ it is weighted hemicontinuous and weighted pseudomonotone w.r.t. (W,Ψ);
$i_2)$ for any $i\in I$, $\Psi_i(f_i(x+\lambda(y-x)),x_i;x_i+\lambda(y_i-x_i))=$
$=\lambda^{\tau}\Psi_i(f_i(x+\lambda(y-x)),x_i;y_i)$, for $\lambda\in(0,1]$, where $\tau>0$ is a fixed real constant.
Then $(f_i)_{i\in I}$ it is weighted maximal pseudomonotone w.r.t. (W,Ψ).

Proof. Assume that, for all $x,y\in K$,

$$\sum_{i\in I} W_i\cdot\Psi_i(f_i(z),x_i;z_i)\leq 0,\text{ for all } z\in(x,y].$$

It follows that

$$\sum_{i\in I} W_i\cdot\Psi_i(f_i(x+\lambda(y-x)),x_i;x_i+\lambda(y_i-x_i))\leq 0,\text{ for all }\lambda\in(0,1].$$

Now using $i_2)$ we get

$$\sum_{i\in I} W_i\cdot\Psi_i(f_i(x+\lambda(y-x)),x_i;y_i)\leq 0,$$

for all $\lambda\in(0,1]$.
By the weighted hemicontinuity w.r.t. (W,Ψ) of the family $(f_i)_{i\in I}$ of functions, we have

$$\sum_{i\in I} W_i\cdot\Psi_i(f_i(x),x_i;y_i)\leq 0.$$

Hence, the family $(f_i)_{i\in I}$ of functions is weighted maximal pseudomonotone w.r.t. (W,Ψ).□
Now, we consider a Minty type weighted equilibrium problem problem:
$(\Psi-\text{MWEPP})$ Find $\bar{x}\in K$ such that

$$\sum_{i\in I} W_i\cdot\Psi_i(f_i(y),\bar{x}_i;y_i)\leq 0,$$

for all $y_i\in K_i$, $i\in I$.
Let K_M^w be the set of all solutions of the problem $(\Psi-\text{MWEPP})$.

▶ **Lemma 7.** *If the family $(f_i)_{i\in I}$ of functions is weighted maximal pseudomonotone w.r.t. (W,Ψ), then $K^w=K_M^w$.*

Proof. By the weighted pseudomonotonicity of the family $(f_i)_{i\in I}$ of functions w.r.t. (W,Ψ), $K^w \subseteq K_M^w$. Conversely, let $\bar{x} \in K_M^w$. Then

$$\sum_{i\in I} W_i \cdot \Psi_i\left(f_i(y), \bar{x}_i; y_i\right) \leq 0,$$

for all $y_i \in K_i$, $i \in I$. Since for each $i \in I$, K_i is convex, we have $(\bar{x}_i, y_i] \subseteq K_i$, therefore,

$$\sum_{i\in I} W_i \cdot \Psi_i\left(f_i(z), \bar{x}_i; z_i\right) \leq 0,$$

for all $z_i \in (\bar{x}_i, y_i]$, $i \in I$. By the weighted maximal pseudomonotonicity of the family $(f_i)_{i\in I}$ of functions w.r.t. (W,Ψ), we have

$$\sum_{i\in I} W_i \cdot \Psi_i\left(f_i(\bar{x}), \bar{x}_i; y_i\right) \leq 0,$$

for all $y_i \in K_i$, $i \in I$.

This shows that $\bar{x} \in K^w$ and hence $K^w = K_M^w$. $\square$

▶ **Theorem 8.** *Assume that:*

(i_1) *the family* $(f_i)_{i\in I}$ *of functions is weighted maximal pseudomonotone w.r.t.* (W,Ψ)*;*

(i_2) *there exists a nonempty closed and compact subset* D *of* K *and* $\widetilde{y} \in D$ *such that, for all* $x \in K \setminus D$,

$$\sum_{i\in I} W_i \cdot \Psi_i\left(f_i(x), x_i; \widetilde{y}_i\right) > 0;$$

(i_3) *the mapping* $y \mapsto \sum_i W_i \cdot \Psi_i\left(f_i(x), x_i; y_i\right)$ *is a convex function on* K*;*

(i_4) $\sum_{i\in I} W_i \cdot \Psi_i\left(f_i(x), x_i; x_i\right) = 0$ *for all* $x \in K$;

(i_5) *For all* $x, y \in K$ *and every generalized sequence* $\{x^\alpha\}_{\alpha\in\Gamma}$ *in* K *converging to* x *we have*

$$\liminf_\alpha \sum_{i\in I} W_i \cdot \Psi_i(f_i(x^\alpha), x_i{}^\alpha; y_i) = \sum_{i\in I} W_i \cdot \Psi_i(f_i(x), x_i; y_i).$$

Then, there exists a solution $\bar{x} \in K$ *of* $(\Psi - WEPP)$ *and hence a solution of* $(\Psi - SWEP)$. *Furthermore, if* $W \in \prod_{i\in I} T_+^{\ell_i}$, *then there exists a normalised solution* $\bar{x} \in K$ *of* $(\Psi - WEPP)$ *and hence a solution of* $(\Psi - SVEP)_w$. *Furthermore, if* $W \in \prod_{i=1}^n \left(int T_+^{\ell_i}\right)$, *then* $\bar{x} \in K$ *is a solution of* $(\Psi - SVEP)$.

Proof. For each $x \in K$, define the multivalued maps $S, T : K \to 2^K$ by

$$S(x) = \left\{ y \in K : \sum_{i\in I} W_i \cdot \Psi_i\left(f_i(y), x_i; y_i\right) > 0 \right\}$$

and

$$T(x) = \left\{ y \in K : \sum_{i\in I} W_i \cdot \Psi_i\left(f_i(x), x_i; y_i\right) > 0 \right\}.$$

Using $(\mathbf{i_3})$ it is clear that for each $x \in K$, $T(x)$ is convex. By $(\mathbf{i_1})$ we have that $S(x) \subseteq T(x)$ for all $x \in K$.

For each $y \in K$ the set

$$\left[S^{-1}(y)\right]^c = \left\{ x \in K : \sum_{i\in I} W_i \cdot \Psi_i\left(f_i(y), x_i; y_i\right) \leq 0 \right\},$$

called the complement of $S^{-1}(y)$ in K, is closed in K (by $(\mathbf{i_5})$) and hence $S^{-1}(y)$ is open in K. Therefore, $S^{-1}(y)$ is compactly open (see [8]).

We will prove that there exists $\bar{x} \in K$ such that $S(\bar{x}) = \Phi$. In order to do this, we assume that, for all $x \in K$, $S(x)$ is nonempty. Then, relative to T, all the conditions of Theorem 2.2 from [8] are satisfied and therefore there exists $\widehat{x} \in K$ such that $\widehat{x} \in T(\widehat{x})$. It follows from $(\mathbf{i_4})$ and $(\mathbf{i_2})$ that

$$0 = \sum_{i\in I} W_i \cdot \Psi_i\left(f_i(\widehat{x}), \widehat{x}_i; \widehat{x}_i\right) > 0,$$

a contradiction. Hence, since there exists $\bar{x} \in K$ such that $S(\bar{x}) = \Phi$, we have that, for all $y \in K$,

$$\sum_{i \in I} W_i \cdot \Psi_i (f_i (y), \bar{x}_i; y_i) \leq 0,$$

that is, there exists $\bar{x} \in K$ with respect to the weight vector W such that

$$\sum_{i \in I} W_i \cdot \Psi_i (f_i (y), \bar{x}_i; y_i) \leq 0$$

for all $y_i \in K_i$, $i \in I$. By Lemma 7 $\bar{x} \in K$ is a solution of $(\Psi - \text{WEPP})$ and so by Lemma 2 it is a solution of $(\Psi - \text{SWEP})$.

If $W \in \prod_{i \in I} T_+^{\ell_i}$, then $\bar{x} \in K$ is a normalised solution of $(\Psi - \text{SWEP})$ and hence by Lemma 3 it is a solution of $(\Psi - \text{SVEP})_w$. If $W \in \prod_{i \in I} \left(int T_+^{\ell_i} \right)$, using again Lemma 3, it follows that $\bar{x} \in K$ is a solution of $(\Psi - \text{SVEP})$.□

▶ **Definition 9.** The family $(f_i)_{i \in I}$ is said to be weighted B-pseudomonotone w.r.t. (W, Ψ), if, for each $x \in K$ and every net $\{x^\alpha\}_{\alpha \in \Gamma}$ in K converging to x with $\limsup_\alpha \left[\sum_{i \in I} W_i \cdot \Psi_i (f_i (x^\alpha), x_i^\alpha; x_i) \right] \leq 0$, we have

$$\limsup_\alpha \left[\sum_{i \in I} W_i \cdot \Psi_i (f_i (x^\alpha), x_i^\alpha; y_i) \right] \geq \sum_{i \in I} W_i \cdot \Psi_i (f_i (x), x_i; y_i),$$

for all $y \in K$.

▶ **Theorem 10.** *Assume that:*

(k_1) *The family $(f_i)_{i \in I}$ is weighted B-pseudomonotone w.r.t. (W, Ψ) such that, for each $A \in \mathcal{F}(K)$ the map $x \mapsto \sum_{i \in I} W_i \cdot \Psi_i (f_i (x), x_i; y_i)$ is lower semicontinuous on coA.*

(k_2) *There exists a nonempty closed compact subset D of K and also some $\widetilde{y} \in D$ such that, for all $x \in K \setminus D$, $\sum_{i \in I} W_i \cdot \Psi_i (f_i (x), x_i; \widetilde{y}_i) > 0$.*

(k_3) *$\sum_{i \in I} W_i \cdot \Psi_i (f_i (x), x_i; x_i) = 0$, for all $x \in K$.*

Then, there exists a solution $\bar{x} \in K$ of $(\Psi - WEPP)$ and hence it is a solution of $(\Psi - SWEP)$. Furthermore, if $W \in \prod_{i \in I} T_+^{\ell_i}$, then there exists a normalised solution $\bar{x} \in K$ of $(\Psi - WEPP)$ which is also a solution of $(\Psi - SVEP)_w$ and for $W \in \prod_{i=1}^n \left(int T_+^{\ell_i} \right)$, $\bar{x} \in K$ is a solution of $(\Psi - SVEP)$.

Proof. For any $x \in K$, let $T : K \to 2^K$ be as in the proof of Theorem 8. Then, for all $x \in K$, $T(x)$ is convex (i.e., condition 1 from Theorem 6 from [9] holds). Let $A \in \mathcal{F}(K)$. Then

$$\left[T^{-1} (y) \right]^c \cap coA = \left\{ x \in coA : \sum_{i \in I} W_i \cdot \Psi_i (f_i (x), x_i; y_i) \leq 0 \right\}$$

is closed in coA by the lower semicontinuity of the map $x \mapsto \sum_{i \in I} W_i \cdot \Psi_i (f_i (x), x_i; y_i)$ on coA $(\mathbf{k_1})$. Hence $T^{-1}(y) \cap coA$ is open in coA, that is, condition 2 from Theorem 6 from [9] holds.

Now we prove that condition 3 from the same theorem holds. In order to do this, let $x, y \in coA$ and the net $\{x^\alpha\}_{\alpha \in \Gamma}$ in K convergent to x, such that

$$\sum_{i \in I} W_i \cdot \Psi_i (f_i (x^\alpha), x_i^\alpha; t y_i + (1-t) x_i) \leq 0,$$

for all $\alpha \in \Gamma$, $t \in [0,1]$.

In the above inequality, we consider first that $t = 0$ and then $t = 1$. For $t = 0$ we have

$$\sum_{i \in I} W_i \cdot \Psi_i (f_i (x^\alpha), x_i^\alpha; x_i) \leq 0,$$

for all $\alpha \in \Gamma$. Hence, $\limsup_\alpha \sum_{i \in I} W_i \cdot \Psi_i (f_i (x^\alpha), x_i^\alpha; x_i) \leq 0$ and then, by $(\mathbf{k_1})$, we get

$$\limsup_\alpha \sum_{i \in I} W_i \cdot \Psi_i (f_i (x^\alpha), x_i^\alpha; y_i) \geq \sum_{i \in I} W_i \cdot \Psi_i (f_i (x), x_i; y_i), \text{ for all } y \in K.$$

Combining this inequality with the first one obtained for $t = 1$, we get

$$\sum_{i\in I} W_i \cdot \Psi_i \left(f_i(x), x_i; y_i\right) \leq 0,$$

that is $y \notin T(x)$. Thus condition 3 from Theorem 6 from [9] is satisfied.

Also, according to $(\mathbf{k_2})$ and the definition of T, for all $x \in D$, the set $T(x)$ is nonempty. Thus, condition 5 from the quotede theorem holds. Moreover, we see that $(\mathbf{k_2})$ corresponds to condition (d_2) from this theorem.

Then, all conditions of Theorem 6 from [9] are satisfied. Hence, there exists $\widehat{x} \in K$ such that $\widehat{x} \in T(\widehat{x})$, that is

$$\sum_{i\in I} W_i \cdot \Psi_i \left(f_i(\widehat{x}), \widehat{x}_i; \widehat{x}_i\right) > 0$$

which contradicts $(\mathbf{k_3})$. Thus, there exists $\overline{x} \in K$ such that $T(\overline{x}) = \emptyset$, that is

$$\sum_{i\in I} W_i \cdot \Psi_i \left(f_i(\overline{x}), \overline{x}_i; y_i\right) \leq 0,$$

for all $y_i \in K_i$, $i \in I$. Hence, $\overline{x}$ is a solution of $(\Psi - \text{WEPP})$ and so, by Lemma 2.3, it is a solution of $(\Psi - \text{SWEP})$.

If $W \in \prod_{i\in I} T_+^{\ell_i}$, then $\overline{x} \in K$ is a normalised solution of $(\Psi - \text{SWEP})$ and hence, by Lemma 3, it is a solution of $(\Psi - \text{SVEP})_w$. Further, if $W \in \prod_{i=1}^{n} \left(int T_+^{\ell_i}\right)$, then again by Lemma 3, $\overline{x} \in K$ is a solution of $(\Psi - \text{SVEP})$.□

4. CONCLUSION

This paper is devoted to the study of the existence of solutions for some systems of generalized equilibrium problems via weighted problems under generalised monotonicity assumptions. In some future work, we hope to be able to improve our solving methods such that can be applied to some concrete situations.

REFERENCES

[**1**] Ansari Q.H., Khan Z. and Siddiqi A.H., Weighted variational inequalities, J. Optim. Theory Appl. 127, 263–283 (2005).

[**2**] Ansari Q.H., Oettli W. and Schlager D., A generalisation of vectorial equilibria, Math. Meth. Oper. Res. 46, 547-557 (1997).

[**3**] Ansari Q.H., Schaible S. and Yao J.C., System of vector equilibrium problems and its applications, J. Optim. Theory Appl. 107, 547-557 (2000).

[**4**] Ansari Q.H., Schaible S. and Yao J.C., System of generalized vector equilibrium problems with applications, J. Global Optim. 22, 3-16 (2002).

[**5**] Beldiman M., On weighted equilibrium problems, Proc. Rom. Acad. Ser. A Math. Phys. Tech. Sci. Inf. Sci. 9(2) (2008).

[**6**] Beldiman M., Weighted variational inequalities with set-valued mappings, Rev. Roumaine Math. Pures Appl. 52, 3, 315–327 (2007).

[**7**] Blum E. and Oettli W., From optimization and equilibrium problems to equilibrium problems, Math. Student 63, 23-145 (1994).

[**8**] Chowdhury M.S.R. and Tan K.K., Generalized equilibrium problems for quasimonotone operators and applications, Bull. Polish Acad. 45, 25-54 (1997).

[**9**] Chowdhury M.S.R and Tan K.K., Generalisation of Ky Fan Minimax Inequality with Applications to generalized Variational Inequalities for Pseudomonotone Operators and Fixed-Point Theorems, J. Math. Anal. Appl. 204, 910-926 (1996).

[**10**] Noor M.A. and Oettli W., On general nonlinear complementarity problems and quasi-equilibria, Le Mathematiche (Catania) 49, 313-331 (1994).

[**11**] Zhao Q., Xu S., Peng T. and Huang X.X., Weighted variational inequalities in normed spaces, Optimization 59(4), 501–514 (2010).

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

FER I TAČNA LOGISTIČKA REGRESIJA SA VIŠEKRITERIJUMSKOM METAHEURISTIČKOM OPTIMIZACIJOM

FAIR AND ACCURATE LOGISTIC REGRESSION WITH MULTIOBJECTIVE METAHEURISTIC OPTIMIZATION

ANA KOVAČEVIĆ[1,2], MILAN VUKIĆEVIĆ[1], SANDRO RADOVANOVIĆ[1], MILIJA SUKNOVIĆ[1], BORIS DELIBAŠIĆ[1]

[1] Fakultet Organizacionih Nauka, Beograd, ak20195017@student.fon.bg.ac.rs, {milan.vukicevic, sandro.radovanovic, milija.suknovic, boris.delibasic}@fon.bg.ac.rs
[2] Saga New Frontier Group Ltd, Beograd, ana.kovacevic@saga.rs

Rezime: *U ovom istraživanju bavimo se problemom kreiranja „fer" prediktivnih modela mašinskog učenja. Trenutno, većina algoritama, zbog efikasnosti učenja koriste relaksacije funkcija cilja modela, koje vode ka redukovanim performansama. U ovom radu predstavljamo metod za učenje fer logističke regresije uz pomoć direktne optimizacije nerelaksiranih mera performansi uz pomoć metaheuristika. Naši eksperimentalni rezultati pokazuju da ovaj pristup može voditi ka kvalitetnijim rešenjima u odnosu na primenu relaksiranih algoritama.*

Ključne reči: *Mašinsko učenje, Metaheuristike, Fer predikcije, Logistička regresija, AUC, Nejednakost.*

Abstract: *In this research, we address the problem of making "fair" predictions with machine learning models. Currently, for the sake of learning efficiency, most of the algorithms are using the relaxation of learning algorithm goal functions leading to reduced performance. In this research, we propose a method for learning a fair logistic regression model by direct optimization of non-relaxed performance measures using metaheuristics. We show experimentally that this approach may lead to higher quality solutions compared to relaxed algorithms.*

Keywords: *Machine learning, Metaheuristics, Fairness, Logistic regression, AUC, Disparate impact*

1. INTRODUCTION

An increased level of automation of decision-making processes, through development and application of machine learning models, led to great savings and increased efficiency of business processes. However, machine learning models in many cases inherit bias from data towards some groups of instances. This is especially important in applications that involve protected groups based on some sensitive attribute (e.g. gender, age, and race). Such applications often have a large influence on individual lives: estimation of employment, estimation of the salary level, estimation of the level of punishment for criminal acts, etc. Because of the high impact and high cost of error in the aforementioned applications, fairness in machine learning emerged as one of the central areas of research in the last few years.

However, the source of unfairness is hard to identify. More specifically, bias in data may originate from a flawed data collection process, a cultural or historical bias of a specific subgroup, or in the decision-making process. Most probably, most of the unwanted discrimination occurs accidentally or without the knowledge of the decision-maker [1]. However, newly adopted legal documents such as General Data Protection Regulation[1], or Artificial Intelligence Act[2] (proposal) define administrative fines of up to 30,000,000 euro or 6% of companies' total worldwide annual turnover if unwanted discrimination is proven. To the best of our knowledge there are proven biases by gender in hiring process [3], and by race in recidivism prediction [7].

In this research, we address the problem of learning fair logistic regression models for binary classification problems. Binary classification problem may be defined as follows: given a set of input (predictor) vectors $x_i \in R^m, i = 1, \ldots, n$ $(predictors)$ and an outcome vector $y_i \in \{0,1\}, i = 1, \ldots, n$, an

[1] https://gdpr-info.eu/
[2] https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/proposal-regulation-laying-down-harmonised-rules-artificial-intelligence

estimate $\hat{y}$: probability that $y_i = 1,\ i = 1,\ldots,n$. Based on estimated probabilities each instance is classified as 0 or 1 based on a decision threshold T. By default, the decision threshold is set to 0.5 and classifies and assigns class 1 to an instance x_i if $\hat{y} \geq 0.5$ and 0 if $\hat{y} < 0.5$. Binary classification performance is defined as a function of the following basic quantities: TP (True positives), FP (False positives), TN (True negatives), and FN (False negatives).

It is important to note that the threshold T is defined by users (it is not directly optimized by machine learning algorithms) based on cost of misclassification error. However, most classification algorithms do not optimize basic quantities and do not consider different possible classification thresholds. This fact poses an additional task of model selection based on different performance measures under different threshold assumptions. This is why practitioners use the Area Under Curve measure (AUC) that measures and integrates the performance for each possible threshold and provides an estimate general performance of models. This leaves space for improving classification models performance by direct optimization of the AUC measure. However, AUC is not a linear, nor a convex measure and therefore we propose its optimization by metaheuristic approach.

Fairness (or unfairness) in algorithmic decision-making is most commonly defined through *disparate impact* (or demographic parity). Formally disparate impact, in the case of binary classification, may be defined as follows: given an outcome $y \in \{0,1\}$, where 0 represents the negative and 1 the positive outcome and given a protected attribute $s \in \{0,1\}$ where 0 represents protected (i.e. female gender) and 1 non-protected group (i.e. male gender) the following should stand.

$$\frac{P\{y=1|s=1\}}{P\{y=1|s=0\}} = 1 \tag{1}$$

Most widely used binary classification algorithms are optimized by convex optimization techniques like gradient descent. The notion of fairness is in most cases incorporated through regularization techniques or adding constraints to optimization problems. In both cases, to preserve the efficiency of learning, disparate impact is approximated by linear or convex functions. In recent research named “Too relaxed to be fair” by authors [13] showed that existing approaches for learning fair and accurate classifiers use loose relaxations of the fairness constraint and guarantees that relate the relaxed fairness to the true fairness of the solutions are either missing or not sufficient. In this paper, we propose, using a multi-objective metaheuristic approach for direct (not approximated) optimization of predictive and fairness performance. In this research, we address the problem of learning logistic regression models, as one of the most popular binary classification models in both academy and industry.

2. RELATED WORK

The main motivation for this research results from [13] [14] who provided a comprehensive review and comparison between different fairness-aware strategies for building classification models. This is why we will here provide only a review of papers closest to our research.

A simple approach in achieving fairness is by hiding the sensitive attribute from the learning algorithm. However, this is a too naïve approach since sensitive attributes may be highly correlated with some other attributes (i.e. race and neighborhood) and thus this approach is called fairness through unawareness [4]. Thus algorithms should exploit sensitive attributes in the learning process, but in a manner that takes care of fairness notion - fairness through awareness [9].

The most common approaches are regularized (unconstrained) and constrained optimization, where classifiers are trained in the usual way (i.e. gradient descent method) but with the addition of fairness constraints in goal function or as explicit constraints. General framework for fairness-aware learning through regularization approach was proposed by [11] with a specific classifier with prejudice remover regularization [12]. These approaches motivated many researchers to include fairness in different learning algorithms through regularization including recommendation engines [2] and deep learning [8].

In [4] authors reformulated algorithmic fairness as constrained optimization with the objective to maximize public safety while satisfying formal fairness constraints designed to reduce racism. A method for including fairness constraints into the post-processing phase of predictive modeling was proposed by [9]. Motivated by this research [6] adopted constraints from [9] and included them in the modeling phase of linear classifiers. The reason for this approach is that post-processing optimization in general reduces the performance of predictive models. They showed that the proposed algorithm outperforms [9] on test data. One of the most popular and cited approaches in constrained fair classification is proposed by [16]. In this research, we will use their latest constrained-based method as a benchmark [16]. It is based on constrained optimization with the constraint (1):

$$\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left((s_i - \bar{s}) * \hat{y}\right) + c \geq 0 \quad (2)$$

More specifically, discrimination is calculated as the sum of the impact of a sensitive attribute on predictions. Since sensitive attributes can take two values (discriminated $s_i = 1$ and privileged group $s_i = 0$) the difference $(s_i - \bar{s})$ can be either positive for the discriminated group, or negative for the privileged group. Further, these values are multiplied with predicted probabilities (obtained from logistic regression) that act as the intensity of discrimination. If discrimination exists, the value of the function would be negative (the privileged group is dominant). Therefore, one can add this as a constraint that must be greater than parameter c.

All described approaches enable learning classifiers that are fairer compared to traditional ones. However, we are still not aware of approaches that optimize fairness without relaxation and predictive performance directly on AUC measures.

3. PROPOSED METHOD

In this research, we propose a method for learning fair logistic regression by metaheuristic multi-objective optimization. In the following text, we explain the logistic regression algorithm, evolutionary multi-objective algorithm NSGA2, and our proposed method.

3.1. Measures of predictive performance and fairness

Many common measures of classification performance like *classification accuracy*, *precision*, *recall*, etc. are dependent on the decision threshold that is set by users. Thus, the classification cost or gain should be evaluated for each potential threshold, or by explicit inclusion of the cost matrix and the learning model based on optimization of the total cost. This is why in many cases AUC (area under the curve) is used as a measure of classification performance. AUC represents a quantity that is calculated as an area under a graph that is generated by calculating performance (in most cases by two measures) for all classification thresholds. This way AUC represents general classification performance (threshold independent) and thus it is more convenient and more popular for model selection and performance comparison. In this research we use and optimize the area under **ROC curve** (**receiver operating characteristic curve**) that plots True Positive Rate (TPR) or Recall and False Positive Rate (FPR) where:

$$TPR = \frac{TP}{TP+FN}, FPR = \frac{FP}{FP+TN} \quad (3)$$

As a fairness measure, in this research, we use disparate impact (DI) that is described in the introductory part. However, as a ratio between probabilities of positive outcome between privileged and unprivileged groups, DI is not bounded and thus it is hard to use it for model comparison on different problems. Therefore we use the following definition of DI:

$$\frac{\min\{P\{y = 1|s = 1\}, P\{y = 1|s = 0\}\}}{\max\{P\{y = 1|s = 1\}, P\{y = 1|s = 0\}\}} \quad (4)$$

This way DI has an upper bound of 1 (perfect fairness) and a lower bound of 0 (no fairness). Additionally, this definition prevents making unfair decisions towards the privileged group. This is important because if fairness is observed in a single direction only (not to be unfair towards unprivileged group) the optimization process may make unfair models in other direction (unfair solutions towards privileged group) and this is not desired behavior since it would conflict with the fairness definition.

3.2. Logistic regression

Logistic regression is one of the most popular and widely used classification algorithms, because of its capability of making models on Big Data, interpretability, and good classification performance in many application areas [10]. Logistic regression has a linear hypothesis for splitting the space between positive and negative examples. Predicted (hypothesis) values are scaled using the sigmoid (logistic) function.

$$\hat{y}_i = \frac{1}{1+e^{-\theta x_i}} \quad (5)$$

Logistic regression algorithm tries to find values of coefficients associated with input attributes such that logistic loss function is minimized (6):

$$\min L\,(y,\hat{y}) = -\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i \log(\hat{y}_i) + (1-y_i)\log(1-\hat{y}_i) \tag{6}$$

More specifically, θ represents coefficients associated with input attributes x. One can find modifications that enforce specific properties into a logistic regression, such as the regularization of complexity (ridge regularization), attribute selection (lasso regularization), and others [10]. The loss function is optimized using gradient-based methods such as gradient descent, stochastic gradient descent, or coordinate gradient descent (i.e. for lasso logistic regression), and thus it is convenient for enforcing fairness constraints too.

3.3. NSGA2 algorithm

NSGA-II is an elitist evolutionary algorithm that exploits *Crowding distance* as an explicit diversity preserving mechanism and emphasizes the non-dominated solutions through a non-dominated sorting mechanism. Non-dominated sorting and NSGA2 algorithm are depicted in Figure 1.

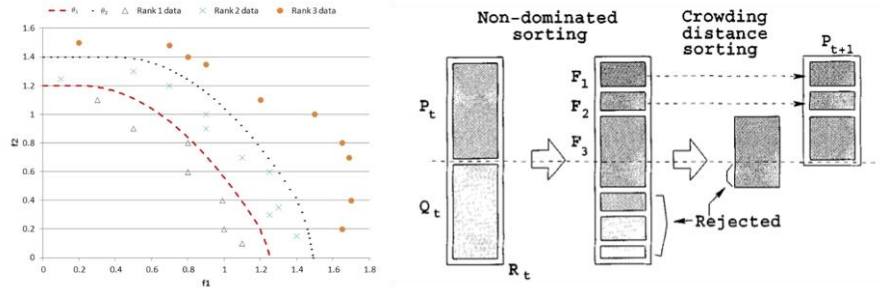


Figure 1: Non-dominated sorted [15] - left NSGA algorithm [5] - right

On the left side of Figure 1, we can see an example of dominated sorting. Individuals on the Pareto front that include all individuals are assigned with Rank 1. When Rank 1 data is disregarded, Pareto front individuals are assigned with Rank 2. Based on this NSGA2 may be described in the following steps (Figure 1. Right):

1. In each generation, NSGA2 classifies parent (P_t) and offspring (Q_t) populations by fronts F_i.
2. New population according to front raking: first individuals from F_1, than F_2 etc. If the number of individuals exceeds the threshold partially (F_3 in Figure 1), a subset of individuals from that rank is selected based on the density of their neighborhood (individuals with lower density are preferred). This is called crowding distance.
3. Offspring population is created crowded tournament selection (based on Ranks and crowding distance), crossover, and mutation operators.

3.4. Proposed method

In this research, we propose building logistic regression models based on multi-criteria meta-heuristic optimization. This approach allows direct optimization of classification and fairness performance metrics even if they are not convex. On the other side, logistic regression models are prone to overfitting – good performance on the training set, but bad performance on the test set. Overfitting leads to an unsatisfactory generalization of the predictive model (low performance on unseen cases). This behavior is caused by the high complexity of models (i.e. large number of parameters for training samples or large values of parameters). In the case of logistic regression that has a low complexity (number of parameters is equal to the number of input features), overfitting is reflected in large values of some weights compared to others. This way only features with really high values have an influence on final predictions and this is usually caused by outliers in data (samples with extreme values compared to other samples). The traditional approach for addressing this problem is adding additional quantity to the logistic regression cost function (L_1, L_2) that penalizes the growth of weights (parameters). However, in our proposed method we will control the weight size by constraining the search space. Adding regularization terms to goal functions is a part of our future work.

Another source of overfitting may be caused by conducting multiple experiments (usually by algorithm hyper-parameter optimization). Since optimization with evolutionary algorithms (in this case NSGA2) is done by evaluation of a large number of individuals (logistic regression weights) final solutions may overfit even if evaluated on a test set. This is why we propose using multiple bootstrap samples (multiple train and test sets) for a single evaluation of each individual. Based on the discussion above we propose a constrained multi-objective model:

$$(\max)\ [F_1(\theta) = \frac{1}{n}AUC(\theta), F_2(\theta) = \frac{1}{n}DI(\theta)\ ] \quad (7)$$
$$s.t. \quad l \leq \ \theta \leq u$$

Where θ represents logistic regression weights, l lower bound of logistic regression weights, and u the upper bound of the logistic regression weights.

In Figure 2, the flow of the proposed method is depicted.

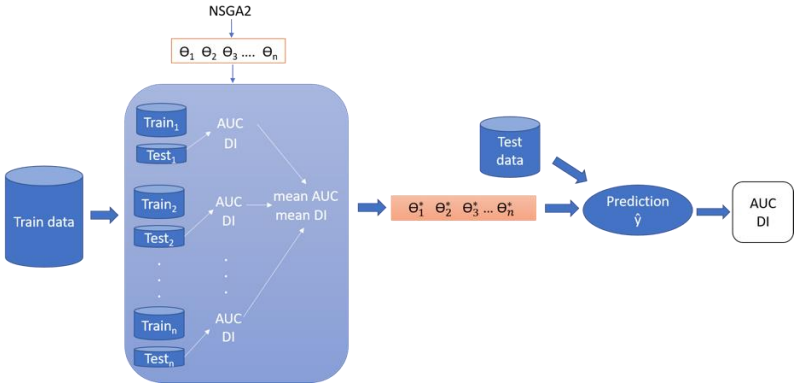


Figure 2: Proposed system

It can be seen from the figure above that initial data is divided into train and test. In the upper part of Figure 2, the NSGA2 algorithm (but in general, any metaheuristic may be used with this approach) generates weights.

4. EXPERIMENTAL EVALUATION

In this research, we used well-known datasets: Adult and COMPAS with the same preprocessing as in [14]. The Adult dataset presents a binary classification problem in which one tries to predict whether an individual receives a salary greater than 50K, where gender is considered as a sensitive attribute. The COMPAS dataset presents the application of predictive modeling in criminal justice. Namely, the application of fairness in machine learning started with this dataset [7]. The task for this dataset is to predict whether a convict will perform an offense in the future. It is discussed that predictive models are biased toward the Caucasian race and thus race is considered a sensitive attribute.

For optimization of AUC and DI with our proposed method, we used the following parameters: population size = 1000, number of offspring = 100, and crossover with a probability of crossover = 0.8. All weights are optimized in the range [-10,10]. NSGA-2 automatically generates and selects solutions from the Pareto front. For the benchmark method, we created a set of solutions by changing the fairness parameter in the range [-5,5] with a step of 0.1. Results for both datasets (Adult – left, COMPAS - right) are shown in Figure 3. AUC is plotted on the x-axis and DI is plotted on the y-axis. Since both criteria are of maximization type the best solutions are depicted in the upper right corner.

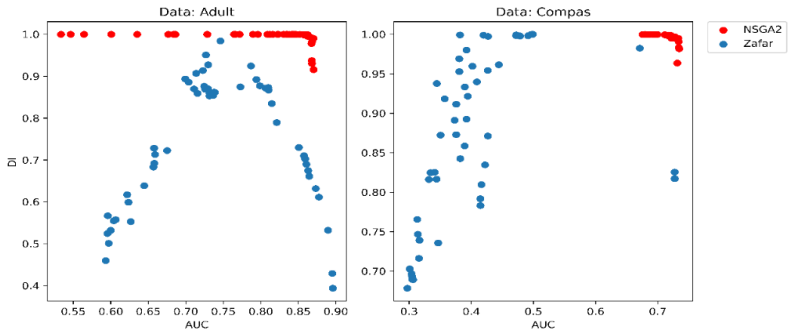


Figure 3: Comparison between proposed and benchmark model performance

It can be seen from Figure 3 that our proposed method (NSGA2 – red dots) creates a lot of dominant solutions compared to the benchmark with the model (Zafar – blue dots). In the case of the Adult dataset, NSGA2 achieves DI ~1 (total fairness) for AUC near 0.87. From there Zafar method creates non-dominated solutions with AUC up to 0.9 but with high loss in DI. Similar behavior is detected for the COMPAS dataset – most NSGA2 solutions are dominant except for few maximal AUC values. In this case, NSGA2 achieves even closer AUC values to Zafar solutions, while DI is significantly better.

5. CONCLUSION AND FUTURE RESEARCH

We propose a method for multi-objective metaheuristic optimization of the fair logistic regression (binary classification) model. Our experiments show that direct optimization of predictive performance and fairness metrics may achieve better results compared to optimization of relaxed metrics. Based on these results we plan to compare the proposed approach to more benchmark algorithms and on more datasets. Further, we plan to make a more extensive experimental study that will involve analyses of the speed of the learning model and the influence of different parameter settings (i.e. number of generations, population and offspring size, adding regularization terms to goal functions, etc.).

ACKNOWLEDGMENTS

This work was partially funded in part by the ONR/ONR Global under Grant N62909-19-1-2008. We would like to thank Saga New Frontier Group for supporting this research.

REFERENCES

[1] Barocas, S., & Selbst, A. D. (2016). Big data's disparate impact. *California Law Review*, *104*, 671.

[2] Beutel, A., Chen, J., Doshi, T., Qian, H., Wei, L., Wu, Y., ... & Goodrow, C. (2019, July). Fairness in recommendation ranking through pairwise comparisons. In *Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining* (pp. 2212-2220).

[3] Chan, J., & Wang, J. (2018). Hiring preferences in online labor markets: Evidence of a female hiring bias. *Management Science*, *64*(7), 2973-2994.

[4] Corbett-Davies, S., Pierson, E., Feller, A., Goel, S., & Huq, A. (2017, August). Algorithmic decision making and the cost of fairness. In *Proceedings of the 23rd ACM SigKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 797-806).

[5] Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. A. M. T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE transactions on evolutionary computation*, *6*(2), 182-197.

[6] Donini, M., Ben-David, S., Pontil, M., & Shawe-Taylor, J. (2017, October). An efficient method to impose fairness in linear models. In *NIPS workshop on prioritising online content*.

[7] Dressel, J., & Farid, H. (2018). The accuracy, fairness, and limits of predicting recidivism. *Science advances*, *4*(1), eaao5580.

[8] Du, M., Yang, F., Zou, N., & Hu, X. (2020). Fairness in deep learning: A computational perspective. IEEE Intelligent Systems.

[9] Hardt, M., Price, E., & Srebro, N. (2016). Equality of opportunity in supervised learning. *arXiv preprint arXiv:1610.02413*.

[10] Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction*. Springer Science & Business Media.

[11] Kamishima, T., Akaho, S., & Sakuma, J. (2011, December). Fairness-aware learning through regularization approach. In *2011 IEEE 11th International Conference on Data Mining Workshops* (pp. 643-650). IEEE.

[12] Kamishima, T., Akaho, S., Asoh, H., & Sakuma, J. (2012, September). Fairness-aware classifier with prejudice remover regularizer. In *Joint European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases* (pp. 35-50). Springer, Berlin, Heidelberg.

[13] Lohaus, M., Perrot, M., & Von Luxburg, U. (2020, November). Too relaxed to be fair. In *International Conference on Machine Learning* (pp. 6360-6369). PMLR.

[14] Radovanović, S., Petrović, A., Delibašić, B., & Suknović, M. (2020, August). Enforcing fairness in logistic regression algorithm. In *2020 International Conference on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA)* (pp. 1-7). IEEE.

[15] Seah, C. W., Ong, Y. S., Tsang, I. W., & Jiang, S. (2012, June). Pareto rank learning in multi-objective evolutionary algorithms. In *2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation* (pp. 1-8). IEEE.

[16] Zafar, M. B., Valera, I., Gomez-Rodriguez, M., & Gummadi, K. P. (2019). Fairness Constraints: A Flexible Approach for Fair Classification. J. Mach. Learn. Res., 20(75), 1-42

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.
MATΦ Univerzitet u Beogradu Matematički fakultet
Matematički Institut SANU

MOGUĆNOSTI PRIMENE METODE ANALITIČKOG HIJERARHIJSKOG PROCESA U POSTUPKU JAVNIH NABAVKI

POSSIBILITIES OF APPLYING THE METHOD OF ANALYTICAL HIERARCHICAL PROCESS IN THE PUBLIC PROCUREMENT PROCEDURE

MAGDALENA MINIĆ[1]

[1] Ekonomski fakultet u Subotici, Univerzitet u Novom Sadu, minic.magdalena@gmail.com

Rezime: *Javne nabavke, kao značajan deo javne potrošnje, predstavljaju oblast koja je posebno osetljiva na nepravilnosti i neregularnosti u svim fazama sprovođenja zbog čega je u radu istaknut značaj zakonske regulative. U osnovi dobro uređenog i jedinstvenog sistema javnih nabavki jeste pažljivo planiranje, efikasno sprovođenje postupka i donošenje objektivnih odluka uzimajući u obzir sve faktore i kriterijume od uticaja tokom celokupnog postupka, a posebno prilikom izbora ekonomski najpovoljnije ponude. U radu se ističe značaj i odgovornost javnih ustanova u pogledu donošenja odluka, a naročito prilikom izbora kriterijuma za dodelu ugovora i odabira ponude koja će obezbediti najveću vrednost za novac. Cilj istraživanja je da se prikaže kako primena jedne od najpoznatijih metoda višekriterijumske analize, AHP metoda, može olakšati i unaprediti proces donošenja odluka u postupku javnih nabavki i kako se na relativno jednostavan način može postići veća objektivnost i preciznost u identifikovanju prioriteta naručioca, oceni kriterijuma i izboru najpovoljnije ponude.*

Ključne reči: *višekriterijumska analiza, ahp metoda, kriterijumi za dodelu ugovora, ekonomski najpovoljnija ponuda.*

Abstract: *Public procurement, as a significant part of public spending, is an area that is particularly sensitive to irregularities and irregularities in all phases of implementation, which is why the paper emphasizes the importance of legislation. The basis of a well-organized public procurement system is careful planning, efficient implementation of procedures and making objective decisions, taking into account all factors and criteria of influence during the entire procedure, especially when choosing the most favorable bid. The paper emphasizes the importance and responsibility of public institutions in decision-making, especially when choosing the criteria for awarding contracts and selecting the bid that will provide the greatest value for money. The aim of the research is to show how the application of the AHP method can improve the decision-making process in the public procurement process and how greater objectivity can be achieved in identifying priorities, assessing criteria and choosing the most favorable bid.*

Keywords: *multicriteria analysis, ahp method, criteria for awarding the contract, economically most favorable bid.*

1. UVOD

Javna nabavka se može definisati kao nabavka dobara, usluga ili radova od strane naručioca u cilju zadovoljavanja potreba od opšteg interesa. U radu će biti istaknut značaj javnih nabavki kao jedan od instrumenata koji može značajno doprineti ostvarivanju održivog ekonomskog rasta, kroz obezbeđivanje efikasnog korišćenja javnih sredstava i razvoj konkurencije poštovanjem osnovnih načela. Imajući u vidu navedeno, donosioci odluka imaju odgovornost za racionalno trošenje javnih sredstava na način koji obezbeđuje najveću vrednost za novac. Pažljivim planiranjem, koje je zasnovano na stvarnim potrebama i racionalno trošenje javnih sredstava kroz dobro vođenje i sprovođenje postupka javnih nabavki mogu u velikoj meri doprineti jačanju efikasnosti javnog sektora i uspostavljanju poverenja građana u sistem javnih nabavki. U cilju efikasnog sprovođenja postupka javnih nabavki važno je donositi objektivne odluke uzimajući u obzir sve faktore i kriterijume od uticaja tokom celokupnog postupka javne nabave, a posebno prilikom izbora ekonomski najpovoljnije ponude.

Donošenje odluka može biti jednostavan proces ili proces koji zahteva složene analize. Postoje brojne definicije procesa odlučivanja, među najjednostavnijima se smatra ona koju su definisali Luce & Raiffa [6] a to je da „odlučivanje predstavlja izbor između određenog broja alternativa". U postupku javne nabavke, izbor ekonomski najpovoljnije ponude predstavlja tipičan primer višekriterijumskog problema odlučivanja. Višekriterijumski problem odlučivanja podrazumeva poređenje i rangiranje većeg broja alternativa na osnovu većeg broja kriterijuma koji nemaju isti značaj za odlučivanje. Zbog toga je jedna od ključnih aktivnosti donosioca odluka, u postupku javne nabavke, izbor adekvatnih kriterijuma za dodelu ugovora i određjivanje njihovog relativnog značaja. Radi preciznijeg definisanja relativnog značaja svakog kriterijuma, njihove ocene i izbor najpovoljnije ponude u radu je predstavljena mogućnost primene analitičkog hijerarhijskog procesa na hipotetičkom primeru javne nabavke usluge socijalne zaštite.

2. JAVNE NABAVKE

Zakonom o javnim nabavkama [12] regulisana su pravila postupaka javnih nabavki koje sprovode naručioci, radi zaključenja ugovora o javnoj nabavci dobara, usluga ili radova, okvirnog sporazuma, kao i sprovođenja konkursa za dizajn. Javne nabavke predstavljaju značajnu komponentu razvoja u svim razvijenim zemljama [4].

Veličina javnih nabavki, koja predstavlja približno 12% bruto domaćeg proizvoda u zemljama OECD-a, čini je ključnom ekonomskom aktivnošću, u rasponu od 4,9% u Meksiku do 19,5% u Holandiji. Javne nabavke imaju snažan uticaj na sve oblike pružanja javnih usluga, što se ogleda u sektorskoj potrošnji, od zdravlja do zaštite životne sredine, javnog poretka ili ekonomskih poslova (uključujući infrastrukturu, transport, komunikaciju, energiju i istraživanje i razvoj). Izdaci za zdravstvo predstavljaju najveći udeo u potrošnji javnih nabavki, oko 30% u zemljama OECD-a i preko 40% u nekim evropskim zemljama (Belgija, Nemačka, Italija i Slovačka) i u Japanu. Izuzetak su Mađarska, Letonija i Sjedinjene Države, gde najveći udeo u potrošnji javnih nabavki imaju ekonomski poslovi [8].

Prema godišnjem izveštaju Uprave za javne nabavke ukupna vrednost javnih nabavki u Republici Srbiji u 2019. godini iznosila je 440,5 milijardi dinara. Koliki je značaj javnih nabavki pokazuje podatak da je u 2019. godini učešće javnih nabavki u bruto domaćem proizvodu iznosilo 8,14%, što je 3,86% manje u odnosu na prosek zemalja OECD-a. Najveće učešće imala su državna javna preduzeća (29%), zdravstvo i socijalna zaštita (21%), javna preduzeća-lokalna samouprava (15%), organi državne uprave (14%) i gradska i opštinska uprava (15%) koji zajedno čine 94% ukupne vrednosti javnih nabavki [2].

Sistem javnih nabavki može se okarakterisati kao specifičan i kompleksan. Sistem javnih nabavki čine svi učesnici procesa javnih nabavki. U samom središtu sistema javnih nabavki nalaze se naručioci i ponuđači kao glavni akteri. Pored njih tu je čitav niz institucija od kojih su neke u direktnoj vezi sa procesom javnih nabavki, a neke ne.

Tokom prethodnih godina, Zakon o javnim nabavka menjao se u cilju jačanja sistema javnih nabavki naročito u pogledu povećanja transparentnosti postupka javne nabavke, zaštiti i jačanju konkurencije, povećanja efikasnosti i ekonomičnosti postupaka, kao i smanjenja rizika od neregularnosti u sistemu javnih nabavki, promovisanja i podsticanja ekološkog i socijalnog aspekta u javnim nabavkama i inovacijama.

Koristi od dobro uređenog i jedinstvenog sistema su višestruke. Razvijen i efikasan sistem obezbeđuje slobodno delovanje konkurencije među ponuđačima. Slobodna konkurencija omogućava privrednim subjektima da po ravnopravnim uslovima dobiju priliku da posluju sa državom, s druge strane, javne ustanove obezbeđuju predmet nabavke po najpovoljnijim uslovima. Javne ustanove imaju odgovornost da efikasno i ekonomično troše novac poreskih obveznika, obezbeđujući time najveću vrednost za novac. Racionalnim trošenjem javnih sredstava mogu se stvoriti značajne uštede što pruža mogućnost da se ušteđena sredstva upotrebe u druge svrhe, kao na primer povećanje kvaliteta i kvantiteta usluga koje država pruža građanima.

3. KRITERIJUMI ZA DODELU UGOVORA

Najveća vrednost za novac podrazumeva izbor ponude koja obezbeđuje najbolji odnos cene i kvaliteta. Zakon o javnim nabavkama, propisuje kriterijume za kvalitativni izbor privrednog subjekta, kao i kriterijume za dodelu ugovora. Važno je praviti razliku između navedenih kriterijuma. Naime, kriterijumi za kvalitativni izbor privrednog subjekta odnose se na samog ponuđača i njegove kapacitete. Imaju za cilj da se ugovor o javnoj nabavci dodeli ponuđaču koji će biti sposoban da taj ugovor izvrši na kvalitetan način. S druge strane, kriterijumi za dodelu ugovora predstavljaju merila za vrednovanje, upoređivanje, ocenjivanje i izbor ekonomski najpovoljnije ponude. Prema tome, jedna od ključnih aktivnosti donosioca odluka je izbor adekvatnih kriterijuma za dodelu ugovora.

Članom 132. Zakonom o javnim nabavkama, predviđeno je da će naručilac dodeliti ugovor ekonomski najpovoljnijoj ponudi na osnovu jednog od sledećih kriterijuma:

- cene ili
- troškova, primenom pristupa troškovne efikasnosti, kao što je trošak životnog ciklusa ili
- odnosa cene i kvaliteta, odnosno troška i kvaliteta koji se ocenjuje na osnovu kriterijuma, uključujući kvalitativne, ekološke i/ili socijalne aspekte, povezane sa predmetom ugovora o javnoj nabavci.

Troškovi životnog ciklusa obuhvataju u relevantnoj meri delove ili sve sledeće troškove tokom životnog ciklusa dobara, usluga ili radova:

- troškove koje snosi naručilac ili drugi korisnici, kao što su: troškovi nabavke, troškovi upotrebe, kao što je potrošnja energije i drugih resursa, troškovi održavanja, troškovi na kraju životnog ciklusa, kao što su troškovi sakupljanja i recikliranja;
- troškove pripisane spoljašnjim ekološkim faktorima povezanim sa dobrom, uslugom ili radovima tokom njihovog životnog ciklusa, pod uslovom da njihova novčana vrednost može da se odredi i proveri, a koji mogu da obuhvate troškove emisije gasova sa efektom staklene bašte i emisije drugih zagađivača, kao i druge troškove ublažavanja klimatskih promena [12].

Kriterijumi koji se odnose na odnos cene i kvaliteta, odnosno troška i kvaliteta, naročito mogu obuhvatati:

- kvalitet, uključujući tehničke odlike, estetske i funkcionalne karakteristike, dostupnost, rešenje za sve korisnike, socijalne, ekološke i inovativne karakteristike, trgovinu i uslove trgovine;
- organizaciju, kvalifikacije i iskustvo osoblja kome je povereno izvršenje ugovora, kada kvalitet osoblja može da ima značajan uticaj na nivo uspešnosti izvršenja ugovora ili
- uslugu nakon prodaje i tehničku pomoć, uslove isporuke, kao što su datum isporuke, proces isporuke i rok isporuke ili rok izvršenja [12].

Naručilac je dužan da odredi kriterijume za dodelu ugovora na način koji će mu omogućiti naknadnu, objektivnu proveru i ocenu ponuda. Oni ne mogu biti diskriminatorski, moraju biti povezani sa predmetom ugovora o javnoj nabavci i moraju omogućiti efektivnu konkurenciju. Ekonomski najpovoljnija ponuda je ponuda koja prema oceni naručioca u najvećoj meri ispunjava kriterijume za dodelu ugovora.

Tokom prethodnih godina, zabeleženo je dominantno učešće kriterijuma „najniža ponuđena cena“ prilikom dodele ugovora, i to u više od 90% slučajeva. Poznato je da izbor ponude na osnovu najniže ponuđene cene ne mora nužno da obezbedi najveću vrednost za novac, što predstavlja jedan od osnovnih ciljeva javnih nabavki. Postavlja se pitanje šta je razlog nekorišćenja kriterijuma „ekonomski najpovoljnija ponuda“? Da li je razlog nekorišćenja nedovoljno poznavanje mogućnosti navedenog kriterijuma ili možda rizik u smislu podnošenja zahteva za zaštitu prava ili nešto drugo?

Važno je napomenuti da je donošenjem novog Zakona o javnim nabavkama predviđena mogućnost određivanja cene ili troška unapred čime je, zapravo, pružena prilika naručiocima da u postupku javne nabavke obezbede ekonomski najpovoljniju ponudu na osnovu kriterijuma za kvalitet, a ne na osnovu najniže cene.

4. PRIMENA AHP METODE U POSTUPKU JAVNIH NABAVKI

Definisanjem kriterijuma za dodelu ugovora omogućena je primena višekriterijumske analize za izbor ekonomski najpovoljnije ponude, što može značajno doprineti efikasnom sprovođenju javnih nabavki. Višekriterijumsko odlučivanje je metodologija koja pomaže donosiocima odluka da donose preferirane odluke, kao što su procena, rangiranje i izbor, zasnovane na skupu raspoloživih alternativa ili akcija, koje karakterišu višestruki, potencijalno konfliktni atributi [7]. Razvijen je veliki broj metoda višekriterijumske analize koje se mogu koristiti za preciznije i efikasnije donošenje odluka.

Zakonom o javnim nabavkama, članom 133. stavom 5) određeno je da naručilac u dokumentaciji o nabavci određuje relativni značaj u ponderima za svaki kriterijum za dodelu ugovora, a posebno navodi metodologiju za dodelu pondera za svaki kriterijum, osim kada je kriterijum samo cena.

U cilju definisanja relativnog značaja svakog kriterijuma, naručioci mogu primeniti jednu od najpoznatijih metoda višekriterijumske analize, AHP metodu. AHP metoda može omogućiti preciznije i objektivnije identifikovanje prioriteta naručioca, ocenu kriterijuma i izbor najpovoljnije ponude. Ovu metodu razvio je *Tomas Saaty* osamdesetih godina dvadesetog veka, kako bi pomogao donosiocima odluka u rešavanju složenih problema koji uključuju veći broj donosilaca odluka i niza kriterijuma.

AHP se sastoji od nekoliko postojećih ali nepovezanih koncepata i tehnika kao što su hijerarhijsko strukturiranje kompleksnosti, poređenje parova, procene, metod karakterističnog vektora za izvođenje pondera i razmatranje konzistentnosti. Iako je svaki od ovih koncepata i tehnika bio sam za sebe koristan, *Saaty*-jeva sinergijska kombinacija koncepata i tehnika je proizvela proces čija je snaga veća od zbira njegovih delova [1]. Poređenje parova elemenata odlučivanja na svakom nivou hijerarhijske strukture

podrazumeva poređenje na osnovu subjektivnog stava, iskustva, znanja, intuicije. Poređenjem parova utvrđuje se relativna snaga ili intenzitet uticaja elemenata u hijerarhiji. Na svakom nivou hijerarhijske strukture, u parovima se porede elementi te strukture u odnosu na elemente višeg nivoa [10]. Ocene ili preferencije se izražavaju pomoću skale od 1-9 ili tzv. *Saaty*-jeve skale relativne važnosti [11].

AHP se bazira na tri osnovna principa, a to su: identitet i dekompozicija, poređenje parova i sinteza prioriteta [9].

U osnovi metode je mogućnost da se i najsloženiji problemi mogu struktuirati u određenu hijerarhiju. Korišćenje hijerarhijskog modeliranja problema predstavlja efektivan način da se donosioci odluka suoče sa kompleksnošću. Hijerarhija se sastoji od tri nivoa pri čemu je na samom vrhu cilj, na prvom nivou ispod su kriterijumi, dok se na poslednjem nivou nalaze alternative ili varijante.

Analitički hijerarhijski proces je fleksibilan jer omogućava da se kod složenih problema sa mnogo kriterijuma i alternativa relativno lako nađu relacije između uticajnih faktora, prepozna njihov eksplicitni ili relativni uticaj i značaj u realnim uslovima i odredi dominantnost jednog faktora u odnosu na drugi [3].

Primena AHP metode u javnim nabavkama biće demonstrirana na hipotetičkom primeru. Za predmet javne nabavke izabrane su usluge socijalne zaštite.

Prema Zakonu o socijalnoj zaštiti, usluge socijalne zaštite su aktivnosti pružanja podrške i pomoći pojedincu i porodici radi poboljšanja odnosno očuvanja kvaliteta života, otklanjanja ili ublažavanja rizika nepovoljnih životnih okolnosti, kao i stvaranja mogućnosti da samostalno žive u društvu. Za sprovođenje postupka javne nabavke usluga socijalne zaštite odgovorna je jedinica lokalne samouprave (JLS).

Elementi kriterijuma, kada sagledavamo usluge socijalne zaštite, mogu naročito da obuhvate:

- kvalitet, uključujući funkcionalne karakteristike, dostupnost, dizajn za sve, socijalne, ekološke i inovativne karakteristike;
- organizaciju, kvalifikacije i iskustvo osoblja kome je povereno izvršenje ugovora, kada kvalitet osoblja može da ima značajan uticaj na stepen uspešnosti izvršenja ugovora [5].

Za izbor ekonomski najpovoljnije ponude za pružanje usluga socijalne zaštite, najadekvatnije je uključiti elemente kriterijuma u pogledu kvaliteta i organizacije, kvalifikacije i iskustva osoblja ponuđača.

Zakon o javnim nabavkama je predvideo mogućnost da naručilac može formirati cenu usluge unapred i u skladu sa tim dodeliti ugovor o javnoj nabavci ponuđaču na osnovu elemenata kriterijuma za kvalitet. Metodologiju formiranja cena usluga socijalne zaštite koje se finansiraju iz budžeta jedinice lokalne samouprave propisuje nadležni organ jedinice lokalne samouprave [13]. Imajući u vidu navedeno, pretpostavlja se da je cena usluge socijalne zaštite unapred definisana pa neće biti obuhvaćena analizom.

Na samom vrhu hijerarhije postavljen je cilj, u konkretnom primeru to je ekonomski najpovoljnija ponuda. Na sledećem nivou su kriterijumi koji pokazuju u kojoj meri alternative (ponude) ostvaruju zadati cilj. U Tabeli 1 prikazane su polazne pretpostavke na osnovu kojih će se vršiti dalja analiza.

Tabela 1: Polazne pretpostavke

Alternative	Kriterijumi			
	C_1	C_2	C_3	C_4
Ponuda 1	13	6	NE	24
Ponuda 2	10	8	DA	20
Ponuda 3	12	10	DA	17

C_1 – broj negovateljica
C_2 – ukupan broj sati neposrednog rada sa korisnikom
C_3 – sačinjavanje i dostavljanje određenih izveštaja o pruženim uslugama i korisnicima
C_4 – reference

Pomoću AHP Priority Calculator-a na sajtu https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php izvršeno je poređenje kriterijuma po važnosti i intezitetu primenom *Saaty*-jeve skale relativne važnosti. Na taj način su dobijene relativne važnosti kriterijuma koje se još nazivaju težinskim koeficijentima (W_n).

$W_1 = 47.7\%$; $W_2 = 15.4\%$; $W_3 = 8.1\%$; $W_4 = 28.8\%$

Najveći procenat važnosti među kriterijumima ima broj negovateljica (C_1), zatim reference (C_4), pa ukupan broj sati neposrednog rada sa korisnikom (C_2) i na kraju sačinjavanje i dostavljanje određenih izveštaja o pruženim uslugama i korisnicima (C_3).

Racio konzistentosti iznosi 0,8% odnosno 0,008. S obzirom na to da je racio konzistentnosti manji od 0,1 može se zaključiti da je procena važnosti kriterijuma konzistentna.

Izvršeno je usklađivanje atributa trasformacijom kvalitativnog obeležja i linearnom transformacijom skale. Za transformaciju kvalitativnog obeležja za kriterijum C_3, koji predstavlja benefit atribut, određeno je da se odgovoru „DA“ dodeli broj 1, a odgovoru „NE“ broj 0.

Tabela 2: Usklađivanje atributa linearnom transformacijom skale

	C_1	C_2	C_3	C_4
P 1	1,0000	0,6000	0,0000	1,0000
P 2	0,7692	0,8000	1,0000	0,8333
P 3	0,9231	1,0000	1,0000	0,7083

Nakon izvršene transformacije atributa usledilo je množenje dobijenih vrednosti sa težinskim koeficijentima, što je prikazano u Tabeli 3.

Tabela 3: Konačni rezultati

	C_1	C_2	C_3	C_4	Ukupno	Rangiranje ponuda
P 1	0,4770	0,0924	0,0000	0,2880	0,8574	2
P 2	0,3669	0,1232	0,0810	0,2400	0,8111	3
P 3	0,4403	0,1540	0,0810	0,2040	0,8793	1

Na osnovu dobijenih rezultata, ponude se mogu rangirati sledećim redosledom P3 – P1 – P2. Može se zaključiti da je ekonomski najpovoljnija ponuda P3. Ukoliko uporedimo težinske koeficijente sa polaznim podacima i konačnim rezultatima, možemo zaključiti da je ponuda P1 u odnosu na P3 pokazivala bolje rezultate prema kriterijumu C_1 i C_4 koji imaju težinske koeficijente 47,7% i 28,8%, respektivno. Međutim, iako se na prvi pogled čini da je ponuda P1 bolja, model je ipak pokazao da je ekonomski najpovoljnija ponuda P3 uzimajući u obzir sve kriterijume.

Pored navedenih kriterijuma, predmet analize bi mogli biti i kriterijumi kao što su tretmani koji se pružaju korisnicima u dnevnom boravku, vršenje usluga na način koji ne zagađuje životnu sredinu u JLS (promovisanje „zelenih” nabavki, kao što je davanje prednosti korišćenju prevoznih sredstava koja u manjoj meri zagađuju okolinu), uključivanje u realizaciju ugovora predstavnika ugroženih grupa i mnogi drugi kriterijumi.

5. ZAKLJUČAK

Neadekvatno realizovane javne nabavke imaju višestruke nedostatke. S jedne strane, dovode do neefikasne potrošnje javnih sredstava, što se negativno odražava i na rad naručioca i na pružanje kvalitetnih usluga građanima, a s druge strane utiču na neefikasnost celokupnog sistema javnih nabavki. Neefikasan sistem javnih nabavki, smanjuje blagostanje zbog činjenice da se javna sredstva ne koriste na adekvatan način niti obezbeđuju potreban kvalitet.

Javne nabavke, kao značajan deo javne potrošnje, predstavljaju oblast koja je posebno osetljiva na nepravilnosti i neregularnosti u svim fazama sprovođenja. S tim u vezi, u radu je istaknut značaj zakonske regulative čije konstantno unapređivanje ima za cilj jačanje sistema javnih nabavki. To se naročito odnosi na povećanje transparentnosti postupka javne nabavke, zaštitu i jačanje konkurencije, povećanje efikasnosti i ekonomičnosti postupaka, kao i smanjenje rizika od neregularnosti u sistemu javnih nabavki i podsticanje ekološkog i socijalnog aspekta u javnim nabavkama i inovacijama. Iz svega prethodno navedenog može se zaključiti da je odgovornost javnih ustanova prilikom donošenja odluka ključna za efikasno i ekonomično trošenje novca poreskih obveznika, što ima uticaj na celokupan sistem javnih nabavki.

U radu je prikazano kako upotreba jedne od najpoznatijih metoda višekriterijumske analize, AHP metoda, može olakšati i unaprediti proces donošenja odluka i smanjiti zloupotrebu sistema javnih nabavki. Navedeni hipotetički primer pokazuje kako se na relativno jednostavan način, primenom AHP metode, može postići veća objektivnost i preciznost u identifikovanju prioriteta naručioca, oceni kriterijuma i izboru najpovoljnije ponude. Naravno, u praksi se podrazumeva da će biti izvršena detaljnija analiza na osnovu iskustva ili uz prisustvo eksperata koji dobro poznaju predmet javne nabavke pa mogu identifikovati i oceniti ključne kriterijume na adekvatan način.

Tokom prethodnog posmatranog perioda, praksa je pokazala da je dominantno učešće kriterijuma „najniža ponuđena cena“ prilikom dodele ugovora, i to u više od 90% slučajeva. Takva praksa se pokazala kao negativna sa aspekta obezbeđivanja najveće vrednosti za novac kao jedan od osnovnih ciljeva javnih nabavki. Posledice ovakve prakse, dovode do toga da se ugovori o javnim nabavkama često dodeljuju ponuđačima koji ili nisu u mogućnosti da pruže uslugu potrebnog i očekivanog kvaliteta, ili su u mogućnosti da to pruže, ali nisu podstaknuti od strane naručioca da to učine, s obzirom na to da ponuđena cena ima presudan uticaj. Novi Zakona o javnim nabavkama pruža mogućnost formiranja cene unapred, što u velikoj meri omogućava naručiocima da se fokusiraju na izbor kvalitativnih kriterijuma za dodelu ugovora koji će obezbediti potreban kvalitet.

LITERATURA

[1] Forman, E. & Selly, M.A. (2001). *Decision by Objectives, How to convince others that you are right*, World Scientific Publishing Co.Pte.Ltd. doi:10.1142/4281.

[2] Godišnji izveštaj Uprave za javne nabavke, Preuzeto 01. maja 2021, sa http://www.ujn.gov.rs/izvestaji/izvestaji-uprave-za-javne-nabavke.

[3] Grujčić, Ž. & Pažun, B. (2019). An example of multi-criteria optimization using Expert Choice. *Serbian Journal of Engineering Management, vol. 4 (2)*, pp 18-28.

[4] Joković, R. (2015). Uloga i zadaci naručioca u upravljanju projektom javne nabavke, *Tehnika, vol. 70 (3), 521*, 521-527.

[5] Jovanović, V., Satarić, V., Jelenković, M., Ristić, M., & Blagojević, B. (2020). *Vodič za javne nabavke u oblasti socijalne zaštite*, Stalna konferencija gradova i opština – Savez gradova i opština Srbije, Beograd.

[6] Luce, R. D. & Raiffa, H. (1957). *Games and decisions: introduction and critical survey*, New York, Wiley.

[7] Mimović, P. & Jakšić, M. (2016). *Višekriterijumski modeli za merenje i ocenu performansi finansijskih institucija*, Monografija, Ekonomski fakultet, Univerzitet u Kragujevcu.

[8] OECD. (2019), "Size of public procurement", in Government at a Glance 2019, OECD Publishing, Paris, https:/doi.org/10.1787/fc0c31c5-en.

[9] Saaty, R.W. (1987). The Analytic Hierarchy Process—What It Is and How It Is Used, *Mathematical Modelling, vol. 9(3-5)*, 166, 161-176. doi:10.1016/0270-0255(87)90473-8.

[10] Saaty, T.L., (2008). Decision making with the analytic hierarchy process, *International Journal of Services Sciences, vol. 1 (1*), 83-98.

[11] Saaty, T.L., Kearns, K. (1985). *Analytical planning : The organization of systems, International series in modern applied mathematics and computer science* (vol. 7), Oxford, New York: Pergamon Press.

[12] Zakon o javnim nabavkama *("Sl. glasnik RS", br. 91/2019*).

[13] Zakonu o socijalnoj zaštiti *("Sl. glasnik RS", br. 24/2011*).

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

ALGORITAM ZA NALAŽENJE SVIH NEDOMINIRANIH TAČAKA PROBLEMA MOCO BAZIRAN NA METODI GRANANJA I OGRANIČAVANJA

AN ALGORITHM BASED ON BRANCH AND BOUND METHOD FOR FINDING ALL NON-DOMINATED POINTS OF MOCO PROBLEM

MILAN STANOJEVIĆ[1], BOGDANA STANOJEVIĆ[2]

[1] Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade, Jove Ilića 154, 11040 Belgrade, Serbia, milan.stanojevic@fon.bg.ac.rs

[2] Mathematical Institute of the Serbian Academy of Sciences and Arts, Kneza Mihaila 36, 11001 Belgrade, Serbia, bgdnpop@mi.sanu.ac.rs

Rezime: *U ovom radu prikazujemo novi algoritam za nalaženje svih nedominiranih tačaka problema višekriterijumske kombinatorne optimizacije baziran na metodi grananja i ograničavanja. Naš algoritam deli dopustivi skup na manje podskupove i nad njima optimizuje agregaciju zadatih funkcija cilja, ali za razliku od originalne metode, ovi podskupovi nisu disjunktni. Da bi smanjili računsku složenost, naša implementacija memoriše dve liste granica zadatih funkcija cilja: one za koje je utvrđeno da dovode do praznog dopustivog skupa i one koje su već korišćene u koracima u kojima je dobijena neka nedominirana tačka. U radu su prikazani numerički rezultati rešavanja velikog broja instanci problema ranca koje su korišćene u postojećoj literaturi.*

Ključne reči: *Višekriterijumska kombinatorna optimizacija, Metoda grananja i ograničavanja, Hibridna metoda*

Abstract: *In this paper we introduce a novel algorithm for finding all non-dominated points of MOCO problems. Likewise a branch and bound method, our algorithm splits the feasible set in certain smaller sub-sets, and then performs the optimization of an aggregation of the original objective functions over each sub-set. However, the defined sub-sets are non-disjunctive, and in order to reduce the computational complexity, our implementation memorizes two lists of bounds: one containing those bounds that were found infeasible, and another containing the bounds that were successfully used in previous optimization steps. We report our numerical results obtained by solving multiple objective knapsack problems from a benchmark found in the literature.*

Keywords: *Multiple Objective Combinatorial Optimization, Branch and Bound, Hybrid Method*

1. INTRODUCTION

The state of art in multiple criteria decision analysis was recently presented in [3]. A chapter was devoted to survey the exact methods for solving multiple objective combinatorial optimization (MOCO) problems. The definitions of the most important classes of solutions to MOCO problems, and the main properties of such problems and their non-dominated sets were explored.

In this paper we focus on deriving entire non-dominated set of MOCO problems as a part of an a posteriori approach in multiple criteria decision analysis. These problems are tractable, since the cardinality of their non-dominated sets was proved to be pseudo-polynomial [8].

Dominguez-Rios et al. [8] recently introduced an effective anytime algorithm to solving MOCO problems. Their solution approach is able to generate an approximation of the set of non-dominated points well-spread within the criterion space, thus providing the decision maker with a great variety of solutions.

Kirlik and Sayin [4] proposed an algorithm for generating all non-dominated solutions to MOCO problems based on ε-constraints method. They partitioned the search space in a new way, in terms of rectangles, attempting to separately derive a non-dominated point for each rectangle. They compared their numerical results to the results reported in [6, 7, 9].

Koksalan and Lokman, [5] presented an algorithm that derives solutions that approximate the non-dominated frontiers of MOCO problems. Their idea was to fit the hyper-surface of the frontier using a single non-dominated reference vector. They carried out experiments on different types of MOCO problems, and generally proved that the obtained hyper-surfaces properly approximate all non-dominated points. The main advantage of their

method is in its ability to find a neighborhood of a preferred region of non-dominated points with significant little computational effort.

In this paper we introduce a branch and bound (B&B) inspired algorithm for finding all non-dominated points of MOCO problems. Likewise a B&B implementation, our algorithm splits the feasible set in smaller sub-sets, and then performs the optimization of the sum of the original objective functions over each sub-set. However, the obtained sub-sets are non-disjunctive, and in order to reduce the computational complexity, it memorizes two lists of bounds: those that were found infeasible, and those that were already used in previous optimization steps.

Our paper is structured as follows: Section 2 formalizes the MOCO problem and its solution concept; Section 3 introduces our solution approach; and Section 4 discusses the numerical results of our experiments. Our final conclusion and some directions for further researches are provided in Section 5.

2. PROBLEM FORMULATION

A MOCO problem is generally defined as

$$\begin{aligned} &\text{"min"} \quad f(x) = (f_1(x), \ldots, f_p(x)) \\ &\text{s.t.} \\ &\qquad x \in X \subset R^n \end{aligned} \tag{1}$$

where x is the decision vector; $p \geq 2$ is the number of the objective functions $f_i : X \to R$, $i = 1, \ldots, p$; and X is a discrete and bounded feasible set.

The concept of optimization in the case of several objective functions is considered in the sense of finding all non-dominated points with respect to the following definition: a solution $x^* \in X$ is called an efficient solution to Problem (1) if and only if there is no feasible solution $x \in X$ such that $f_j(x) \leq f_j(x^*)$ for all $j = 1, \ldots, p$ and $f_j(x) < f_j(x^*)$ for some $j = 1, \ldots, p$. For an efficient solution x^*, $f(x^*)$ is referred to as a non-dominated point in the criterion space.

3. SOLUTION APPROACH

A procedure for obtaining the entire non-dominated set usually consists of an algorithm for obtaining one non-dominated point and a strategy for systematic exploring the criterion space. Our solution approach uses a hybrid method that combines the weighted sum and ε-constraints techniques [2] for obtaining one non-dominated point. The optimization problems that are actually solved follow the mathematical model

$$\begin{aligned} &(\min) \quad u(x) = \sum_{k=1}^{p} f_k(x) \\ &\text{s.t.} \\ &\qquad x \in X, \\ &\qquad f_k(x) \leq b_k,\ k = 1, \ldots, p, \end{aligned} \tag{2}$$

where b_k, $k = 1, \ldots, p$ represent the bounds imposed on the objective functions. Each time, these bounds are determined with respect to the active sub-set of the original feasible set. It is easy to prove that whenever Problem (2) has an optimal solution, that solution is efficient to Problem (1). To solve a maximization MOCO problem one must use Problem (3)

$$\begin{aligned} &(\max) \quad u(x) = \sum_{k=1}^{p} f_k(x) \\ &\text{s.t.} \\ &\qquad x \in X, \\ &\qquad f_k(x) \geq b_k,\ k = 1, \ldots, p. \end{aligned} \tag{3}$$

instead of Problem (2).

Our strategy for exploring the criterion space is inspired by the branch and bound paradigm. The main steps of our method for a minimization MOCO problem are presented in Algorithm 1.

Each sub-problem that will be solved is identified through its bounds b_k, $k = 1, \ldots, p$ taken from the list of p-tuples B. Initially, the list of bounds contains only the p-tuple B_1 defined by the pessimal values of the

Algorithm 1 The branch and bound procedure for a maximization MOCO problem

Input: Mathematical model and data.
1: Set $head \leftarrow 1, tail \leftarrow 1$.
2: Initialize the list of bounds B by inserting the p-tuple B_1 defined in Formula (4).
3: Initialize the list of non-dominated points $NDP \leftarrow \emptyset$.
4: **while** $head \leq tail$ **do**
5: Set $b \leftarrow B_{head}$.
6: Set $head \leftarrow head + 1$.
7: **if** mayBeFeasible(b) **then**
8: Solve Problem (2) with bounds b.
9: **if** an optimal solution x^* was found **then**
10: Set $y^* \leftarrow (f_1(x^*), \ldots, f_p(x^*))$.
11: Udate the list of non-dominated points $NDP \leftarrow NDP \cup \{y^*\}$.
12: **for** $k = 1, \ldots, p$ **do**
13: $newbounds \leftarrow b$
14: $newbounds_k \leftarrow y_k^* - 1$
15: $tail \leftarrow tail + 1$
16: $B_{tail} \leftarrow newbounds$
17: **end for**
18: **else**
19: storeInfeasible(b)
20: **end if**
21: **end if**
22: **end while**
Output: The list of generated non-dominated points NDP.

objective functions. For our implementation we used

$$B_1 = \begin{cases} (0, \ldots, 0)_p, & \text{for maximization} \\ (N_1, \ldots, N_p), & \text{for minimization} \end{cases} \tag{4}$$

where $N_1, \ldots, N_p$ are the norms of the objective functions coefficient.

When Algorithm 1 is applied to solve a maximization MOCO problem in Step 8 Problem (3) should be used instead of Problem (2); and Step 14 should be replaced by $newbounds_k \leftarrow y_k^* + 1$. The branching scheme can be seen in Steps 12–17. The bounding of the B&B-search tree is achieved when Problem (2) does not have any feasible solution. The functions *mayBeFeasible* and *storeInfeasible* are not essential for the algorithm idea. They are rather used to reduce the computational complexity by avoiding solving infeasible problems and redundant optimizations.

4. EXPERIMENTAL RESULTS

We carried out our experiments on instances of multiple objective knapsack problems generated by Kirlik and Sayin in their paper [4]. The benchmark contains 160+ instances with various dimensions (n) and number of objective functions (p) – p varied from 3 to 5, and n varied form 10 to 100)Our summarized numerical results are presented in the tables 1:, 2: and 3:. We run Kirlik and Sayin's algorithm, that uses CPLEX for optimization; and two versions of our algorithm, that use CPLEX and Gurobi for optimization, respectively. All experiments were run on the same computer with the same version of CPLEX solver. For all instances that were successfully solved both algorithms with both solvers found the entire set of non-dominated points.

Table 1: reports the average of CPU and real elapsed times as well as the number of engaged CPU cores. To compute these averages we removed all those instances for which at least one of the algorithms failed to generate the non-dominated set.

It is interesting to notice that our algorithm better exploits multi core CPU configuration. Although we did not apply any parallelization technique, it performed some calculations in parallel, it spent more CPU time for overall execution, but the real elapsed time was shorter. We specify in Table 2: the characteristics and the ordinal numbers of the instances that each algorithm failed to solve. Algorithm 1 with Gurobi succeeded to solve all instances in the benchmark. In addition, our algorithm successfully solved instances with parameters $p = 5$, $n = 30$, while Kirlik and Sayin [4] reported that their algorithm failed to solve such instances.

Table 1: Average results for the instances solved by all algorithms

The method used	CPU time [s]	Elapsed time [s]	CPU usage
Kirlik and Sayin [4] with CPLEX	1522.11	1522.72	0.9996
Alg. 1 with CPLEX	7360.60	1480.18	4.9728
Alg. 1 with Gurobi	4370.88	1342.04	3.2569

Table 2: The parameters $(p, n, \text{No.})$ of the instances that Algorithm 1 with CPLEX and the algorithm introduced in [4] failed to solve.

Kirlik and Sayin [4]	Alg. 1 with CPLEX
$p = 4$, $n = 40$, No.: $2,4,5,6,7,9$	$p = 3$, $n = 100$, No.: $4,9$
$p = 5$, $n = 20$, No.: $1,9,10$	$p = 4$, $n = 40$, No.: 2

To clarify the whole picture of our experiments we present, for instance, in Table 3: the elapsed times needed by each algorithm to solve the instances with $p = 5$, and $n = 20$. Note that the algorithm introduced in [4] failed to solve three instances, while Algorithm 1 combined with both solvers solved all instances.

Table 3: The elapsed times [s] obtained for the instances with $p = 5$, and $n = 20$

No.	Kirlik and Sayin [4]	Alg. 1 with CPLEX	Alg. 1 with Gurobi
1	–	4253	240
2	1276	989	42
3	419	815	34
4	1187	3438	180
5	4239	815	69
6	631	725	43
7	183	782	39
8	28616	3417	236
9	–	17686	1205
10	–	15749	1326

5. CONCLUSIONS

We presented a novel algorithm for finding all non-dominated points of general MOCO problems. The idea of the algorithm was to split the feasible set in certain smaller sub-sets, as in a classic branch and bound method, and then perform the optimization of an aggregated function over each sub-set, and thus obtaining one at a time all non-dominated points. The defined sub-sets were non-disjunctive, and in order to reduce the computational complexity, we created two lists of bounds: one containing those bounds that were found infeasible, and another containing the bounds that were already used in an optimization step.

We reported our numerical results obtained by solving multiple objective knapsack problems from a benchmark found in the literature (p varied from 3 to 5, and n varied form 10 to 100). Based on these statistically relevant experiments, we can make the following conclusions: (i) the average elapsed time was smaller for the new proposed algorithm than for the algorithm recalled from the literature; (ii) the new algorithm succeeded to solve all instances from the chosen benchmark, while the other algorithm failed to solve 6.21% of the instances; and (iii) the new algorithm performs better for a greater number of criteria, while the algorithm from the literature we compared with was better for larger problem dimensions. Finally, the algorithm we proposed is competitive with the existing ones.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was partly supported by the Serbian Ministry of Education, Science and Technological Development through Mathematical Institute of the Serbian Academy of Sciences and Arts and Faculty of Organizational Sciences of the University of Belgrade.

REFERENCES

[**1**] Dominguez-Rios, M.A., Chicano, F. & Alba, E. (2021). Effective anytime algorithm for multiobjective combinatorial optimization problems. Information Sciences, 565, 210–228.

[**2**] Ehrgott, M. (2005). Multicriteria Optimization. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

[**3**] Greco, S., Ehrgott, M. & Figueira, J.R. editors. (2016). Multiple Criteria Decision Analysis State of the Art Surveys. Springer-Verlag New York.

[**4**] Kirlik, G. & Sayin, S. (2014). A new algorithm for generating all nondominated solutions of multiobjective discrete optimization problems. European Journal of Operational Research, 232, 479–488.

[**5**] Koksalan, M. & Lokman, B. (2009). Approximating the nondominated frontiers of multi-objective combinatorial optimization problems. Naval Research Logistics (NRL), 56, 191–198.

[**6**] Laumanns, M., Thiele, L., & Zitzler, E. (2006). An efficient, adaptive parameter variation scheme for metaheuristics based on the epsilon-constraint method. European Journal of Operational Research, 169, 932–942.

[**7**] Ozlen, M., & Azizoglu, M. (2009). Multi-objective integer programming: A general approach for generating all non-dominated solutions. European Journal of Operational Research, 199, 25–35.

[**8**] Stanojević, M., Vujošević, M. & Stanojević, B. (2013). On the cardinality of the nondominated set of multi-objective combinatorial optimization problems. Operations Research Letters, 41, 197-200.

[**9**] Sylva, J., & Crema, A. (2004). A method for finding the set of non-dominated vectors for multiple objective integer linear programs. European Journal of Operational Research, 158, 46–55.

XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2021
Banja Koviljača, 20-23.9.2021.

KONCEPT ZA ODREĐIVANJE TEŽINSKIH KOEFICIJENATA KRITERIJUMA BAZIRAN NA METODI ENTROPIJE

CONCEPT FOR DETERMINING WEIGHT COEFFICIENTS OF CRITERIA BASED ON THE ENTROPY METHOD

MALIŠA ŽIŽOVIĆ[1], DRAGAN PAMUČAR[2], MIOMIR STANKOVIĆ[3], DRAGAN ĐURČIĆ[1], MIODRAG M. ŽIŽOVIĆ[4]

[1] Fakultet tehničkih nauka u Čačku, Univerzitet u Kragujevcu, Srbija, {zizovic,dragandjurcic}@gmail.com
[2] Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija, Beograd, Srbija, dpamucar@gmail.com
[3] Matematički institut Srpske akademije nauka i umetnosti, Beograd, Srbija, miomir.stankovic@mi.sanu.ac.rs
[4] Ekonomski institut Beograd, Srbija, miodragz@gmail.com

Rezime: *U ovom radu prikazan je model za određivanje težinskih koeficijenata koji se bazira na primeni metode etropije. Metoda entropije koja je prikazana u ovom radu bazira se na primeni Shannon-ove i Renyi-jeve fomulacije entropije za određivanje težina kriteirjuma. Novi model entropije za određivanje težina kriterijuma omogućava uključivanje eksperata iz različitih oblasti u cilju definisanja odnosa između kriterijuma i racionalno donošenje odluka. Efektivnost predloženog modela prikazana je kroz primer u kojem je detaljno predstavljena predložena metodologija.*
Ključne reči: *Entropija, Višekriterijumsko odlučivanje, Težinski koeficjent.*

Abstract: *In this paper, a new model for determining weight coefficients based on applying the entropy method is presented. The entropy method presented in this paper is based on the application of Shannon's and Renyi's entropy formulation to determine criterion weights. The new entropy model for assessing the importance of the criteria enables the involvement of experts from different fields to define the relationship between the criteria and rational decision-making. The effectiveness of the proposed methodology is shown through an example where the proposed method is presented in detail.*

Keywords: *Entropy, Multicriteria decision making, Weighting coefficient.*

1. UVOD

Uzimajući u obzir činjenicu da težine kriterijuma mogu značajno uticati na rezultat procesa odlučivanja jasno je da se posebna pažnja mora posvetiti modelima za određivanje težina kriterijuma. Većina autora predlaže podelu modela za određivanje težina kriterijuma na subjektivne i objektivne [7].

Subjektivni pristupi odražavaju subjektivno mišljenje i intuiciju donosioca odluke. Takvim pristupom težine kriterijuma se određuju na osnovu informacije dobijene od donosioca odluke ili od eksperata koji su uključeni u proces odlučivanja. Sa druge strane, objektivni pristupi zanemaruju mišljenje donosioca odluke i zasnovani su na određivanju težina kriterijuma na osnovu informacije sadržane u matrici odlučivanja primenom određenih matematičkih modela. Među najpoznatije objektivne metode spadaju: Metoda entropije [4], metoda CRITIC (CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation), [1] i metoda FANMA koja je naziv dobila prema autorima metode [5].

U dosadašnjim radovima na izračunavanju težinskih koeficjenata metoda Entropije korišćena je takozvana probabilistička priroda entropije i njena mera za entropiju konačnog verovatnosnog sistema.

$$Y:\begin{pmatrix} x_1 & x_2 & .... & x_n \\ p_1 & p_2 & .... & p_n \end{pmatrix},\ p_i>0 \quad \forall i=1,2,...,n \text{ odnosno } p:(p_1,p_2,...,p_n);\quad \sum_{i=1}^{n} p_i=1, \text{ u obliku}$$

$$H(p)=-\sum_{i=1}^{n} p_i \log_b p_i,\quad (b>1) \tag{1}$$

Uobičajeno je da je u izrazu (1) usvojiti vrednsot $b=2$. Funkcija (1) data je u radu [3].

Određivanje objektivnih težina kriterijuma prema metodi Entropije zasniva se na Šenonovom konceptu entropijske ocene informacije koja je sadržana u početnoj matrici odlučivanja [4]. Metoda se svodi na merenje neodređenosti u informaciji koju sadrži početna matrica odlučivanja i omogućava direktno generisanje skupa težinskih koeficijenata kriterijuma. Težinski koeficijenti kriterijuma generišu se na osnovu

međusobnog kontrasta pojedinačnih kriterijumskih vrednosti alternativa za svaki kriterijum, a zatim i istovremeno za sve kriterijume. O funkciji (1) i njenim osobonama čitaoci mogu da se upite u obimnu literaturu iz ove oblasti u kojoj se govori i o istorijatu ove mere u oblasti fizike, a i u samoj oblasti teorije informacija [6].
U ovom radu korišćena je i formulacija entropije prema Renyi-ju [2], koja se primenjuje u uslovima koji važe i za Shannon-ovu entropiju u parametarskom obliku:

$$ {}_{\alpha}H(p) = \frac{1}{1-\alpha}\ \log_2\left(\sum_{i=1}^{n} p_i^{\alpha}\right), \alpha \neq 1, \alpha > 0 \tag{2} $$

Nije teško videti da funkcije (1) i (2) imaju maksimalnu vrednost za sistem jednako verovatnih događaja $\log_2 n$, a da su takođe obe jednake nuli za sistem sa sigurnim događajima (jedan događaj u sistemu ima verovatnoću jedan, a ostali nula). O osobinama ovako definisane entropije može se videti u radu [2].

U narednom delu prikazan je algoritam metode entropije za određivanje težinskih koeficijenata kriteirjuma:

Korak 1: Pretpostavimo da postoji višekriterijumski model sa *m* alternativa i *n* kriterijuma koji mogu da pripadaju skupu *max* ili *min* tipa. Takav sistem se transformiše u sve kriteirjume *max* tipa.

Korak 2: Polazeći od modela koji je definisan u koraku 1, možemo da prikažemo početnu matricu odlučivanja u sledećoj formi:

$$ \Omega = \begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} C_1 & C_2 & \dots & C_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2n} \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ f_{m1} & f_{m2} & \dots & f_{mn} \end{bmatrix}_{m\times n} \end{array} \tag{3} $$

Matricu $\Omega = \left[f_{ij} \right]_{m\times n}$ transformisaćemo u novu normalizovanu matricu $\Omega^N = \left[p_{ij} \right]_{m\times n}$ u kojoj je u svakoj koloni zbir elemenata jednak jedan, donosno $\sum_{i=1}^{m} p_{ij} = 1$.

$$ p_{ij} = \frac{f_{ij}}{\sum_{k=1}^{m} f_{kj}};\ f_{kj} > 0;\ j = 1,2,...,n;\ i = 1,2,...,m;\ k = 1,2,...,m \tag{4} $$

Korak 3a: Određujemo entropiju za svaki od kriterijuma u Shannon-ovom smislu:

$$ e_j = -\frac{1}{\log_b m}\ \sum_{i=1}^{m} p_{ij} \log_b p_{ij};\ j = 1,2,...,n \tag{5} $$

Korak 3b: Određujemo entropiju za svaki od kriterijuma u Renyi-jevom smislu:

$$ {}_{\alpha}e_j = \frac{1}{(\log_b m)(1-\alpha)}\ \log_b\left(\sum_{i=1}^{m} p_{ij}^{\alpha}\right), \alpha \neq 1, \alpha > 0;\ j = 1,2,...,n \tag{6} $$

Uz uslov da je $b > 1$, dok je uobičajeno da se usvoji da je $b = 2$.

Korak 4: Određujemo devijaciju entropije za svaku kolonu u oba slučaja:

$$ \begin{aligned} d_j^{(1)} &= 1 - e_j \\ d_j^{(2)} &= 1 - {}_{\alpha}e_j \end{aligned} \tag{7} $$

gde je $j = 1,2,...,n$.

Korak 5: Izračunavanje težinskih koeficijenata kriterijuma:

$$ w_j = \frac{d_j}{\sum_{k=1}^{n} d_k};\ d_k > 0;\ k = 1,2,...,n;\ j = 1,2,...,n \tag{8} $$

Primenom ovog izraza izračunavaju se težinski koeficijenti za Renyi-jev i Shannon-ov model entropije.

Korak 6: Dobijene vrednosti težinskih koefcijenata koriguju su u skladu sa subjektivnim vrednostima težina kriterijuma koje su definisane od strane donosioca odluke $w_1, w_2, ..., w_n$, izraz (9).

$$w_j^{'} = \frac{d_j w_j}{\sum_{k=1}^{n} d_k w_k};\ d_k w_k > 0;\ k = 1,2,...,n;\ j = 1,2,...,n \tag{9}$$

2. PRIMER I DISKUSIJA ALGORITMA

Osnovna ideja ove metodologije za dobijanje težinskih koeficjenata kriterijuma je da se kriterijumu, koji za sve vrednosti alternativa ima istu vrednost, dodeli vrednost nula pošto je evidentno da takav kriterijum nema uticaj na konačnu odluku. Ovde se podrazumeva da je $0 \log_b 0 = 0$ pošto je $\lim_{x \to 0} x \log_b x = 0 \quad (b > 1, x > 0)$; ovo je prirodno.

U narednom delu predstavljne je višekriteriumski model sa četiri alternative i četiri kriterijuma pri čemu su svi kriteirjumi *max* tipa.

$$\Omega = \begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} C_1 & C_2 & C_3 & C_4 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 8 & 6 & 5 & 4 \\ 3 & 5 & 7 & 9 \\ 4 & 6 & 8 & 10 \\ 10 & 7 & 5 & 4 \end{bmatrix} \end{array} \tag{10}$$

Normalizacijom početne matrice (10) dobijamo normalizovanu matricu (11).

$$\Omega^N = \begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} C_1 & C_2 & C_3 & C_4 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0.32 & 0.25 & 0.20 & 0.15 \\ 0.12 & 0.21 & 0.28 & 0.33 \\ 0.16 & 0.25 & 0.32 & 0.37 \\ 0.40 & 0.29 & 0.20 & 0.15 \end{bmatrix} \end{array} \tag{11}$$

U narednom delu prikazan je proračun težinskih koeficijenata za Shannon-ov slučaj. U primeru korišćena je osnova logaritma $b = e$.

Primenom izraza (5) dobijamo da je

$$\begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} C_1 & C_2 & C_3 & C_4 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0.3646 & 0.3466 & 0.3219 & 0.2846 \\ 0.2544 & 0.3277 & 0.3564 & 0.3659 \\ 0.2932 & 0.3466 & 0.3646 & 0.3679 \\ 0.3665 & 0.3590 & 0.3219 & 0.2846 \end{bmatrix} \end{array}$$

Odnosno dobijamo da je

$e_1 = 0.9224;$

$e_2 = 0.9954;$

$e_3 = 0.9845;$

$e_4 = 0.9399.$

Primenom izraza (7) dobijamo da je

$d_1 = 0.0776;$

$d_2 = 0.0046;$

$d_3 = 0.0155;$

$d_4 = 0.0601.$

Primenom izraza (8) dobijamo vrednosti težinskih koeficjenata kriterijuma za za Shannon-ov slučaj:

$w_1 = 0.4918;$

$w_2 = 0.0292;$

$w_3 = 0.0982;$

$w_4 = 0.3808.$

U narednom delu prikazan je proračun težinskih koeficijenata za Renyi slučaj za $\alpha = 1/2$.

Primenom izraza (6) dobijamo da je

$${}_{1/2}e_1 = \frac{1}{\ln 4(1-1/2)} \ln\left(\sqrt{0.32} + \sqrt{0.12} + \sqrt{0.16} + \sqrt{0.40}\right) = 0.9594;$$

${}_{1/2}e_2 = 0.9977;$

${}_{1/2}e_3 = 0.9922;$

${}_{1/2}e_4 = 0.9689.$

Primenom izraza (7) dobijamo da je

${}_{1/2}d_1 = 0.0406;$

${}_{1/2}d_2 = 0.0023;$

${}_{1/2}d_3 = 0.0078;$

${}_{1/2}d_4 = 0.0311.$

Odnosno da je $\sum {}_{1/2}d_i = 0.0818$.

Primenom izraza (8) dobijamo vrednosti težinskih koeficjenata kriterijuma za za Renyi-jev slučaj:

$w_1 = 0.4963;$

$w_2 = 0.0281;$

$w_3 = 0.0954;$

$w_4 = 0.3802.$

U narednom delu prikazan je proračun težinskih koeficijenata za Renyi slučaj za $\alpha = 1/4$.

$${}_{1/4}e_1 = \frac{1}{\ln 4(1-1/4)} \ln\left(\sqrt[4]{0.32} + \sqrt[4]{0.12} + \sqrt[4]{0.16} + \sqrt[4]{0.40}\right) = 0.9794;$$

${}_{1/4}e_2 = 0.9988;$

${}_{1/4}e_3 = 0.9961;$

${}_{1/4}e_4 = 0.9843.$

Primenom izraza (7) dobijamo da je

${}_{1/4}d_1 = 0.0206;$

${}_{1/4}d_2 = 0.0012;$

${}_{1/4}d_3 = 0.0039;$

${}_{1/4}d_4 = 0.0157.$

Odnosno da je $\sum {}_{1/4}d_i = 0.0414$.

Primenom izraza (8) dobijamo vrednosti težinskih koeficjenata kriterijuma za za Renyi-jev slučaj:

$w_1 = 0.4976;$

$w_2 = 0.0290;$

$w_3 = 0.0942;$

$w_4 = 0.3792.$

U narednom delu prikazan je proračun težinskih koeficijenata za Renyi slučaj za $\alpha = 2$.

$${}_{2}e_1 = \frac{1}{\ln 4(1-1/4)} \text{-}\ln\left(0.32^2 + 0.12^2 + 0.16^2 + 0.40^2\right) = 0.8627;$$

$_2e_2 = 0.9908;$

$_2e_3 = 0.9695;$

$_2e_4 = 0.8910.$

Primenom izraza (7) dobijamo da je

$_2d_1 = 0.1373;$

$_2d_2 = 0.0092;$

$_2d_3 = 0.0305;$

$_2d_4 = 0.1090.$

Odnosno da je $\sum {}_2d_i = 0.286$.

Primenom izraza (8) dobijamo vrednosti težinskih koeficjenata kriterijuma za za Renyi-jev slučaj:

$w_1 = 0.4801;$

$w_2 = 0.0322;$

$w_3 = 0.1066;$

$w_4 = 0.3811.$

Konačno dobijamo rang težinskih koeficjenata C3>C1>C2>C4, odnosno:

$w_1 = 0.2432;$

$w_2 = 0.2113;$

$w_3 = 0.3601;$

$w_4 = 0.1854.$

U narednom delu prikazan je proračun težinskih koeficijenata za Renyi slučaj za $\alpha = 4$.

$_4e_1 = 0.7931;$

$_4e_2 = 0.9821;$

$_4e_3 = 0.9427;$

$_4e_4 = 0.8306.$

Primenom izraza (7) dobijamo da je

$_4d_1 = 0.2069;$

$_4d_2 = 0.0179;$

$_4d_3 = 0.0573;$

$_4d_4 = 0.1694.$

Odnosno da je $\sum {}_2d_i = 0.4515$.

Primenom izraza (8) dobijamo vrednosti težinskih koeficjenata kriterijuma za za Renyi-jev slučaj:

$w_1 = 0.4583;$

$w_2 = 0.0396;$

$w_3 = 0.1269;$

$w_4 = 0.3752.$

Parametarski pristup metodi entropije (Renyi-jeov slučaj) omogućava i subjektivno određivanje težinskih koeficijenata tako što za različite kriterijume biramo različite vrednosti parametra alfa. Tako, pretpostavimo da su preferencije donosioca odluke izražene kao C3>C1>C2>C4, za α možemo izabrati:

- za C3 α=2;
- za C1 α=1/4;
- za C2 α=4;
- za C4 α=1/4.

Uz prethodno navedene uslove dobijmo da je:

$_{1/4}d_1 = 0.0206;$

$_4d_2 = 0.10179;$

$_2d_3 = 0.0305;$

$_{1/4}d_4 = 0.0157.$

Ako znamo da je $\sum d_i = 0.0847$, tada dobijamo sledeće vrednsoti težinskih koeficijenata kriterijuma:

$w_1 = 0.2432;$

$w_2 = 0.2113;$

$w_3 = 0.3601;$

$w_4 = 0.1854.$

4. ZAKLJUČAK

Pregled literature i analiza do sada u literaturi prisutnih modela za određivanje težinskih koeficijenata kriterijuma jasno ukazuju na potrebu za razvoj novog kredibilnog modela za određivanje težinskih koeficijenata kriterijuma. Zato je u ovom radu prikazan novi model entropije koji kombinuje objektivni i subjektivni pristup određivanja težinskih koeficijenata. Prikazani model entropije predstvalja matematički algoritam koji doprinosi dobijanju kredibilnih rezultata prilikom donošenja odluka. U cilju približavanja korisnicima i eskploatacije prednosti metode entropije nameće se potreba za izradu i implementaciju softvera koji se bazira na prikazanoj metodologiji. Jedan od pravaca budućih istraživanja treba da bude usmeren i u prema proširenju algoritma za primenu u grupnom donošenju odluka.

LITERATURA

[1]. Diakoulaki D, Mavrotas G, Papayannakis L. (1995). Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method. Computers & Operations Research, 22, 763–770.

[2]. Renyi, A. (1961). On Measures of Entropy and Information. Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, 547-561.

[3]. Shannon C.E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. Bell System Technical Journal. 27(3), 379–423.

[4]. Shannon C.E., Weaver W., The mathematical theory of communication. Urbana: The University of Illinois Press, 1947.

[5]. Srđević, B., Medeiros, Y.D.P., Faria, A.S., & Schaer M. (2003). Objektivno vrednovanje kriterijuma performanse sistema akumulacija. Vodoprivreda, 35, 163-176.

[6]. Šešelja, B. (1985). Matematika informatike. PMF Novi Sad.

[7]. Zhu, G.N., Hu, J., Qi, J., Gu, C.C., & Peng, J.H. (2015). An integrated AHP and VIKOR for design concept evaluation based on rough number, Advanced Engineering Informatics, 29, 408–418.

Indeks autora

Author index

A

Albijanić Isidora: 657;
Aleksić Danijel: 465;
Aličić Denis: 239; 407;
Andreja Radaković Jelena: 47;
Andrejić Milan: 361;
Andrić Gušavac Bisera: 445;
Anđelković Miroslav: 471;
Aristovnik Aleksander: 9;

B

Babić Danica: 591;
Bajić Zoran: 515; 521;
Bakrač Saša: 23;
Banković Radoje: 143; 171;
Basarić Miloš: 143;
Beldiman Miruna-Mihaela: 671;
Belić Jelena: 635;
Bjelić Nenad: 337;
Bjelobaba Goran: 255;
Bogdanov Jovica: 515; 521;
Bogdanović Dejan: 553;
Bosiočić Nebojša: 149;
Bosiočić Stanislava: 149;
Bucalo Jelić Dana: 663;
Buković Rajko: 93;

C

Chabane Anas: 521;
Cvetković Dragoš: 321;

Ć

Ćirović Goran: 419;

Č

Čanović Vladan: 559;
Čičić Milorad: 177;
Čolaković Violeta: 559;

D

Davidović Tatjana: 207; 267; 327;
Davydov Ivan: 237;
Delibašić Boris: 677;
Dimitrijević Branka: 373; 609;
Dimić Srđan: 527;
Djamal Chaabane: 333;
Dokić Aleksa: 433;
Dožić Slavica: 591;
Drakulić Momir: 545;
Drašković Borko: 47;
Dražić Zorica: 195; 225; 321;
Drobnjak Siniša: 171;

Đ

Đogatović Marko: 635; 647;
Đorđević Dejan: 171;
Đukić Aleksandar: 29;
Đurčić Dragan: 695;

DŽ

Džamić Dušan: 239; 407;

G

Galjak Nenad: 155; 167; 183;
Gigović Ljubomir: 155; 167;
Gračić Sara: 477;
Gromov Dmitry: 71;
Gromova Ekaterina: 72;
Grozdanović Predrag: 573;
Grujić Milica: 29;

H

Halaj Katarina: 621;
Halanay Andrei-Dan: 671;
Horvat Danijel: 243;

I

Imane Hamidi: 333;
Ivanišević Rajko: 243;
Ivanović Teodora: 293;
Ivetic Petar: 161;

J

Jablanović Vesna: 75;
Jakšić Kruger Tatjana: 267;
Janković Irena: 99;
Janković Radomir: 533;

Jelinek Srđan: 105;
Jeremić Ivana: 111;
Jeremić Veljko: 657;
Jevremović Dušan: 515;
Jevremović Sreten: 579;
Jevtić Nemanja: 343;
Jocković Jelena: 653;
Jovanović Branka: 565;
Jovanović Ivan: 553;
Jovanović Ivana: 585;
Jovanović Jasmina: 171;
Jovanović Slađana: 385;
Jovanović Đorđe: 267;
Jović Aleksandar: 393;
Jović Željko: 117;

K

Kalić Milica: 591; 615;
Kankaraš Milan: 527;
Kilibarda Milorad: 361;
Kochetov Yury: 237;
Končar Jelena: 349;
Koprivica Marija: 123;
Kosić-Jeremić Sandra: 501;
Kostić Kristina: 201;
Kostić-Ljubisavljević Aleksandra: 597;
Kovačević Ana: 677;
Kovačević-Vujčić Vera: 321;
Kočović Jelena: 123;
Krstić Mladen: 379;
Krstić Simić Tatjana: 635;
Kukić Katarina: 591;
Kutlača Đuro: 299; 305; 311;
Kuzmanović Marija: 41;

L

Lazarević D. Saša: 261; 273;
Lazarević Saša: 249;
Levanova Tatiana: 238;
Lukić Darko: 155; 167;
Lukić Žikica: 654;

LJ

Ljubojević Srđan: 527;

M

Makajić-Nikolić Dragana: 47; 59; 105;
Maksimović Snježana: 501;
Maletić Slobodan: 471;
Marinović Minja: 445;
Marić Miroslav: 239; 407;
Marić Radenko: 349;
Maričić Milica: 657;
Marković Dušan: 439;
Marković Lazar: 373;
Marković Ljubo: 495;
Matijević Luka: 207; 267; 327;
Matsatsinis Nikolaos: 4;
Michnik Jerzy: 641;
Mihailović Bojana: 191;
Mikavica Branka: 597;
Milenković Nina: 129;
Miletić-Radić Marijana: 35;
Milić Marković Ljiljana: 495;
Milićev Ivana: 491;
Milotić Milena: 183;
Milovanović Miloš: 285; 413;
Milošević Pavle: 413;
Milošević Bojana: 654;
Milošević Dragan: 565;
Milošević Milica: 15;
Milošević Pavle: 105; 425;
Milošević Tijana: 249;
Minić Magdalena: 683;
Mirković Bojana: 635; 647;
Mirković Dragan: 41;
Mitrović Milica: 355; 367;
Mladenović Nenad: 5; 213;
Mladenović Zorica: 79;
Mrkela Lazar: 219;
Mučenski Vladimir: 457; 507;

N

Netjasov Feđa: 603; 621; 627;
Nikolić Miloš: 573; 585; 609;
Nikolić Nebojša: 539;

O

Obradović Marko: 654;
Ok Yeşim: 65; 483;

P

Pajić Vukašin: 361;
Pamučar Dragan: 419; 445; 521; 695;
Panić Biljana: 343;
Paskota Mira: 621;
Pavlović Aleksa: 273;
Pavlović Goran: 647;
Pei Ruimin: 9;
Peković Jelena: 451;
Petrović Dalibor: 545;

Petrović Nataša: 47;
Peško Igor: 457; 507;
Poledica Ana: 425;
Popović Dražen: 355; 367;
Popović Milena: 15; 445;
Popović Nikola: 255;
Popović-Miletić Nataša: 419;
Praštalo Željko: 559; 565;
Preradović Ljubiša: 501;

R

Radaković Strahinja: 657;
Radivojević Gordana: 355; 367;
Radojičić Milan: 491;
Radovanović Sandro: 677;
Radulović Nemanja: 261;
Ramljak Dušan: 267;
Ranđelović Saša: 135;
Ratković Branislava: 337; 373;
Ravšelj Dejan: 9;
Regodić Miodrag: 177; 183;
Ristić Maja: 225;

S

Savić Gordana: 15;
Sekulić Jovana: 603;
Sekulović Dragoljub: 143;
Senjak Milena: 457;
Shakhlevich Natasha: 3;
Simić Dejan: 279;
Simić Katarina: 273;
Srdić Zoran: 149;
Stamenković Mladen: 433;
Stancu-Rusu Andreea-Madalina: 671;
Stanimirović Zorica: 201; 219; 231;
Stanković Miomir: 695;
Stanković Una: 207; 327;
Stanković Vladimir: 545;
Stanojević Bogdana: 689;
Stanojević Jelena: 85;
Stanojević Kristina: 53;
Stanojević Milan: 689;
Stančić Olivera: 231;
Stefanović Hana: 255;
Stojadinović Ivan: 167;
Stojanović D. Tatjana: 261; 273;
Stojanović Marko: 171;
Stojanović Tatjana: 249;
Stojković Dragan: 433;
Stokić Marko: 609;
Stošić Mihajlović Ljiljana: 59;
Su Shimai: 72;
Suknović Milija: 677;

Š

Šarac Rade: 559; 565;
Šelmić Milica: 579; 585;
Štrbac Dijana: 299; 311;

T

Tadić Snežana: 379;
Terzić Mirjana: 457;
Timotić Doroteja: 615; 621;
Todić Bojana: 653;
Todorović Milan: 267;
Todosijević Raca: 213;
Tolstykh Daniil: 237;
Toppur Badri: 399;
Tripković Srđan: 279;
Trpković Ana: 579;
Tur Anna: 72;

U

Umek Lan: 9;
Upmann Thorsten: 71;
Urošević Dragan: 213; 267;

V

Vasilić Nikola: 305;
Veličković Predrag: 285;
Veličković Zlate: 515;
Veljović Miloš: 379;
Veselinović Dragana: 507;
Vidojević Filip: 239; 407;
Vidović Milorad: 337; 385;
Vujasinović Miroslav: 177; 183;
Vukadinović Katarina: 573;
Vukićević M. Arso: 413;
Vukićević Milan: 677;
Vukmirović Aleksandra: 317;
Vukmirović Goran: 349;
Vukmirović Jovanka: 317;
Vukmirović Sofija: 317;
Vučenović Sonja: 349;
Vučićević Aleksandra: 425;

Y

Yang Guoliang: 9;
Yılmaz Kaya Burcu: 65; 483;

Z

Zdravković Stefan: 451;
Zoraja Sara: 627;

Ž

Živković Lazar: 299; 311;
Žižović Mališa: 695;
Žižović Miodrag: 695;

SYM-OP-IS 2021

МАТФ
Универзитет у Београду
Математички факултет

Математички институт
Српске академије наука и уметности

Suorganizatori

Simpozijum podržavaju

YUPIM

Donatori

Telekom Srbija

SVEA