

SYM-OP-IS 2020

XLVII Simpozijum o operacionim istraživanjima
XLVII International Symposium on Operational research

ZBORNİK RADOVA PROCEEDINGS



Editori:

Prof. dr Milorad Vidović

Prof. dr Katarina Vukadinović

Van. prof. dr Dražen Popović

Beograd, 20-23. septembar 2020

XLVII Simpozijum o operacionim istraživanjima
XLVII International Symposium on Operational Research

SYM-OP-IS 2020
Belgrade 20th-23rd September 2020

ZBORNİK RADOVA PROCEEDINGS

Editori/Editors:

Prof. dr Milorad Vidović
Prof. dr Katarina Vukadinović
Van. prof. dr Dražen Popović



UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF TRANSPORT AND TRAFFIC ENGINEERING

Izdavač/Publisher:
University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering
Vojvode Stepe 305, Belgrade, Serbia

U ime izdavača/In behalf of publisher:
Prof. dr Nebojša Bojović

Urednik/Publishing editor:
Van. prof. dr Marijana Petrović

Editori/Editors:
Prof. dr Milorad Vidović
Prof. dr Katarina Vukadinović
Van. prof. dr Dražen Popović

Štampa/Printed by:
PEKOGRAF d.o.o.,
Vojni put 258/d, 11080 Zemun, Serbia

Tiraž/No. of copies:
60

Godina izdavanja/Publishing year:
2020

ISBN:
978-86-7395-429-5

Štampanje zbornika je podržano od strane/Proceeding publishing supported by:
Ministry of Education, Science and Technological Development
of the Government of the Republic of Serbia

CIP - Каталогизacija u publikaciji
Народна библиотека Србије, Београд

519.8(082)

СИМПОЗИЈУМ о операционим истраживањима (47 ; 2020 ; Београд)

Zbornik radova = Proceedings / XLVII Simpozijum o operacionim istraživanjima = XLVII International Symposium on Operational Research, SYM-OP-IS 2020 Belgrade 20th-23rd September 2020 ; editori,editors Milorad Vidović, Katarina Vukadinović, Dražen Popović ; [izvršni organizator,executive organizer Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd]. - Belgrade : University, Faculty of Transport and Traffic Engineering, 2020 (Zemun : Pekograf). - [22], 537 str. : ilustr. ; 25 cm

Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tiraž 60. - Str. [11]: Predgovor / editori. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts. - Registar.

ISBN 978-86-7395-429-5

a) Операциона истраживања -- Зборници

COBISS.SR-ID 22616329

IZVRŠNI ORGANIZATOR/EXECUTIVE ORGANIZER
Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd

SUORGANIZATORI/CO-ORGANIZERS

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Matematički institut SANU, Beograd

Matematički fakultet, Beograd

Vojska Srbije

Ministarstvo odbrane Republike Srbije

Ekonomski fakultet, Beograd

Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd

Ekonomski institute, Beograd

Univerzitet u Banjoj Luci

Društvo operacionih istraživača

Fakultet organizacionih nauka, Beograd

Institut „Mihajilo Pupin“, Beograd

Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

POKROVITELJI/SUPPORTERS



Влада Републике Србије
Министарство просвете,
науке и технолошког развоја

MILSPED
GROUP

tw **Gebrüder Weiss**
Transport and Logistics

LOGIT

PROGRAMSKI ODBOR/ PROGRAMME COMMITTEE

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

POČASNI PROGRAMSKI ODBOR/ HONORARY PROGRAMME COMMITTEE

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

ORGANIZACIONI ODBOR/ ORGANIZING COMMITTEE

Dražen Popović, predsednik/chair SF, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Milica Šelmić, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Nenad Bjelić, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Branislava Ratković, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Branka Mikavica , Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dragana Macura, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Slobodan Mitrović, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Miloš Nikolić, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dragana Poznanović, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Doroteja Timotić, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Milica Mitrović, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu

PREDGOVOR

Ove godine čast i zadovoljstvo da, u saradnji sa drugim visokoškolskim ustanovama i naučno-istraživačkim organizacijama i udruženjima, organizuje SYMOPIS 2020 pripala je Saobraćajnom fakultetu Univerziteta u Beogradu.

Tradicionalno, SYMOPIS se organizuje sa ciljem predstavljanja teorijskih i praktičnih dostignuća operacionih istraživanja u raznim oblastima, od matematičkog programiranja, simulacije i heurističkih algoritama, do nauke o podacima i računarske inteligencije, pri čemu treba napomenuti i vrlo dugu tradiciju primene metoda operacionih istraživanja u oblastima saobraćaja, transporta, komunikacija, logistike i lanaca snabdevanja.

Svrha i uloga SYMOPIS-a su nastavljene i na XLVII SYMOPIS-u kroz omogućavanje razmene informacija, ideja i koncepata, uprkos tome što je konferencija održana u formi međunarodne konferencije sa udaljenim pristupom zbog situacije sa prisustvom virusa COVID-19. Na žalost, usled nemogućnosti direktnog kontakta između učesnika XLVII SYMOPIS je organizovan kao on-line konferencija što, prema preovlađujućem utisku učesnika, ali i organizatora, ni u kom slučaju nije umanjilo njegovu uspešnost.

Ovogodišnja konferencija je organizovana kroz 23 tematske sekcije sa ukupno 82 rada napisanih od strane 208 autora iz 14 zemalja. Pored tematskih sekcija, na ovogodišnjoj konferenciji su realizovana i plenarna predavanja održana od strane tri uvažena profesora i eminentna naučnika: Dr. José Fernando Oliveira, Head of the Department of Industrial Engineering and Management, DEMEGI FEUP (Portugal). President of the Society of Operational Researchers of Portugal and co-editor of EJOR; Dr. Suresh P. Sethi, Professor of Operations Management, at the University of Texas at Dallas (USA), and Director of Center for Intelligent Supply Networks (C4iSN) and Dr. Malick M. Ndiaye, from the Department of Industrial Engineering, American University of Sharjah (United Arab Emirates).

Ovaj Zbornik radova objedinjuje sve prihvaćene i izlagane istraživačke radove, pri čemu sadržina pojedinih poglavlja obuhvata radove u okviru pojedinačnih tematskih sekcija na konferenciji.

U cilju očuvanja tradicije, kvaliteta i kontinuiteta ovog simpozijuma, pored doprinosa autora, recenzenata, učesnika i članova programskog i organizacionog odbora, mora se naglasiti i neizmerna pomoć pokrovitelja konferencije: Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Vlade Republike Srbije, Saobraćajnog fakulteta Univerziteta u Beogradu i kompanija Milšped Grupa, Gebruder Weiss i Logit. Bez njihove pomoći i podrške XLVII SYMOPIS ne bi mogao biti organizovan, zbog čega im ovom prilikom izražavamo našu najiskreniju zahvalnost

Editori

Milorad Vidović
Katarina Vukadinović
Dražen Popović

PREFACE

The honor and a pleasure to organize SYMOPIS 2020, together with other higher education, scientific institutions and associations, belonged this year to the Faculty of Transport and Traffic, University of Belgrade.

Traditionally, SYMOPIS is organized to present advances in the theory and practice of operational research, in different areas, from mathematical programming, simulation and heuristics to data science and computer intelligence, where OR methods application in transportation, communications, logistics and supply chains also have very long tradition in this symposium.

XLVII SYMOPIS continued with its role and purpose enabling exchange of the information, ideas and concepts, although this time being organized in specific conditions caused by COVID 19 situation, as an remote international scientific conference. Unfortunately, XLVII SYMOPIS ran without possibility of exchanging ideas in direct contact, which had to be substituted by on-line communication. We do believe that the symposium, even in those conditions, was successful, as it was heard as an prevailing opinion of the participants.

This year conference is organized through 23 thematic sessions which include 82 papers by 208 authors from 14 countries. In addition to thematic session, this year we have plenary talks given by three distinguished professors and eminent scientists: Dr. José Fernando Oliveira, Head of the Department of Industrial Engineering and Management, DEMEGI FEUP (Portugal). President of the Society of Operational Researchers of Portugal and co-editor of EJOR; Dr. Suresh P. Sethi, Professor of Operations Management, at the University of Texas at Dallas (USA), and Director of Center for Intelligent Supply Networks (C4iSN) and Dr. Malick M. Ndiaye, from the Department of Industrial Engineering, American University of Sharjah (United Arab Emirates).

The volume brings together all accepted research papers presented at the conference where book topics correspond to symposium thematic sessions.

To make this symposium, and keep it quality and continuity, besides the effort of authors, reviewers, participants and members of the Program and Organizing committee, we have received immense help from our sponsors and supporters: Ministry of Education, science and technological development of the Government of Republic of Serbia, Faculty of transport and traffic engineering, University of Belgrade, Milsped Group, Gebruder Wiess and Logit. Without their help and support XLVII SYMOPIS couldn't be organized, and we would like to express our warmest thanks to all of them.

Editors

Milorad Vidović
Katarina Vukadinović
Dražen Popović

SADRŽAJ

ANALIZA PERFORMANSI/ PERFORMANCE ANALYSIS

Minja Marinovic , Milena Popović , Bisera Andrić Gušavac, Gordana Savić OCENA RELATIVNE EFIKASNOSTI ZDRAVSTVENIH SISTEMA EVROPSKIH DRŽAVA U BORBI PROTIV PANDEMIJE	3
--	---

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

Natasa Petrović , Kristina Stanojević , Jelena Andreja Radaković, Marko Ćirović PERCEPCIJA ŽENA O KLIMATSKIM PROMENAMA: STUDIJA SLUČAJA	11
Tijana Milanović , Natasa Petrović , Aleksandar Jovović , Milan Martić PREGLED INDIKATORA CIRKULARNE EKONOMIJE RAZVIJENIH ZEMALJA	17
Jelena Andreja Radaković, Kristina Stanojević , Natasa Petrović PANDEMIJA KORONAVIRUSA COVID-19 I ZAGAĐENJE ŽIVOTNE SREDINE KAO IZAZOV ODRŽIVOSTI	23

ELEKTRONSKO POSLOVANJE/ ELECTRONIC BUSINESS

Jelena Peković , Stefan Zdravković ELEKTRONSKA PLAĆANJA KAO SREDSTVO PRANJA NOVCA	31
Jelena Končar , Sonja Vučenović , Radenko Marić , Goran Vukmirovic POKAZATELJI OD ZNAČAJA ZA MERENJE EFIKASNOSTI ELEKTRONSKE MALOPRODAJE	37
Miloš Durković , Svetlana Zeljić Drakulić ANALIZA SWOT MATRICE ELEKTRONSKE TRGOVINE U SRBIJI PRE I U TOKU PANDEMIJE COVID 19	41

FINANSIJE I BANKARSTVO/ FINANCE AND BANKING

Marija Pantelić , Milutin Živanović FINANSIJSKO IZVEŠTAVANJE BANAKA: PROBLEMI U MERENJU FER VREDNOSTI PO MODELIMA	49
Rajko Bukvić ШТА ПОКАЗУЈУ ИНДЕКСИ КОНЦЕНТРАЦИЈЕ: ПРИМЕР БАНКОВНОГ СЕКТОРА СРБИЈЕ	55
Irena Janković CONTINGENT CONVERTIBLE (COCO) BONDS	61

GEOINFORMACIONI SISTEMI/ GEOINFORMATION SYSTEMS

Nenad Galjak , Miroslav Vujasinović , Miodrag Regodić , Borislava Stojnić OTKRIVANJE I PRAĆENJE STANJA AMBROZIJE NA OSNOVU SNIMAKA	69
Miodrag Regodić , Ljubomir Gigović , Miroslav Vujasinović , Goran Klječanin IZRADA DIGITALNOG MODELA POVRŠI NA OSNOVU SNIMAKA BESPILOTNOM LETELICOM	75

Nemanja Deretić , Pavle Gladović , Dragan Stanimirović GEOKODIRANJE SAOBRAĆAJNIH NEZGODA SA PROGRAMSKIM JEZIKOM R	81
Siniša Drobnyak , Dragoljub Sekulović , Marko Stojanović OCENA KVALITETA DIGITALNIH TOPOGRAFSKIH KARATA U OKRUŽENJU PROSTORNE BAZE PODATAKA	87
Stanislava Bosiočić , Nebojša Bosiočić , Dušan Petković , Miodrag Kostić PRIMENA DIGITALNIH MODELA TERENA U POSTUPKU AUTOMATSKE KLASIFIKACIJE ZEMLJIŠNIH OBLIKA U GIS OKRUŽENJU	93
GRAFOVI I MREŽE/ GRAPHS AND NETWORKS	
Milica Milivojević Danas, Zoran Maksimović , Jozef Kratica , Aleksandar Savić MIXED METRIC DIMENSION OF COMPLETE SPLIT GRAPHS	101
Dragoš Cvetković CORONAVIRUSES AND CORONA OF GRAPHS	105
HEURISTIKE/ HEURISTICS	
Dalibor Ristić , Dragan Urošević , Raca Todosijević , Nenad Mladenović METODA PROMENLJIVIH OKOLINA ZA P-SLEDEĆI CENTAR PROBLEM	111
Tatjana Davidović BEE COLONY OPTIMIZATION FOR DECISION MAKING PROBLEMS	117
Zorica Stanimirović , Lazar Mrkela EVOLUTIVNI PRISTUP REŠAVANJU DVOKRITERIJUMSKOG PROBLEMA MAKSIMALNOG POKRIVANJA LOKACIJA SA PREFERENCIJAMA KORISNIKA	123
Tatjana Jakšić Krüger, Tatjana Davidović UVODNA RAZMATRANJA O EKSPERIMENTALNOJ ANALIZI STOHAŠTIČKIH OPTIMIZACIONIH ALGORITAMA	129
INFORMACIONI SISTEMI I TEHNOLOGIJE/ INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES	
Teodora Ivanović ARHITEKTURA POSLOVNE INTELIGENCIJE I NJEN RAZVOJ	137
Hana Stefanović , Radosav Veselinović , Goran Bjelobaba , Ana Savić PRIMENA VIZUELNE KRIPTOGRAFIJE U PROCESU DELJENJA INFORMACIJA O VOZILIMA PARKIRANIM U KRUGU KOMPANIJE	143
Dimitrije Jevtić , Saša Lazarević , Tatjana Stojanović IMPLEMENTACIJA SOFTVERSKOG SISTEMA ZA GENERISANJE CROSS-PLATFORM KORISNIČKOG INTERFEJSA	149
ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ/ RESEARCH AND DEVELOPMENT	
Lazar Živković , Đuro Kutlača METRIKA INTEGRISANOSTI NAUKE I PRIVREDE	157

Nikola Vasilić , Đuro Kutlača , Sanja Popović-Pantić
INDIKATORI ODGOVORNOG ISTRAŽIVANJA I INOVACIJA – MOGUĆNOST PRIMENE U SRBIJI 163

Dijana Štrbac , Đuro Kutlača , Dušica Semenčenko
OPEN SCIENCE POLICY IN SERBIA AS AN ASPECT OF RESPONSIBLE RESEARCH AND INNOVATION 169

LOGISTIKA I LANCI SNABDEVANJA/ LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

Miloš Ružić , Dražen Popović , Milorad Vidović , Dušan Bešić
A SIMULATION-OPTIMIZATION APPROACH FOR ASSESSING A 3PL'S LAST-MILE DELIVERY
DISRUPTION FROM A NEW CLIENT ACQUISITION 177

Badri Toppur , S. Bharadwaj
FACILITY LOCATION USING QUADRATIC ASSIGNMENT PROBLEM 183

Jovko Jaćimović , Branka Dimitrijević , Žarko Iličić , Mihailo Ristić , Vladimir Jovanović
FAZI VIŠEKRITERIJUMSKI MODEL ZA IZBOR BLOKČEJN TEHNOLOGIJE – PRIMENA U LANCIMA
SNABDEVANJA 189

Snežana Tadić , Milovan Kovač , Mladen Krstić
AN APPROACH FOR DETERMINING TIME ACCESS RESTRICTION MEASURES IN CITY LOGISTICS 195

Miloš Spasić , Marinko Maslarić , Svetlana Nikoličić , Dejan Mirčetić , Gabriel Fedorko
A PRELIMINARY REVIEW OF THE LITERATURE INVESTIGATING SERIOUS GAMES IN LOGISTICS 201

Md Abu Helal , Alain Bensoussan , Viswanath Ramakrishna , Suresh Sethi
A RIGOROUS MATHEMATICAL MODEL OF STOCHASTIC INVENTORY POLICY WITH BACKLOG SALES
AND GENERAL DEMAND DISTRIBUTIONS 207

Ivan Brezina , Juraj Pekár , Marian Reiff
COMPARISON OF PYTHON AND GAMS OPTIMIZATION SOFTWARE TOOLS FOR CAPACITATED
VEHICLE ROUTING PROBLEM 213

Dražen Popović , Milica Mitrović , Milorad Vidović , Gordana Radivojević
OPTIMIZACIJA NIVOVA PORUČIVANJA U UPRAVLJANJU ZALIHAMA PRIMENOM ARENA
SIMULACIONOG MODELA 219

Vukašin Pajić , Milan Andrejić , Milorad Kilibarda
EVALUATION AND SELECTION OF KPI IN PROCUREMENT LOGISTICS USING SWARA-QFD APPROACH 225

Mladen Krstić , Snežana Tadić , Slobodan Zečević
ANALIZA EFIKASNOSTI EVROPSKIH KOPNENIH TRIMODALNIH TERMINALA 231

Nenad Bjelić , Milorad Vidović , Branislava Ratković
QMP AND HEURISTIC APPROACH IN SOLVING AISLE CONGESTION PROBLEM BY REALLOCATING
GOODS WITHIN AN ORDER PICKING ZONE 237

Katarina Vukadinović , Branka Dimitrijević , Ivana Kunc , Miloš Nikolić , Branislava Ratković
EFFICIENCY ANALYSIS OF WASTE RECEPTION FACILITIES FOR BILGE WATER COLLECTION ON THE
DANUBE RIVER 243

MATEMATIČKO PROGRAMIRANJE/ MATHEMATICAL PROGRAMMING

Miruna Beldiman , Andrei Halanay
A CONTINUOUS PROGRAMMING PROBLEM 251

MEKO RAČUNARSTVO/ SOFT COMPUTING

Jelena Pejčić , Milan Cicvarić , Pavle Milošević , Aleksandar Rakićević , Ana Poledica
PREPOZNAVANJE NADARENIH UČENIKA PRIMENOM FAZI SISTEMA ZAKLJUČIVANJA 259

Miloš Stojanović , Aleksandar Rakićević , Pavle Milošević
PRIMENA VEŠTAČKIH NEURONSKIH MREŽA ZA PREDVIĐANJE CENOVNOG TRENTA AKCIJA NA OSNOVU FUNDAMENTALNE I TEHNIČKE ANALIZE 265

MENADŽMENT/ MANAGEMENT

Stefan Zdravković , Jelena Peković , Aleksandar Jovanović
UTICAJ IZBEGAVANJA NEIZVESNOSTI NA PRIHVATANJE STRANIH BRENDOVA- MEDIJATORSKI EFEKAT REFERENTNIH GRUPA 273

NAUKA O PODACIMA/ DATA SCIENCE

Slobodan Ružić , Bojana Opačić , Petar Zečević , Aleksandra Ružić
METOD ZA SUBOPTIMALNO KLASTEROVANJE VIŠEDIMENZIONIH PRIMERA BAZIRAN NA MAKSIMALNOM POLUPREČNIKU KLASTERA I ZA IZBOR REFERENTNIH PREDSTAVNIKA FORMIRANIH KLASTERA 281

Sladjana Jankovic , Stefan Zdravković , Dušan Mladenović , Snežana Mladenović , Ana Uzelac
PREDIKCIJA OBIMA SAOBRAČAJA KORIŠĆENJEM REGRESIONIH STABALA ODLUČIVANJA 287

Ana Uzelac , Stefan Zdravković , Sladjana Jankovic , Dušan Mladenović , Ivana Andrijić
PREDIKCIJA ČASOVNOG PROTOKA VOZILA KORIŠĆENJEM METODA BIG DATA ANALITIKE 293

Sandro Radovanović , Milan Radojičić , Boris Delibašić , Aleksandar Đoković
IZBOR AKCIJA U FUDBALU NA OSNOVU PODATAKA 299

Sanja Mosić , Ivana Dragović , Bratislav Petrović
PREPOZNAVANJE SAOBRAČAJNIH ZNAKOVA KORIŠĆENJEM KONVOLUTIVNE NEURONSKE MREŽE 305

POSLOVNA ANALITIKA/ BUSINESS ANALYTICS

Miroslav Hudec , Patrik Polaček
LINGUISTICALLY SUMMARIZING AND VISUALIZING INFORMATION FROM DATA WAREHOUSES 313

PRIMENE OI U GRAĐEVINARSTVU/ OR APPLICATIONS IN CIVIL ENGINEERING

Nevena Simić , Nataša Prašćević , Marija Ivanović
PRIMENA AHP METODE VIŠEKRITERIJUMSKE OPTIMIZACIJE ZA IZBOR KRANA NA VELIKIM INVESTICIONIM PROJEKTIMA 321

Ljubo Marković , Ljiljana Milić Marković
BIM U GRAĐEVINARSTVU 327

Sandra Kosić-Jeremić , Maja Ilić , Snježana Maksimović
EFIKASNOST ONLINE PRIPREMNE NASTAVE ZA UPIS NA TEHNIČKE FAKULTETE NA PRIMJERU
ARHITEKTONSKO-GRAĐEVINSKO-GEODETSKOG FAKULTETA U BANJOJ LUCI 333

Slavoljub Tomić , Slobodan Pandžić
MOGUĆNOST IZRADE GEODETSKIH PODLOGA SAOBRAĆAJNICA PRIMENOM „LOW COST“
FOTOGRAMETRIJSKIH REŠENJA 339

Dragan Nikolic , Goran Ćirović , Snežana Mitrović , Olivera Jeremić
PRIMENA GENETSKIH ALGORITAMA PRI OPTIMIZACIJI GREDNIH NOSAČA OD BETONA ULTRA
VISOKIH ČVRSTOĆA 345

Dragana Veselinović , Jasmina Dražić , Igor Peško , Vladimir Mučenski
PREFABRIKACIJA U KONTEKSTU NAPREDNIH TEHNOLOGIJA GRAĐENJA 351

Marina Nikolić Topalović, Goran Ćirović
VREDNOVANJE FASADNIH OBLOGA U FAZI PROJEKTOVANJA SA ASPEKTA UTICAJA NA ŽIVOTNU
SREDINU 357

Marina Nikolić Topalović, Goran Ćirović , Katarina Krstić
UTICAJ TERMOIZOLACIONIH MATERIJALA NA EMISIJU GASOVA SA EFEKTOM STAKLENE BAŠTE 363

PRIMENE OI U ODBRANI/ OR APPLICATIONS IN MILITARY DEFENCE

Đorđe Đukić , Aleksandar Petrović
VREDNOVANJE KRITERIJUMA ZA IZBOR SISTEMA AUTOMATIZACIJE U VAZDUŠNOM OSMATRANJU,
JAVLJANJU I NAVOĐENJU (VOJIN) PRIMENOM AHP METODE 371

Nebojša Nikolić
DATA-DRIVEN ACCIDENT CAUSATION MODELING FOR MILITARY WAREHOUSES 377

Dejan Nikolić , Vlada Mitić , Milan Kovačević
MOGUĆNOST PRIMENE GEOGRAFSKIH INFORMACIONIH SISTEMA I ANALITIČKI HIJERARHIJSKOG
PROCESA PRI IZBORU LOKACIJE KOMANDNOG MESTA U VOJNIM OPERACIJAMA 383

Srdjan Dimić , Milan Kankaras , Vlada Mitić
MODEL OF SELECTION OF THE BEST SCIENTIFIC RESEARCH PROJECT IN THE MINISTRY OF
DEFENSE AND THE SERBIAN ARMY 389

SAOBRAĆAJ, TRANSPORT I KOMUNIKACIJE/ TRAFFIC, TRANSPORTATION AND COMMUNICATION

Miroslav Prokić , Katarina Halaj , Mira Paskota
UČINAK ŽELEZNIČKOG SISTEMA I NJEGOVE DETERMINANTE: ANALIZA GLAVNIH KOMONENTI 397

Doroteja Timotić , Bojana Mirković , Gordana Savić
THE OPERATIONAL EFFICIENCY ANALYSIS OF AIRPORTS WITH TWO-RUNWAY SYSTEM 403

Sreten Jevremović , Milica Šelmić , Ana Trpković
KLASIFIKACIJA SAOBRAĆAJNIH ZNAKOVA PRIMENOM KONVOLUCIONIH NEURONSKIH MREŽA 409

James Pickering , Jack Whitaker , Bradley Glazer , Keith J Burnham
AN INVESTIGATION INTO THE CLOSER RUNNING OF AUTONOMOUS TRAINS 415

Milica Šelmić , Ivana Jovanović , Miloš Nikolić
KOMPARATIVNA ANALIZA METAHEURISTIKA ZA REŠAVANJE PROBLEMA LOCIRANJA SENZORA NA
TRANSPORTNOJ MREŽI 421

Jelena Kajalić , Nikola Čelar , Stamenka Stanković , Anica Kocić
PRIMENA LOGISTIČKE REGRESIJE PRI UTVRĐIVANJU PRIPADNOSTI VOZILA PLOTUNU ZA
NEZASIĆENA STANJA 427

Milica Kalić , Slavica Dožić , Danica Babić
MODELI ZA PROGNOZU BROJA PUTNIKA NA AERODROMU TIVAT 433

Slobodan Mitrović , Svetlana Čičević , Valentina Radojičić , Goran Marković
ONLINE VIDEO STREAMING SERVICE ADOPTION BY YOUNGER GENERATION IN SERBIA 439

Branka Mikavica , Aleksandra Kostić-Ljubisavljević , Dražen Popović
A SECURITY-DRIVEN APPROACH TO THE AUCTION-BASED CLOUD SERVICE PRICING 445

Ivana Vukićević Biševac , Katarina Vukadinović
RASPOREĐIVANJE LUČKIH RADNIKA PRIMENOM GENETSKOG ALGORITMA 451

Slavica Dožić , Branka Dimitrijević , Milica Kalić
METODOLOŠKI OKVIR ZA ODREĐIVANJE INDEKSA BEZBEDNOSTI AVIO-KOMPANIJA 457

SIMULACIJA I STOHAŠTIČKI MODELI/ SIMULATION AND STOCHASTIC MODELS

Marko Stokić , Marko Đogatović
DEVELOPMENT AND VALIDATION OF E-BUS SIMULATION MODEL 465

SOFTVER ZA OI/ OR SOFTWARE

Milan Stanojević , Bogdana Stanojević
MATHEMATICAL OPTIMIZATION IN LUA PROGRAMMING LANGUAGE ENVIRONMENT 473

Tatjana Davidović , Luka Matijević
MATHEURISTICS BASED ON VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH 479

STATISTIČKI MODELI/ STATISTICAL MODELS

Milica Maričić , Veljko Jeremić , Marina Dobrota
INTERPERSONAL RELATIONSHIPS WITH STUDY GROUP PEERS AS A PREDICTOR OF BEHAVIOUR
AND PARTICIPATION IN CLASS 487

Vladimir Vasić
POTENCIJALNA PRISTRASNOST PRI OCENJIVANJU PARAMETARA – TAMNA STRANA NEDOSTAJUĆIH
PODATAKA 493

TEORIJA IGARA/ GAME THEORY

Zuzana Čičková , Patrícia Holzerová
DUOPOLY SPATIAL MODEL WITH A LIMITED QUANTITY OF OFFERED PRODUCTS 501

Marija Kuzmanović
EVOLUCIONA DINAMIKA PONAŠANJA STANOVNIŠTVA TOKOM PANDEMIJE COVID-19 507

**VIŠEKRITERIJUMSKA ANALIZA I OPTIMIZACIJA/
MULTICRITERIA ANALYSIS AND OPTIMIZATION**

Ana Krstić, Predrag Mimović
EVALUACIJA I RANGIRANJE DRŽAVA PREMA EFIKASNOSTI PUBLIKOVANJA NAUČNIH RADOVA 515

Sanja Puzović, Jasmina Vesić Vasović, Vladan Paunović, Zoran Nešić
A HYBRID MCDM FRAMEWORK FOR SOLVING THE PROJECT MANAGEMENT SOFTWARE SELECTION PROBLEM 521

Draženko Glavić, Marina Milenković, Miloš Mladenović
PROMETHEE R-REJTING UMETO RANGIRANJA - PRIMER SLUČAJA IZBORA SISTEMA ZA NAPLATU PUTARINE - 527

Analiza performansi

Performance Analysis



OCENA RELATIVNE EFIKASNOSTI ZDRAVSTVENIH SISTEMA EVROPSKIH DRŽAVA U BORBI PROTIV PANDEMIJE

ASSESSMENT OF THE RELATIVE EFFICIENCY OF EUROPEAN COUNTRIES HEALTH SYSTEMS IN THE FIGHT AGAINST A PANDEMIC

MINJA MARINOVIĆ¹, MILENA POPOVIĆ¹, BISERA ANDRIĆ GUŠAVAC¹, GORDANA SAVIĆ¹

¹ Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, Beograd, minja.marinovic@fon.bg.ac.rs

Rezime: Cilj ovog rada predstavlja analizu efikasnosti evropskih zemalja u borbi sa virusom COVID 19. U istraživanju je korišćena metoda analize obavljanja podataka (DEA), koja omogućava uključivanje svih parametara posmatranog problema. Imajući u vidu karakteristike i specifičnost samog problema, DEA daje ocenu relativne efikasnosti posmatranih jedinica odlučivanja (evropskih zemalja), za koje postoje jasni i javni podaci o broju obolelih, testiranih i izlečenih osoba. Za merenje efikasnosti su korišćeni klasično izlazno orijentisan CCR DEA model i modifikovani CCR DEA model. Na osnovu dobijenih rezultata, identifikovane su relativno efikasne i neefikasne zemlje i izvršeno je njihovo rangiranje. S obzirom na sve veći broj zaraženih osoba ovim virusom, rezultati dobijeni u ovom istraživanju, delimično ukazuju i na slabosti zdravstvenih sistema, pa se preporučuje veći stepen odgovornosti i angažovanja nadležnih organa. Treba napomenuti da je svaka zemlja imala pravo da donosi odluke i da bira način borbe protiv samog virusa, pa su i dobijeni rezultati u skladu sa ovom napomenom.

Ključne reči: Zdravstveni sistem, COVID 19, Analiza obavljanja podataka.

Abstract: The aim of this paper is to analyze the effectiveness of European countries in the fight against the COVID 19 virus. For the purposes of the analysis, Data Envelopment Analysis (DEA) method which allows the inclusion of all parameters of the observed problem is used. Having in mind the characteristics and specificity of the problem itself, DEA gives an assessment of the relative efficiency of the observed decision-making units (European countries), for which there are clear and public data on the number of infected tested and cured persons. The classical output-oriented CCR DEA and modified CCR DEA models were used to measure efficiency. Based on the obtained results, relatively efficient and inefficient countries were identified and ranking was performed. Considering the circumstances of the growing number of people infected with this virus, the results obtained in this study, in part, indicate the weaknesses of health systems, so it is recommended a greater degree of responsibility and engagement of the authorities. It should be noted that each country had the right to make decisions and choose the way to fight the virus itself, so the results obtained are in line with this note.

Keywords: Healthcare system, COVID 19, Data Envelopment Analysis.

1. UVOD

Sve svetske ekonomije i industrije verovatno nisu mogle da predvide uticaj jednog virusa i ovakav scenario na globalnom nivou za tako kratko vreme. Pojavom korona virusa (COVID 19) i njegovim brzim širenjem, kao i činjenicom o nedovoljno tačnim i istraženim informacijama, pažnja svih zemalja sveta je preusmerena na ovaj virus. Svetska zdravstvena organizacija (SZO) je u prvoj polovini marta (11.03.2020) proglasila pandemiju na globalnom nivou. I pre ovog datuma je virus počeo da se širi širom planete, ali su restriktivne mere uvedene tek nakon proglašenja globalne pandemije. Svaka zemlja za sebe je pokušavala da pronađe optimalan način borbe u cilju očuvanja ljudskih života sa jedne strane, i ekonomije sa druge strane. Broj obolelih raste iz dana u dan, i teško je predvideti dalji tok širenja ovog virusa. Ozbiljnost ovog virusa na globalnom nivou se najbolje oslikava u broju zaraženih osoba, koji je do 20.6.2020 godine iznosio 9.067.559 prema podacima sa Worldometers sajta (<https://www.worldometers.info>).

U ovom radu je ispitivana relativna efikasnost zdravstvenih sistema izabranih država u Evropi u borbi protiv virusa COVID 19. Koncept efikasnosti zdravstvenog sistema se može predstaviti prilično jednostavno, i to kao odnos potrošenih resursa (inputa zdravstvenog sistema) i neke mere vrednovanih rezultata zdravstvenog sistema koje stvaraju izabrani ulazi (World Health Organization, 2016). Bilo kakav neuspeh u postizanju maksimuma u odnosu na date ulaze se smatra neefikasnošću (Jacobs i dr, 2006). DEA metoda se često

koristi za ocenu relativne efikasnosti zdravstvenih sistema. Merenje efikasnosti zdravstvenih sistema nije lak zadatak, jer se prvo analiziraju korišćeni izlazi, a tek nakon toga ulazi koji su doveli do tih izlaza (Radojičić i dr., 2020). Autori (Radojičić i dr., 2020) su dali detaljan pregled objavljenih radova koji su imali za cilj primenu DEA metode za merenje efikasnosti zdravstvenih sistema. U ovom radu autori su istakli istraživanje sprovedeno u radu (Hollingsworth, 2008) gde je rečeno da se najveći broj istraživanja bavi ispitivanjem efikasnosti zdravstvenih ustanova jedne zemlje, a da se manji broj istraživanja bavi ispitivanjem efikasnosti zdravstvenih sistema različitih država. Često se u radovima kombinuje DEA metoda sa još drugim metodama za ispitivanje efikasnosti zdravstvenih sistema zemalja (Jalali Sepehr i dr., 2019; Gearhart, 2016; Top, 2020). Tokom poslednjih meseci, stanovnici i vlade u većini država, bile su pred izazovom brzog širenja virusa COVID-19 i suočene sa njegovim posledicama (Ghasemi i dr., 2020). Istraživači su širom sveta pristupili analizi ovog problema kako sa medicinskog aspekta, tako i sa aspekta primene širokog spektra metoda za analizu i predloge rešavanja problema efikasne borbe protiv virusa i njegovih posledica. U okviru pretraživača Scopus se na osnovu ključne reči za pretragu „Covid 19“ dobija više od 19500 rezultata (Scopus, 2020), a broj objavljenih radova raste neprestano. U nastavku je detaljnije predstavljeno nekoliko radova koji se bave primenom DEA metode u istraživanjima vezanim za virus COVID 19 i njegove posledice.

Autori (Ghasemi i dr., 2020) naglašavaju da je važno imati na umu da je bolest nova u ljudskom društvu, i kao rezultat toga, istraživanja su tek počela i da je to potrebno uzeti u obzir kada se bira metoda za procenu efikasnosti države i vlada u ovoj specifičnoj pandemiji. U pomenutom radu autori su analizirali način borbe vlada određenih zemalja (19 izabranih za analizu) i primenili su dinamičku metodu obavljanja podataka. Na ovaj način odredili su performanse zemalja u dve dimenzije: neefikasnost u prevenciji širenja virusa i neefikasnost prevencije smrti zaraženih od virusa. U radu (Ghasemi i dr., 2020) autori formulišu dva modela. U prvom modelu kojim se određuje neefikasnost u prevenciji širenja virusa kao ulazi se uzimaju veličina populacije i gustina naseljenosti, a za (neželjeni) izlaz se uzima broj zaraženih virusom (potvrđeni slučajevi). U drugom modelu se određuje neefikasnost prevencije smrti zaraženih od virusa, a kao ulazi su uzeti: neefikasnost zemalja u prevenciji širenja virusa (rezultat iz prvog modela), veličina populacije i populacija starijih od 65 godina (% od ukupne populacije). Neželjeni izlaz koji je odabran u analizi je broj potvrđenih smrtnih slučajeva izazvanih virusom.

Autori u još jednom radu koji se bavi primenom DEA metode (Shirouyehzad i dr., 2020) ocenjuju performanse najozbiljnije pogođenih zemalja pandemijom virusa i lečenjem zaraženih. Istraživanje je sprovedeno kroz dva koraka, gde je u prvom koraku rešavan DEA model korišćenjem dva ulaza: gustina naseljenosti i zdravstveni indeks koji je izračunat na osnovu proseka 13 međunarodnih ključnih zdravstvenih kapaciteta - nacionalno zakonodavstvo, politika i finansiranje; koordinacija i komunikacija nacionalnih kontaktnih tačaka; nadzor; odgovor; pripremljenost; komunikacija o riziku; ljudski resursi; laboratorija; tačke ulaska; zoonotski događaji; bezbednost hrane; hemijski događaji; radionuklearna vanredna stanja (IHRCCS, 2020). Potvrđeni slučajevi zaraze su korišćeni kao izlaz, a primenjen je BCC model.

Rad je organizovan na sledeći način. Nakon uvodnog poglavlja i pregleda literature, u poglavlju dva su predstavljeni osnovni koncepti metode analiza obavljanja podataka koja je korišćena za analizu. U poglavlju tri su prikazani dobijeni rezultati istraživanja, dok su zaključna razmatranja kao i pravci daljeg istraživanja prikazani u poglavlju četiri.

2. ANALIZA OBAVIJANJA PODATAKA - DEA

DEA se može smatrati specijalno dizajniranom neparаметarskom tehnikom za merenje efikasnosti homogenog skupa jedinica o kojima se odlučuje – DMU (Decision Making Units) koje koriste raznorodne ulaze za proizvodnju raznorodnih izlaza (Charnes i dr., 1978). Na osnovu primene DEA i dobijenih rezultata određuje se koliko su pojedine DMU neefikasne u odnosu na one koje su efikasne, odnosno da li se nalaze na granici efikasnosti. Ukoliko pretpostavimo da se ocenjuje skup od n DMU, tada svaka od ovih jedinica generiše s različitih vrsta izlaza trošeći m različitih vrsta ulaza. Suština DEA modela u određivanju efikasnosti jedinice k -te DMU leži u maksimizaciji njenog stepena efikasnosti. Međutim, stepen efikasnosti bilo koje jedinice odlučivanja populacije ne sme biti veći od 1, i težinski koeficijenti ulaza i izlaza moraju biti veći ili jednaki nuli (Vincová, 2005) ukoliko se posmatra ulazno orijentisani model. Težnja kod ulazno orijentisanog modela je da se proizvede ista količina izlaza koristeći što manje količine ulaza. Ukoliko je težnja menadžmenta jedinica u posmatranom skupu usmerena ka povećanju izlaza koji se generišu, koristi se izlazno orijentisani DEA model.

Osnovni CCR DEA model (Charnes i dr., 1978) izlazne orijentacije, pod pretpostavkom konstantnog prinosa na obim, za određivanje efikasnosti DMU k se može definisati na sledeći način (1-5):

$$(Max) \theta_k + \varepsilon \left(\sum_{r=1}^s s_r^+ + \sum_{i=1}^m s_i^- \right) \quad (1)$$

p.o.

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = x_{ik}, \quad i = 1, \dots, m \quad (2)$$

$$-\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} + s_r^+ + \theta y_{rk} = 0, \quad r = 1, \dots, s \quad (3)$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$s_r^+ \geq 0, \quad r = 1, \dots, s, \quad s_i^- \geq 0, \quad i = 1, \dots, m, \theta_k - \text{neograničeno} \quad (5)$$

gdje su: x_{ik} - posmatrani iznos ulaza i -te vrste za k -tu DMU ($x_{ik} > 0$); y_{rk} - posmatrani iznos izlaza r -te vrste za k -tu DMU ($y_{rk} > 0$); θ_k - relativna efikasnost DMU k , pakazuje za koliko je proporcionalno potrebno da DMU k poveća svoje izlaze da bi postala efikasna. Pri rešavanju CCR DEA modela izlazne orijentacije, Ukoliko je DMU k proglašena relativno efikasnom jedinicom $\theta_k = 1$, u suprotnom, $\theta_k \geq 1$ ali se vrlo često prikazuje recipročna vrednost $0 \leq 1/\theta_k \leq 1$; λ_j težinski koeficijent za j -tu DMU koji pokazuju koje su jedinice uzorne za neefikasnu DMU. Ako je DMU k efikasna samo je $\lambda_k \geq 0, k = j$; $s_r^+, r = 1, \dots, s, s_i^-, i = 1, \dots, m$ izravnavajuće promenljive koje pokazuju za koliko je potrebno povećati r -ti izlaz ili smanjiti i -ti ulaz (Martić i Savić, 2001). DMU k je relativno efikasna ako i samo ako važi: $\theta_k = 1, s^+ = 0, s^- = 0$ (Savić, 2012).

Ciljane optimalne vrednosti odnosno projekcije ulaza i izlaza koje neefikasna DMU k treba da postigne da bi postala efikasna se mogu izračunati iz ograničenja modela (2) i (3), respektivno. Jednačina (6) prikazuje na koji način se može odrediti vrednost ulaza, a jednačina (7) na koji način se može odrediti vrednost izlaza kompozitne uzorne jedinice.

$$x_{ik}^* = \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} = x_{ik} - s_i^-, \quad i = 1, \dots, m \quad (6)$$

$$y_{rk}^* = \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} = \theta y_{rk} + s_r^+, \quad r = 1, \dots, s \quad (7)$$

3. EMPIRIJSKA STUDIJA

Analiza zaraženosti COVID 19 virusom u Evropi obuhvatila je analizu i sistematizaciju podataka o 42 evropske zemlje u periodu od početka pandemije do 22.6.2020. godine. Velika Britanija, Španija, Švedska i Holandija su isključene iz analize, jer te zemlje ne vode preciznu statistiku o broju izlečenih osoba. Od prikupljenih podataka za analizu, potrebno je naglasiti da je ukupna populacija za analizu bila preko 558 miliona stanovnika. Ukupan broj zaraženih COVID 19 virusom u odnosu na broj urađenih testova iznosi 1.244.692, od čega je preko 70% izlečenih. Potrebno je napomenuti da je od ukupnog broja preminulih skoro 50% imalo preko 75 godina, dok je mlađih od 44 godine bilo značajno manje (oko 4%). Takođe se pokazalo da je ovaj virus imao najmanji uticaj na tinejdžere (0.06%) („Worldometers“, 2020). U radu je ispitivana efikasnost odabranih evropskih zemalja u borbi protiv virusa u zavisnosti od njihovog bruto domaćeg proizvoda po glavi stanovnika za 2019. godinu („Tradingeconomics“, 2020), kao i broja stanovnika. Svakako je jasno da su bolje razvijene Evropske zemlje imale mnogo veći broj testiranih stanovnika, međutim, dobijeni rezultati su ipak pokazali da visok BDP ne garantuje uvek i efikasnost u borbi protiv virusa.

Na osnovu pregleda literature, dostupnih podataka o pandemiji korona virusom, kao jedinice odlučivanja izabrane su 42 države u Evropi (Tabela 2). Za ocenu efikasnosti korišćen je klasičan izlazno orijentisan CCR DEA model, a izabrani parametri su: Ulazi: (1) Bruto domaći proizvod (BDP) po glavi stanovnika – U1; (2) Broj stanovnika tj. populacija – U2. Izlazi: (1) Broj obolelih tj. pozitivnih predstavljen recipročno – I1; (2) Broj testiranih – I2; (3) Broj izlečenih od virusa – I3.

Ulaz U1 predstavlja visinu bruto domaćeg proizvoda po glavi stanovnika za 2019. godinu. Po mišljenju autora veličina BDP-a bi trebalo da ima direktan uticaj na efikasnost borbe jedne zemlje sa pandemijom, jer se smatra da će biti proporcionalna ulaganja i u zdravstveni sistem. Populacija jedne zemlje, odnosno njen broj stanovnika predstavlja ulaz U2. Što se tiče izlaza, izlaz I1 se odnosi na broj obolelih od korona virusa, (korišćena je recipročna vrednost), izlaz I2 predstavlja broj testiranih osoba od virusa. Na kraju, izlaz I3 predstavlja broj oporavljenih osoba tj. broj izlečenih od virusa. Nemoguće je izvršiti poređenje zemalja korišćenjem DEA metode na osnovu različitih parametara pa su iz analize izostavljene one zemlje za koje nisu bili dostupni podaci o izabranim izlazima.

Za rešavanje analiziranog problema korišćen je DEA-Solver LV8.0. (DEA Solver, 2019). Rezultati deskriptivne statistike i korelaciona analiza između parametara dati su u Tabeli 1.

Tabela 1: Deskriptivna statistika parametara

	U1	U2	I1	I2	I3
Max	178412	84314334	0,0122	5029696	182893
Min	2897	33929	0,000004	900	81
Prosek	33047,9	13288185	0,00089	628402	21171,5
St.Dev.	33992,6	21604387	0,00236	1117148	44164,4
<i>Spearman's rho korelacija</i>					
U1	1	-0,11093	-0,02949	-0,01165	-0,01241
U2	-0,11093	1	0,912519	0,86146	0,89421
I1	-0,02949	0,912519	1	0,931911	0,971584
I2	-0,01165	0,861464	0,931911	1	0,96075
I3	-0,01241	0,894207	0,971584	0,96075	1

Negativna vrednost koeficijenta korelacija između izlaznih parametara I1-I3 sa U1, pokazuje da visina BDP-a ne utiče direktno na broj obolelih. Pri izboru parametara za analizu, autori ovog rada su očekivali da će visina BDP-a imati jak uticaj na efikasnost zemalja u borbi sa pandemijom, što se na osnovu rezultata analize nije pokazalo. Istraživanja koja će biti sprovedena nakon završetka pandemije sigurno će uključivati i neke druge faktore sem bogatstva zemlje ili npr. procenta ulaganja u zdravstvo, jer je očigledno da postoji i niz drugih faktora koji utiču na efikasnost borbe sa pandemijom jedne zemlje.

Na osnovu rezultata deskriptivne statistike, se vidi da najveći BDP po glavi stanovnika iznosi 178.412 evra (Monako), dok je najmanji svega 2.897 evra i odnosi se na Moldaviju. Najveći broj testiranih osoba procentualno takođe ima Monako (41.2%). Dobijena relativna efikasnost za svaku državu kao i rang koji joj je dodeljen na osnovu indeksa efikasnosti dati su u Tabeli 2. u koloni „DEA CCR model“.

Tabela2: Ocena efikasnosti država Evrope

Države	DEA CCR model		Modifikovani DEA CCR model		Države	DEA CCR model		Modifikovani DEA CCR model	
	Indeks efik.	Rang	Indeks efik.	Rang		Indeks efik.	Rang	Indeks efik.	Rang
Albanija	0,153	42	0,5810	38	Italija	1	1	1	1
Andora	1	1	1	1	Letonija	0,4992	25	0,8128	31
Jermenija	0,7668	17	1	1	Litvanija	1	1	1	1
Austrija	0,5509	20	0,9340	17	Luksemburg	1	1	1	1
Azerbejdžan	0,5773	19	0,8137	30	Malta	1	1	1	1
Belorusija	1	1	1	1	Moldavija	0,5032	24	0,5560	39
Belgija	0,8098	15	0,8098	32	Monako	1	1	1	1
BiH	0,2549	37	0,6847	35	Crna Gora	0,4439	28	0,8702	26
Bugarska	0,1778	39	0,5311	40	Makedonija	0,2477	38	0,3772	42
Hrvatska	0,1657	40	0,9245	21	Norveška	0,4541	27	0,9306	18
Kipar	0,1584	41	0,8357	29	Poljska	0,5419	21	0,8642	28
Češka	0,4712	26	0,7149	33	Portugalija	0,9863	13	1	1
Danska	1	1	1	1	Rumunija	0,3679	30	0,7033	34
Estonija	0,5352	22	0,8910	25	San Marino	1	1	1	1
Finska	0,3436	31	0,8680	27	Srbija	0,4405	29	0,9266	20
Francuska	0,3032	34	0,4637	41	Slovačka	0,3311	32	0,9112	23
Nemačka	0,7251	18	0,9130	22	Slovenija	0,309	33	0,9047	24
Grčka	0,2695	35	0,6040	37	Švajcarska	0,7713	16	0,9268	19
Mađarska	0,2679	36	0,6314	36	Turska	1	1	1	1
Island	0,8435	14	0,9901	16	Ukrajina	0,5064	23	1	1
Irska	1	1	1	1	Lihtenštajn	1	1	1	1

Kao što se iz Tabele 2 može videti, čak 12 država (Andora, Belorusija, Danska, Irska, Italija, Litvanija, Luksemburg, Malta, Monako, San Marino, Turska i Lihtenštajn) su efikasne. U skupu efikasnih država se našla i Italija, što je neočekivan rezultat, s obzirom da se nalazila u veoma teškoj situaciji u toku aprila i maja 2020. Međutim, Italija je efikasna i prema analizama u radu Shirouyehzad i dr, 2020., zahvaljujući velikom procentu testiranog stanovništva (7,3%) i velikom procentu oporavljenih (preko 75%). Broj zaraženih je ignorisan pošto bi uticao na smanjenje efikasnosti. Odmah iza su Portugalija (0.9863), Island (0.8435) i Belgija (0.8098). Države koje su daleko ispod željenog stanja (čak 19 od 42 zemlje) imaju indeks efikasnosti manji od 0,5. U cilju boljeg razumevanja dobijenih indeksa efikasnosti, kao i zašto dolazi do velike razlike u pogledu efikasnosti, izdvojene su dve zemlje sa približnim brojem stanovnika. Kao efikasna zemlja je izabrana Danska, dok je kao neefikasna izabrana Srbija (indeks efikasnosti 0,4405). Najveća razlika kod posmatranih zemalja se ogleda u broju testiranih osoba, gde je broj testiranih u Danskoj veći 2,57 puta u odnosu na Srbiju, dok je broj obolelih približno isti.

Projekcija je analiza koja je važna za relativno neefikasne jedinice odlučivanja. Na osnovu pokazatelja koji su dobijeni u ovoj analizi, uočava se koji ulazi i/ili izlazi se mogu povećati odnosno smanjiti i za koliko za svaku neefikasnu jedinicu odlučivanja, tako da ta jedinica odlučivanja postane relativno efikasna. S obzirom da je u ovom radu primenjen izlazno orijentisan model, neželjeni izlaz broj obolelih je potrebno smanjiti a ostale povećati. U tabeli 3. je prikazana deskriptivna statistika projekcija promena izlaza koje su potrebne da bi države u posmatranom skupu postale efikasne.

Tabela 3: Projekcija promena izlaza za posmatrane zemlje (deskriptivna statistika)

DEA CCR model	Smanjenje broja obolelih [%]	Povećanje broja testiranih [%]	Povećanje broja oporavljenih [%]
Srednja vrednost	63,01	207,30	389,17
Minimum	20,46	1,39	19,04
Maksimum	98,57	654,63	2455,06
Standardna devijacija	20,56	174,87	496,82
Modifikovani DEA CCR model	Smanjenje broja obolelih [%]	Povećanje broja testiranih [%]	Povećanje broja oporavljenih [%]
Srednja vrednost	61,62	50,67	45,78
Minimum	12,98	1,00	1,00
Maksimum	98,78	458,42	165,11
Standardna devijacija	29,23	90,11	44,95

U tabeli 3 se može videti da je prosečno potrebno smanjiti broj obolelih za 63.01%. Medijana ima približnu vrednost, što znači da su države relativno slično raspoređene u celom opsegu od 20.46% (Island) do 98.57% (Portugalija). U ovom momentu jedini način da se smanji broj obolelih je poštovanje preporuka zdravstvenih organizacija o merama prevencije (nošenje maski i držanje distance). Na primer, Portugaliji je potrebno manje od 2% da poveća broj testiranih da bi postala relativno efikasna. Srbija bi bila efikasna ukoliko bi imala 56% manje obolelih, 127% više testiranih i 168% više izlečenih osoba. U slučaju Albanije broj testiranih bi trebao da bude uvećan za čak 664,63%. Postavlja se pitanje da li je ovo tačno, jer se može zaključiti da više testiranih dovodi do većeg broja otkrivenih slučajeva zaraženih. Međutim, otkrivanje novih zaraženih dovodi do boljeg mapiranja žarišta zaraze i do boljeg upravljanja pandemijom. Sa druge strane, interesantno je da se najveće prosečne promene zahtevaju upravo za izlaz broj oporavljenih (povećanje od preko 3,8 puta). Ovakve promene dovode do apsurdne situacije koju je nemoguće realizovati, da broj oporavljenih bude veći od broja obolelih. Zbog toga je izvršena modifikacija osnovnog modela uvođenjem ograničenja projekcija za broj oporavljenih ne može biti veća od broja obolelih (jednačina (8)).

$$y_{3k}^* = \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{3j} \geq y_{1k} \quad (8)$$

Primenom modifikovanog modela (1-5,8) dobijeni su rezultati prikazani u koloni „Modifikovani DEA CCR model“ u Tabeli 1. Vidi se da su još tri države (Jermenija, Portugalija i Ukrajina) postale relativno efikasne, a indeks efikasnosti svih država je veći ili jednak od indeksa efikasnosti dobijenog primenom osnovnog CCR DEA modela. Pored toga, deskriptivna statistika projekcija izlaza dobijenih primenom modifikovanog CCR DEA modela je prikazana u donjem delu Table 3. Vidi se da su potrebne manje prosečne promene izlaza da bi države postale efikasne (i to smanjenje broja obolelih za prosečno 61%, povećanje broj testiranih za oko 50% i povećanje broja izlečenih za oko 45%). Na primer, Srbija bi prema ovim rezultatima bila relativno efikasna u borbi protiv virusa COVID 19 ukoliko bi imala u skladu sa prosekom 61% manje obolelih, ali broj testiranih stanovnika, odnosno izlečenih pacijenta bi trebalo da poveća samo za oko 8%. Ovo govori da bi trebalo da se više radi na politikama zaštite od širenja virusa i na

edukaciji stanovništva. Slično, za svaku državu bi se na osnovu rezultata mogle izvesti preporuke u kom pravcu da se usmeri zdravstvena zaštita. U svakom slučaju, izvedeni zaključci su delimično dati i na osnovu mišljenja autora, dok se kompletniji zaključci i analize mogu doneti tek nakon završetka pandemije i pristupa svim relevantnim podacima za sve zemlje.

4. ZAKLJUČAK

Veoma je teško precizno definisati od čega zavisi zaraženost virusom COVID 19. Činjenica je da se skoro svakog dana dobijaju nove informacije i zaključci na osnovu raznih istraživanja kada je u pitanju ovaj virus. U ovom radu korišćena je DEA metoda za analizu relativne efikasnosti evropskih zemalja u borbi sa virusom COVID 19. Nakon izvršene analize, zaključeno je da je skoro trećina zemalja relativno efikasno (12 od 42 zemlje). Međutim, prikazane rezultate treba uzeti sa rezervom, jer nisu sve posmatrane jedinice imale ista pravila vezana za određivanje broja testiranih osoba kao i uslovima koje je potrebno ispuniti da bi se osoba smatrala izlečenom (jedan ili više negativnih testova). Prema klasičnom izlazno orijentisanom CCR DEA modelu, čak 45% država na posmatranom uzorku ima indeks efikasnosti manji od 0.5. S obzirom na prirodu analiziranog problema, modifikacijom osnovnog modela i uvođenjem ograničenja da broj oporavljenih ne može biti veća od broja obolelih, postignute su manje prosečne promene izlaza da bi države postale efikasne.

Jedan od pravaca daljeg istraživanja će biti ispitivanje parametara koji bi mogli biti uključeni u analizu, a koji utiču na efikasnost zemlje u borbi protiv pandemije. Drugi pravac istraživanja predstavlja ispitivanje relativne efikasnosti u odnosu na ulaganja u zdravstveni sistem, dok bi treći pravac uključio definisanje vrednosti težinskih koeficijenata.

LITERATURA

- [1] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E., (1978). Measuring Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research*, 2 (6), 429-444.
- [2] DEA Solver LV 8.0. (2019), preuzeto sa: [http://extras.springer.com/2007/978-0-387-45281-4/DEA-SOLVER-LV8\(2014-12-05\).xism](http://extras.springer.com/2007/978-0-387-45281-4/DEA-SOLVER-LV8(2014-12-05).xism), 15/10/2019
- [3] Gearhart, R. (2016). The robustness of cross-country healthcare rankings among homogeneous OECD countries. *Journal of applied economics*, 19(1), 113-143.
- [4] Ghasemi, A., Boroumand, Y., & Shirazi, M. (2020). How do governments perform in facing COVID-19?
- [5] Hollingsworth B. The measurement of efficiency and productivity of health care delivery. *Health Econ.* 2008;17(10): 1107-1128. <https://doi.org/10.1002/hec.1391>
- [6] <https://tradingeconomics.com>
- [7] <https://www.worldometers.info/coronavirus/#countries>
- [8] IHRCCS, 2020. 13 International Health Regulations Core Capacity Scores, pristupljeno 27.06.2020. <https://apps.who.int/gho/data/node.imr.SDGIHR?lang=en>
- [9] Jacobs R, Smith P, Street A (2006). *Measuring efficiency in health care: analytic techniques and health policy*. Cambridge, CUP.
- [10] Jalali Sepehr, M., Haeri, A., & Ghousi, R. (2019). Evaluation of the OECD countries' healthcare system from the sustainable development perspective. *International Journal of Industrial Engineering & Production Research*, 30(4), 443-464.
- [11] Radojicic, M, Jeremic, V, Savic, G. (2020). Going beyond health efficiency: What really matters? *Int J Health Plann Mgmt.*; 35: 318– 338. <https://doi.org/10.1002/hpm.2914>
- [12] Savić, G. (2012). Komparativna analiza efikasnosti u finansijskom sektoru, Doktorska disertacija, Fakultet organizacionih nauka Univerziteta u Beogradu.
- [13] Scopus (2020), pristupljeno 27.06.2020. <https://www.scopus.com/>
- [14] Shirouyehzad, H., Jouzdani, J., & Khodadadi Karimvand, M. (2020). Fight Against COVID-19: A Global Efficiency Evaluation based on Contagion Control and Medical Treatment. *Journal of Applied Research on Industrial Engineering*, 7(1), 13-24.
- [15] Top, M., Konca, M., & Sapaz, B. (2020). Technical efficiency of healthcare systems in African countries: An application based on data envelopment analysis. *Health Policy and Technology*, 9(1), 62-68.
- [16] Tradingeconomics. (jun 2020). Preuzeto sa <https://tradingeconomics.com/>
- [17] Vincová, K. (2005). Using DEA models to measure efficiency. *Biatesc*, 13(8), 24-28.
- [18] World Health Organization. (2016). *Health system efficiency: how to make measurement matter for policy and management*. World Health Organization. Regional Office for Europe.
- [19] Worldometers. (jun 2020). Preuzeto sa <https://www.worldometers.info/coronavirus/>

*Ekološki menadžment i
upravljanje prirodnim resursima*

*Environmental Management and
Natural Resources Management*



PERCEPCIJA ŽENA O KLIMATSKIM PROMENAMA: STUDIJA SLUČAJA

WOMEN'S PERCEPTIONS OF CLIMATE CHANGE: A CASE STUDY

NATAŠA PETROVIĆ¹, KRISTINA STANOJEVIĆ², JELENA ANDREJA RADAKOVIĆ³, MARKO ČIROVIĆ⁴

¹ Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, Beograd, natasa.petrovic@fon.bg.ac.rs

² Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, Beograd, kristina.stanojevic992@gmail.com

³ Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, Beograd, jelenaandreja.radakovic@fon.bg.ac.rs

⁴ Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, Beograd, marko.cirovic@fon.bg.ac.rs

Rezime: Klimatske promene već više decenija predstavljaju jedno od glavnih ekoloških pitanja koje predstavlja predmet istraživanja kako nauke, tako i struke. Ovom pitanju sve više se dodaje još jedno, odnosno ono koje se odnosi na ulogu žena kao osetljive grupe koja je podložnija negativnom uticaju klimatskih promena. Imajući ovo u vidu, autori rada su uradili istraživanje koje je obuhvatilo 117 ispitanica iz Republike Srbije sa ciljem ispitavanja njihovih znanja, mišljenja i stavova o ovom globalnom problemu Planete. Rezultati istraživanja su obrađeni korišćenjem softverskog paketa SPSS 22. Na osnovu dobijenih rezultata našeg pilot istraživanja može se zaključiti da su ispitanice uopšteno dobro upoznate sa negativnim uticajima klimatskih promena na životnu sredinu, no da poseduju nedovoljno znanja o većoj osetljivosti žena na klimatske promene koje implicira i nedovoljno znanja o pravima žena i rodnoj ravnopravnosti koja se specifično odnose na rodne aspekte u okviru odgovora na klimatske promene i zaštitu životne sredine.

Ključne reči: Klimatske promene, percepcija žena o klimatskim promenama, održivi razvoj.

Abstract: For decades, climate change has been one of the main environmental issues that have been the subject of research by both science and the profession. Another issue is being added to this problem, ie one that refers to the role of women as a vulnerable group that is more susceptible to the negative impact of climate change. With this in mind, the authors of the paper conducted a study that included 117 respondents from the Republic of Serbia with the aim of examining their knowledge, opinions, and attitudes about this global problem of the Planet. The results of the research were obtained using the software package SPSS 22. Based on the results of our pilot study, it can be concluded that respondents are generally well aware of the negative climate change effects on the environment, but have insufficient knowledge about women's vulnerability to climate change, which implies insufficient knowledge about women's rights and gender equality. specifically addressing gender aspects in response to climate change and environmental protection.

Keywords: Climate change, women's perceptions of climate change, sustainable development.

1. UVOD

Globalno zagrevanje i posledične klimatske promene, predstavljaju najveće ekološke probleme sa kojima se suočava današnja civilizacija, ali i globalne izazove kako za današnje tako i buduće generacije ljudi, što dovodi problem globalnog zagrevanja i klimatskih promena u direktnu vezu sa održivošću. Iz ovih razloga se jedan od ciljeva nove Agende održivog razvoja 2030 (*Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*) (United Nations [UN], 2015) direktno odnosi na borbu protiv klimatskih promena - Cilj 13. *Preduzimanje hitnih akcija u borbi protiv klimatskih promena i njenih uticaja*: „Nema nijedne zemlje u svetu koja iz prve ruke nije iskusila drastične posledice klimatskih promena. Emisije gasova sa efektom staklene bašte su u porastu, i danas su za 50% veće nego 1990. godine. Dalje, globalno zagrevanje uzrok je dugotrajnih promena klimatskog sistema, što može dovesti do nepovratnih posledica ako odmah ne preduzmemo korake.” (Program Ujedinjenih nacija za razvoj Srbije, 2020). Ujedinjene nacije su prepoznale vezu između klimatskih promena i ljudskih prava kao važan korak u zaštiti osnovnih prava društava širom planete (United Nations Environment Programme [UNEP], 2015). „Iako klimatske promene ne diskriminišu i utiču na sve, žene i muškarci, zbog različitih društvenih uloga, mogu različito da iskuse posledice klimatskih promena, pri čemu su žene često nesrazmerno negativno pogođene ovim promenama. Žene, u poređenju sa muškarcima, često imaju ograničen pristup resursima, manji pristup pravdi, ograničenu

mobilnost i ograničen glas u kreiranju odluka i uticaju na politiku.” (United Nations Entity for Gender Equality and the Empowerment of Women [UN Women], n.d.). U ovome se posebno ističe, po autorki Alston (2014) da i pored toga što klimatske promene ne predstavljaju jedini faktor koji prouzrokuje glavno razaranje Planete, one predstavljaju glavni globalni izazov koji pogoršava rodnu neravnopravnost jer (Batool, Ali, Manzoor, & Mahmood, 2018; International Union for Conservation of Nature [IUCN], 2013; Masika, 2002):

- Žene predstavljaju osetljiviju grupu od muškaraca u odnosu na uticaj klimatskih promena jer predstavljaju većinu svetske siromašne populacije, te stoga proporcionalno više zavise od ugroženih prirodnih resursa.
- Razlika između muškaraca i žena može da se i vidi u njihovim različitim ulogama, odgovornostima, aktivnostima u procesima donošenja odluka, pristupu zemljištu i prirodnim resursima, mogućnostima i potrebama.
- Širom sveta žene imaju manje pristupa izvorima kao što su zemljište, krediti, poljoprivredni inputi, organizacione strukture za donošenje odluka, tehnologija, treninzi i ostale usluge koje mogu da poboljšaju njihov kapacitet da se prilagode klimatskim promenama.

Ovome govore u prilog i globalna istraživanja koja su pokazala da su žene i deca kao osetljive grupe 14 puta podložniji mogućim povredama ili smrti usled katastrofa koje su nastale kao direktna posledica klimatskih promena (68% svih katastrofa su prouzrokovane klimatskim promenama), pri čemu se ovaj efekat smanjuje ili čak nestaje kako se smanjuju socijalne nejednakosti između muškaraca i žena (Neumayer & Plümper, 2007). Pored velike stope mortaliteta, gubitka domova i sredstava za život, žene doživljavaju veće nematerijalne gubitke, jer predstavljaju objekat brojnih „sekundarnih” negativnih uticaja kao što su SGBV (seksualno nasilje i nasilje zasnovano na polu – eng. *sexual and gender-based violence*) i traume, gubitak ekonomskih mogućnosti, porast opterećenja na poslu, a koji su npr. zabeleženi na Solomonskim ostrvima - ostrvskoj državi u jugozapadnom Pacifiku posle Giza cunamija 2007. godine (World Bank, 2013). Dodatno treba naglasiti činjenicu da osetljivost žena na klimatske promene zavisi od brojnih faktora - društvenih, ekonomskih i ekoloških. Tako podaci govore da 70% od 1,3 milijarde stanovništva koji žive u uslovim siromaštva su žene koje preovlađuju u svetskoj proizvodnji hrane (50-80%), pri čemu poseduju samo 10% poljoprivrednog zemljišta (Osman-Elasha, 2020). Zato se jedan od prvih pet (od 17) ciljeva Agende održivog razvoja 2030 odnosi na rodnu ravnopravnost (Cilj 5) imajući u vidu da: „Osnaživanje žena i promovisanje rodne ravnopravnosti je od suštinskog značaja za brže postizanje održivog razvoja. Ukidanje svih oblika diskriminacije žena i devojčica ne samo da je osnovno ljudsko pravo, nego ima višestruki efekat na druga područja razvoja.” (Program Ujedinjenih nacija za razvoj Srbije, 2020). Posledično se sve više literature i istraživanja odnosi na rodno pitanje i pitanje pola kada se govori o klimatskih promenama jer „klimatska varijabilnost i klimatske katastrofe koje dovode do katastrofalnih iskustava govore o tome da su žene posebno ranjive za vreme i posle klimatskih događaja” (Alston, 2014; Enarson, 2009; Lambrou & Nelson, 2010; Lambrou & Piana, 2006; Neumayer & Pluemper, 2007).

Iz ovih razloga istraživački interes autora rada prezentovan u ovom istraživanju je usmeren na percepciju žena o klimatskim promenama u Republici Srbiji (studija slučaja). Mišljenje autora je da je ovo pitanje od posebnog značaja imajući u vidu da je Republika Srbija postmoderno tradicionalno patrijarhalno društvo u tranziciji u Jugoistočnoj Evropi koje podrazumeva potrebno sagledavanje položaja žena i rodni uloga koje odlikuju ovo društvo (Brunnbauer, 2002; Borojević et al., 2017; Stojanović-Jovanović & Jovanović, 2015).

2. KLIMATSKE PROMENE I PERCEPCIJA O KLIMATSKIM PROMENAMA

Zagrevanje klimatskog sistema je nedvosmislena činjenica, jer je evidentno da klimatske promene ne predstavljaju neki vremenski udaljeni problem, već se čovečanstvo suočava sa promenama klimatskih varijabli kao što su: porast temperature, kiše i česte suše, uragani i tajfuni (Auffhammer, Ramanathan, & Vincent, 2012; Lobell, Sibley, & Ortiz-Monasterio, 2012; Tripathi & Mishra, 2017). „Atmosfera i okean su se zagrejali, velike količine snega i leda su nestale, nivo mora je porastao, koncentracija gasova sa efektom stakle bašte u atmosferi se povećala. Svaka od tri poslednje dekade je bila sukcesivno toplija od bilo koje prethodne od 1850. godine. Efekti klimatskih promena prisutni su na svim kontinentima i svim okeanima” (Republički hidrometeorološki zavod [RHMZ], 2020). Takođe, klimatske promene predstavljaju pretnje ne samo u pogledu očekivanog porasta temperature i nivoa mora, već i zbog degradacije celokupne životne sredine u kojoj se pojavljuju (Norgaard, 1994). Kada je u pitanju Republika Srbija, analiza klimatskih promena na njenoj teritoriji pokazuje trend porasta temperature. Tako je 2018. godina bila najtoplija godina od kada postoje merenja u Srbiji. a poslednje decenije donele su češću pojavu suša i intenziviranje količine padavina. Analiza budućih klimatskih promena predviđa da će temperatura nastaviti da raste do kraja ovog veka do vrednosti koje je su prosečno više za oko 3 do 5°C u odnosu na temperature sredine prošlog veka.

Ovo će prouzrokovati veću destabilizaciju klimatskog sistema i progresivnu promenu klimatskih uslova povoljnih za pojavu ekstremnih toplotnih talasa, jakih sušnih epizoda i povećanje akumulacija padavina tokom ekstremnih događaja. Svakako u budućim periodima može se sa velikom verovatnoćom očekivati dalje probijanje temperaturnih i padavinskih rekorda, kako u regionima širom sveta tako i u Srbiji (Đurđević, Vuković, & Vujadinović Mandić, 2018). Iz ovih razloga u toku je izrada projekta nacionalne međusektorske Strategije borbe protiv klimatskih promena sa Akcionim planom od strane Ministarstva zaštite životne sredine. „Strategijom će biti uspostavljen nacionalni strateški i politički okvir borbe protiv klimatskih promena u skladu sa međunarodnim obavezama Srbije i njenim ciljevima smanjenja emisija gasova sa efektom staklene bašte” (Srbija i klimatske promene, 2020).

Kada se misli na percepciju, govori se o duboko usadenim verovanjima, na osnovu posedovanja ili nedostataka informacija koja individua ili grupa ima o određenoj temi, a gde posedovanje ili nedostatak takve informacija, dovodi do kreiranja stavova o određenoj temi koji rezultuju i posledičnim ponašanjem. Prvi autor koji je povezoao percepciju i klimatske promene je bio White (1945) koji se u svojim istraživanjima bavio faktorom percepcije prilikom posmatranja prirodnih katastrofa, preciznije percepcijom stanovništva prema riziku od poplava u Sjedinjenim Američkim Državama. O ovom fenomenu govore i brojni radovi kao npr. Hansen i koautora (2012) koji navode da jedan od glavnih razloga zašto svetska populacija stanovništva ne shvata klimatske promene predstavlja nedostatak i nerazumevanje lokalnih vremenskih paterna. Dalje, Leiserowitz (2006) ističe da nedostatak informacija globalne populacije o klimatskim promenama dovodi do odabira lošijih politika sa stanovišta borbe protiv klimatskih promena, kao i nepopularnosti zakona koji treba da zaustave ovaj štetan proces. Semenza i koautori (2008) zaključuju da nedostatak relevantnih informacija koje bi promenile percepciju stanovništva sprečava dobrovoljne promene u ponašanju građana, a samim tim vodi otporu i sprečava mitigaciju potencijalnih rizika od posledica klimatskih promena, kao i adaptaciju građana na nove klimatske uslove. Whitmarsh (2008) u svom istraživanju ispituje da li stanovništvo koje je neposredno iskusilo vremenske nepogode i katastrofe direktno izazvane klimatskim promenama ima bolju percepciju o klimatskim promenama (od onih koji to nisu). Zaključak istraživanja nedvosmisleno govori u prilog tome da oni koji su direktno bili pogođeni u ispitivanom slučaju poplava, su imali mnogo izraženije stavove o potrebi za zaustavljanjem klimatskih promena, jer je njihovo iskustveno saznanje dovelo i do adekvatne promene percepcije klimatskih promena.

Kada su u pitanju žene, treba istaći da se percepcija žena o klimatskim promenama smatra „ključnom za rešavanje negativnih uticaja klimatskih promena” (Adger 2003; Batoool, Ali, Manzoor, & Mahmood, 2018).

3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

U cilju dobijanja odgovora na postavljena istraživačka pitanja, sastavljen je elektronski upitnik u saradnji sa Centrom za ekološki menadžment i održivi razvoj Fakulteta organizacionih nauka Univerziteta u Beogradu. Upitnik je online distribuiran samo ženama imajući u vidu da one predstavljaju istraživački uzorak. Upitnik sadrži ukupno 48 pitanja, koja su podeljena u tri kategorije, zavisno od pitanja. Prvih pet pitanja odnose se na pitanja o opštim karakteristikama ispitanica (starost, mesto rođenja, mesto prebivališta, obrazovanje, zaposlenost), nakon čega se od 6-og do 11-og pitanja ispituje upoznatost ispitanica sa klimatskim promenama, njihovim efektima i uticaju na žensku populaciju. Sledeća sekcija pitanja, koja sadrži ukupno 37 pitanja, se odnosi na različite izjave koje se od strane ispitanica ocenjuju kao istinite (da) ili ne, a odnose se na različite moguće pojave i posledice klimatskih promena. Sve ispitanice su dobrovoljno popunile anonimnu anketu. Za analizu i obradu rezultata korišćena je deskriptivna statistika upotrebom statističkog paketa SPSS 22.

Ispitivanje je sprovedeno tokom maja i juna 2020. godine. Tokom ovog perioda prikupljeno je ukupno 117 odgovora ispitanica.

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Prosečna starost ispitanica je 26,48 godina (SD=7.89); najmlađa ispitanica ima 19 godina, dok je najstarija starosti od 55 godina. Podela ispitanica po definisanim starosnim kategorijama je sledeća:

- Od 15-24 godine: 65,81%,
- Od 25-34 godine: 20,51%,
- Od 35-44 godine: 7,69%,
- Od 45 i više godina: 5,98%.

Sve ispitanice su stanovnici Republike Srbije, dok je najviše ispitanica rođeno u Beogradu, čak 58 (49,57%), a preostalih 59 ispitanica (50,43%) je rođeno u drugim gradovima Republike Srbije. Beograd kao

mesto prebivališta navodi 81,20% ispitanica, dok 18,80% kao mesto stanovanja navodi druge gradove Republike Srbije. Zastupljenost ispitanica prema kategorijama nivoa obrazovanja i zaposlenosti je sledeća:

- Učenice srednje škole: 0,85%,
- Završena srednja škola: 4,27%,
- Studentkinje osnovnih akademskih studija: 63,25%,
- Studentkinje master akademskih studija: 7,69%,
- Studentkinje doktorskih akademskih studija: 4,27%,
- Završena viša škola: 0,85%,
- Završene osnovne akademske studije: 4,27%,
- Završene master akademske studije: 8,55%,
- Završene doktorske akademske studije: 5,98%.

Zaposlenost:

- Nezaposlene: 59,83%,
- Zaposlene: 35,04%,
- Samozaposlene: 5,98%.

U okviru grupe pitanja koja se odnosi na upoznatost ispitanica sa pojmom klimatskih promena, razlozima njihovog pojavljivanja i efektima, čak 94,02% je odgovorilo da zna šta su klimatske promene, dok 5,13% nije sigurno da zna šta se pod ovim pojmom podrazumeva, a svega 0,85% se izjasnilo da ne zna šta predstavljaju klimatske promene. Kao glavni razlog klimatskih promena usled povećanja koncentracije CO₂ prouzrokovane ljudskim aktivnostima, prepoznaje čak 87,18% ispitanica, dok preostalih 12,82% ispitanica nije sigurno ili ne zna da li je ovo glavni razlog pojave klimatskih promena. Ukupno 93 ispitanica (79,49%) veruje da klimatske promene utiču na njihov svakodnevni život i posao, dok 110 (94,02%) smatra da one mogu imati efekte na zdravlje ljudi i razvoj bolesti. Polovina ispitanica (50,43%) nije sigurna da li klimatske promene utiču više na žene, a 40,17% ispitanica veruje da njihov uticaj nije veći na žene, dok samo 9,40% misli da je uticaj klimatskih promena veći na žene. Ovi rezultati ukazuju da žene nisu sigurne ili čak ne percipiraju da klimatske promene utiču više na žene nego na muškarce. Neka od obrazloženja ispitanica o većem uticaju klimatskih promena na žene su sledeća: (1) „Klimatske promene više utiču na žene zbog nejednakosti polova, posebno u ruralnim delovima. Generalno, one su osetljivije, pa više pogađaju žene.” (2) „U globalu, žene imaju veću verovatnoću da dožive siromaštvo i imaju manje socioekonomske moći od muškaraca. To otežava oporavak od katastrofa koje pogađaju infrastrukturu, radna mesta i domaćinstvo.” (3) „Klimatske promene pogađaju žene više nego muškarce, jer, prvo, muškarci imaju bolji položaj u društvu, žene su siromašnije od muškaraca, itd.” Odgovori ispitanica na date izjave u upitniku su prikazani u Tabeli 1. Ispitanice su izjave ocenjivale kao tačne ili netačne (treća kategorija pitanja iz upitnika).

Tabela 1: Odgovori ispitanica na date izjave

Izjava	Tačno (%)	Netačno (%)	Rang
12. Obrazaci pojave kiša su se promenili u poslednjih 20 godina	94,02	5,98	6
13. Leta su sada toplija nego što su nekada bila	88,89	11,11	15
14. Zime su sada hladnije nego što su nekada bile	17,95	82,05	37
15. Asfaltne/asfaltirane površine uzrokuju promene u lokalnoj klimi	82,91	17,09	21
16. Promene monsuna su znak klimatskih promena	86,32	13,68	18
17. Zagađenje može izazvati globalne klimatske promene	95,73	4,27	5
18. Postoji manje komaraca i drugih insekata nego što je bilo pre 20 godina	42,74	57,26	35
19. Postoji manje pčela nego što je bilo pre 20 godina	74,36	25,64	27
20. Promene peščanih oluja znak su klimatskih promena	78,63	21,37	22
21. Klimatske promene uzrokuju da kiša pada više nego što je to bilo nekada	85,47	14,53	19
22. Putevi se poplavljuju manje nego što su nekada	52,99	47,01	34
23. Alergije su veći problem kod ljudi nego što su to bile nekada	91,45	8,55	10
24. Poljoprivrednicima je potrebno manje vode za useve i životinje nego ranije	78,63	21,37	22
25. Rast stanovništva je uzrok klimatskih promena	54,70	45,30	33
26. Nivo mora raste	88,89	11,11	15
27. Suše su sve ređe	62,39	37,61	32
28. Više uragana ili ciklona znak su klimatskih promena	90,60	9,40	13
29. Život u okeanu umire	94,02	5,98	6
30. U okeanu je više plastike nego ranije	100,00	0,00	1
31. Neuspešne žetve znak su klimatskih promena	90,60	9,40	13
32. Ribolov je lakši usled klimatskih promena	76,07	23,93	26

33. Obrasci migracija riba se menjaju kao rezultat klimatskih promena	88,89	11,11	15
34. Glečeri se tope kao rezultat klimatskih promena	98,29	1,71	3
35. Polarni medvedi gube svoje stanište kao rezultat klimatskih promena	99,15	0,85	2
36. Jači vetrovi su znak klimatskih promena	78,63	21,37	22
37. Prirodne katastrofe se povećavaju kao rezultat klimatskih promena	96,58	3,42	4
38. Snežne padavine se smanjuju kao rezultat klimatskih promena	91,45	8,55	10
39. Sezona uzgajanja useva se menja	83,76	16,24	20
40. Izvori slatke vode poboljšavaju sa klimatskim promenama	68,38	31,62	29
41. Sigurnije snabdevanje hranom je posledica klimatskih promena	71,79	28,21	28
42. Bolesti poput malarije ili denge se povećavaju kao rezultat klimatskih promena	65,81	34,19	31
43. Zagađenje vode je znak klimatskih promena	25,64	74,36	36
44. Smanjenje padavina je rezultat klimatskih promena	78,63	21,37	22
45. Ostrva nestaju zbog klimatskih promena	92,31	7,69	8
46. Ljudima je dostupno manje slatke vode nego pre 20 godina	92,31	7,69	8
47. Trenutno je vreme predvidljivije nego pre 20 godina	67,52	32,48	30
48. Migracije životinja se menjaju	91,45	8,55	10

5. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Zanimljivo je da je prosečna tačnost odgovora ispitanica na zadate izjave iz upitnika čak 78,86%, što pokazuje visok nivo znanja i dobru percepciju različitih uticaja klimatskih promena i njihovih efekata na životnu sredinu. Interesantno je da su na izjavu da sada ima više plastike u okeanu nego ranije, sve ispitanice odgovorile tačno, dok je na izjavu koja se odnosi na to da su sada zime hladnije nego što je to bio ranije slučaj, tačno odgovorilo svega 17,95% ispitanica. U skladu sa rangiranim tačnim odgovorima na zadate izjave, može se zaključiti da se aktuelnija pitanja i teme čija je zastupljenost veća u medijima i javnosti, izdvajaju kao izjave sa procentualno tačnijim odgovorima, kao npr.: *Polarni medvedi gube svoje stanište kao rezultat klimatskih promena* (Rang 2 - 99,15% tačnih odgovora); *Glečeri se tope kao rezultat klimatskih promena* (Rang 3 - 98,29% tačnih odgovora); *Prirodne katastrofe se povećavaju kao rezultat klimatskih promena* (Rang 4 - 96,58% tačnih odgovora) i *Zagađenje može izazvati globalne klimatske promene* (Rang 5 - 95,73% tačnih odgovora).

Ono što je nažalost istraživanje pokazalo, i što autore rada „obavezuje” da nastave sa ovim istraživanjem je činjenica da je samo 9,40% ispitanica izjavilo da je uticaj klimatskih promena veći na žene, odnosno da je njih 90,60% odgovorilo netačno, što je još jednom potvrdilo evidentan nedostatak ekološkog formalnog i permanentnog obrazovanja na svim nivoima obrazovanja u Republici Srbiji (Borojević et al., 2017; Klemenovic, 2004; Pavlovic, 2011; Petrovic, 2010; Petrovic, Jeremic, Petrovic, & Cirovic, 2014; Sakac, Cveticanin, & Sucevic, 2012; Trumic, Petrovic, & Radojicic, 2009), a koje rezultuje i neodgovarajućim znanjima iz oblasti klimatskih promena.

LITERATURA

- [1] Adger, W. N. (2003) Social capital, collective action, and adaptation to climate change. *Economic Geography*, 79(4),387-404.
- [2] Alston, M. (2014, November). Gender mainstreaming and climate change. In *Women's Studies International Forum* (Vol. 47, pp. 287-294). Pergamon.
- [3] Auffhammer, M., Ramanathan, V., & Vincent, J. R. (2012). Climate change, the monsoon, and rice yield in India. *Climatic change*, 111(2), 411-424.
- [4] Batool, H., Ali, W., Manzoor, R., & Mahmood, N. (2018). Women's Perception of Climate Change and Coping Strategies in Pakistan: An Empirical Evidence. *Earth Systems and Environment*, 2(3), 609-619.
- [5] Borojević, T., Maletič, M., Petrović, N., Radaković, J. A., Senegačnik, M., & Maletič, D. (2017). Youth Attitudes Towards Goals of a New Sustainable Development Agenda. *Problemy Ekorozwoju*, 12(2), 161-172.
- [6] Brunnbauer, U. (2002). From equality without democracy to democracy without equality? Women and transition in Southeast Europe. *SEER-South-East Europe Review for Labour and Social Affairs*, (03), 151-168.
- [7] Đurđević, V., Vuković, A. & Vujadinović Mandić, M. (2018). Osmotrene promene klime u Srbiji i projekcije buduće klime na osnovu različitih scenarija budućih emisija. Program Ujedinjenih nacija za razvoj, Beograd.

- [8] Enarson, E. (2006). Women and girls last? Averting the second post-Katrina disaster. Social Science Research Council, 1-18.
- [9] Hansen, J., Sato, M., & Ruedy, R. (2012). Perception of climate change. Proceedings of the National Academy of Sciences, 109(37), E2415-E2423.
- [10] International Union for Conservation of Nature - IUCN. (2013). Community perceptions on climate change in bagrote valley, Pakistan. A case study.
- [11] Lambrou, Y., & Piana, G. (2006). Gender: The missing component of the response to climate change (pp. 1-58). Rome: Food and Agricultural Organisation (FAO).
- [12] Lambrou, Y. & Nelson, S. (2010). Farmers in a changing climate: Does gender matter? Rome: Food and Agricultural Organisation (FAO).
- [13] Leiserowitz, A. (2006). Climate change risk perception and policy preferences: The role of affect, imagery, and values. Climatic change, 77(1-2), 45-72.
- [14] Lobell, D. B., Sibley, A., & Ortiz-Monasterio, J. I. (2012). Extreme heat effects on wheat senescence in India. Nature Climate Change, 2(3), 186-189.
- [15] Masika, R. (Ed.) (2002) Gender, development, and climate change. Oxfam, Oxford.
- [16] Neumayer, E., & Plümper, T. (2007). The gendered nature of natural disasters: The impact of catastrophic events on the gender gap in life expectancy, 1981-2002. Annals of the Association of American Geographers, 97(3), 551-566.
- [17] Norgaard, R. (1994). Development Betrayed - The End of Progress and a Coevolutionary Revisioning of the Future. London: Routledge.
- [18] Osman-Elasha, B. (2020). Women... In The Shadow of Climate Change. Preuzeto sa <https://www.un.org/en/chronicle/article/womenin-shadow-climate-change>.
- [19] Program Ujedinjenih nacija za razvoj Srbije. (2020). Goal 13: Climate action. Preuzeto sa <https://www.rs.undp.org/content/serbia/sr/home/sustainable-development-goals/goal-13-climate-action.html>.
- [20] Republički hidrometeorološki zavod - RHMZ (2020). Peti izveštaj IPCC 2013. godina. Preuzeto sa <http://www.hidmet.gov.rs/latin/ipcc/index.php>.
- [21] Semenza, J. C., Hall, D. E., Wilson, D. J., Bontempo, B. D., Sailor, D. J., & George, L. A. (2008). Public perception of climate change: voluntary mitigation and barriers to behavior change. American journal of preventive medicine, 35(5), 479-487.
- [22] Srbija i klimatske promene (2020). Strategija klimatskih promena sa Akcionim planom. Preuzeto sa <http://www.klimatskeprome.rs/projekti/strategija-u-oblasti-klimatskih-promena/>.
- [23] Stojanović-Jovanović, B., & Jovanović, S. (2015). Sociomedical aspects of women's life in Serbia during XX century. PONS-medicinski časopis, 12(1), 35-40.
- [24] Tripathi, A., & Mishra, A. K. (2017). Knowledge and passive adaptation to climate change: An example from Indian farmers. Climate Risk Management, 16, 195-207.
- [25] United Nations - UN. (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Preuzeto sa http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E.
- [26] United Nations Entity for Gender Equality and the Empowerment of Women - UN Women. (n.d.). Često postavljena pitanja: RODNA RAVNOPRAVNOST I KLIMATSKE PROMENE. Preuzeto sa http://inovacije.klimatskeprome.rs/wp-content/uploads/2018/01/Rodna_ravnopravnosti_klimatske_promene.pdf.
- [27] United Nations Environment Programme - UNEP. (2015). New UN Report Details Link between Climate Change and Human Rights. Preuzeto sa <https://www.unenvironment.org/news-and-stories/press-release/new-un-report-details-link-between-climate-change-and-human-rights>.
- [28] White, G. F. (1945). Human adjustment to floods.
- [29] Whitmarsh, L. (2008). Are flood victims more concerned about climate change than other people? The role of direct experience in risk perception and behavioural response. Journal of risk research, 11(3), 351-374.
- [30] World Bank. (2013). Acting on Climate Change and Disaster Risk for the Pacific. Preuzeto sa <https://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/EAP/Pacific%20Islands/climate-change-pacific.pdf>.



PREGLED INDIKATORA CIRKULARNE EKONOMIJE RAZVIJENIH ZEMALJA

OVERVIEW OF CIRCULAR ECONOMY INDICATORS OF DEVELOPED COUNTRIES

TIJANA MILANOVIĆ¹, NATAŠA PETROVIĆ², ALEKSANDAR JOVOVIĆ³, MILAN MARTIĆ⁴

¹ Beogradska akademija poslovnih i umetničkih strukovnih studija, tijana.milanovic@bpa.edu.rs

² Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, natasa.petrovic@fon.bg.ac.rs

³ Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, ajovovic@mas.bg.ac.rs

⁴ Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, milan.martic@fon.bg.ac.rs

Rezime: Glavna ideja rada bila je da predstavi koncept cirkularne ekonomije i da pregled različitih indikatora koji se primenjuju u razvijenim zemljama, kao i načina njihovog merenja. Ne postoji opšteprihvaćeni način merenja cirkularne ekonomije uopšte na mikro nivou, ali je u radu prikazan jedan od njih. U fokusu analize rada predstavljen je Indikator cirkularnosti materijala (MCI) koji je razvila Ellen MacArthur fondacija u saradnji sa kompanijom Granta Design. Osnovni cilj rada je da ukaže na opšti značaj razvoja indikatora cirkularne ekonomije i šta je ono što se postiže njihovom primenom.

Cljučne reči: Cirkularna ekonomija, indikatori cirkularne ekonomije, indikator cirkularnosti materijala.

Abstract: The main idea and goal of the paper were to present the concept of circular economy and to give an overview of various developed indicators that are applied in developed countries, as well as the ways of their measurement. There is no generally accepted way to measure the circular economy at all at the micro-level, but one of them is shown here. The focus of the analysis of the work is the Material Circularity Indicator (MCI), developed by the Ellen MacArthur Foundation in cooperation with Granta Design. The main goal of the paper is to point out the general importance of the development of circular economy indicators and what is achieved by their application.

Keywords: Circular economy, indicators of circular economy, Material Circularity Indicator.

1. UVOD

„Cirkularna ekonomija se zasniva na uspostavljanju kružnog ekonomskog sistema koji se temelji na maksimalnoj upotrebi resursa i obnavljanju i ponovnoj upotrebi proizvoda, umesto njihovog odlaganja i bacanja. Ona integriše ekonomiju i sistem upravljanja otpadom i vodi ka konceptu nula posto otpada (*zero waste*). Ovaj model zahteva inovativni pristup i dizajniranje novih, kreativnih cirkularnih rešenja koja mogu da obezbede kruženje resursa.” (Lalić, Matić, & Banić, 2019).

Cirkularna ekonomija (CE) poslednjih godina predstavlja smernicu kojom se razni istraživači, institucije, donosioci odluka, kreatori politika, naučnici, kompanije, zemlje i mnogi drugi, sve više bave i interesuju u pravcu obezbeđivanja mogućnosti povećanja održivosti ekonomskog sistema. U razvijenijim zemljama ponovna upotreba, popravka i recikliranje, vraćanje proizvoda u ponovni proces proizvodnje, korišćenje svih materijala koji i dalje imaju upotrebnu vrednost, postaju ključne aktivnosti u mnogim sektorima. Istovremeno, kompanije pokazuju sve veće interesovanje za ovaj ekonomski model. Međutim, sprovođenje CE nije uopšte lak zadatak, čak naprotiv. Donosiocima odluka neophodni su alati za podršku u postavljanju adekvatnih ciljeva i praćenja efekata preduzetih aktivnosti. Iz tog razloga je neophodno razviti set indikatora kojima bi mogle da se prate sve promene koje se odnose na CE. Postoji veliki broj indikatora za različite svrhe i potrebe koje su razvili razni naučnici, države, vladine agencije, nevladine organizacije, kompanije, kao i mnogi drugi.

2. KONCEPT CIRKULARNE EKONOMIJE

Osnovni koncept CE prikazuje sistem proizvodnje i potrošnje koji se oslanja na recikliranje, ponovnu upotrebu, popravku, preradu, deljenje proizvoda, promenu obrazaca poslovanja i potrošnje, te kreiranje novih poslovnih modela i sistema i pre svega promenu načina razmišljanja. Ovaj koncept dobija sve više na značaju poslednjih godina, širom sveta, predstavljajući pre svega pristup rešavanju problema negativnih uticaja na životnu sredinu koji su povezani sa trenutnim linearnim modelom ekonomije. Linearni ekonomski

model podrazumeva model proizvodnje, potrošnje i odbacivanja proizvoda nakon upotrebe i korišćenja i posledično generisanje sve veće količine otpada uz iscrpljivanje prirodnih resursa i narušavanje prirodnog balansa životne sredine (Milanović, Petrović, & Čirović, 2019). Primena principa CE sve više se preporučuje kao moguće rešenje za ispunjavanje ciljeva održivog razvoja (Saidani, Yannou, Leroy, Cluzel, & Kendall, 2019), jer kao model, CE spaja tri stuba razvoja isto kao i održivi razvoj, odnosno socijalni, ekonomski i ekološki stub (Janik & Ryszko, 2019). Zato CE podrazumeva: minimiziranje unosa sirovina i izlaza otpadnih materijala iz ekonomskog sistema; zadržavanje vrednosti resursa što je duže moguće unutar ekonomskog sistema i reintegraciju proizvoda u ekonomski sistem po dostizanju kraja njegovog životnog veka (Suárez-Eiroa, Fernández, Méndez-Martínez, & Soto-Oñate, 2019). Cirkularni model ekonomije prikazan je na Slici 1.



Slika 1. Cirkularni model ekonomije (Organizacija za evropsku bezbednost i saradnju Misija u Srbiji [OEBS], 2019)

3. POJAM I NAČIN MERENJA INDIKATORA CIRKULARNE EKONOMIJE

Radi efikasne primene CE i njenih principa, neophodno je da se razvije širok set mernih instrumenta radi merenja i izveštavanja o napretku prelaska sa linearnog modela na model CE. Iz ovih razloga, poslednjih nekoliko godina se sve više razvijaju indikatori cirkularnosti (Saidani et al., 2019), pri čemu treba napomenuti da ne postoji indikator koji može da samostalno meri CE (Akerman, 2016). Iz ovoga se zaključuje da samo sagledavanje više indikatora CE može da pruži jasnu sliku rada neke kompanije, sistema, zemlje. Zato razvijen set indikatora koji se zajedno primenjuje može da doprinese merenju učinka u više oblasti koje direktno ili indirektno doprinose razvoju CE (European Commission [EC], 2020b).

Uopšteno posmatrano, indikatori (pokazatelji) predstavljaju varijable koje omogućavaju pružanje relevantnih informacija za odlučivanje (Gallopín, 1996). Prema Akerman (2016) neophodno je napomenuti važnost i značaj izučavanja indikatora CE koji se odnose na kompanije, iz razloga što su baš, mnoge zemlje identifikovale (kao jednu od dve glavne barijere koje mogu ometati razvoj i efikasnu upotrebu sistema indikatora CE) nepostojanje pokazatelja uspešnosti primene CE u kompanijama. Indikatori CE su posebno namenjeni dizajnerima/konstruktorima proizvoda u smislu odlučivanja, a takođe mogu da imaju svoju ulogu u unutrašnjim i eksternim izveštajima kompanija, evaluaciji, kao i rejtingu kompanija (EMF & GRANTA, 2015). Vrednost ovih indikatora može da bude povezana sa (Vercalsteren, Christis, & Van Hoof, 2018): (1) ekonomskim proizvodom; (2) podacima po glavi stanovnika; (3) indikatorima unosa: ulazni indikatori (unos domaćeg materijala, sirovina); (4) izlaznim indikatorima: (domaći obrađeni izlaz); (5) indikatorima potrošnje: (potrošnja sirovina, domaća potrošnja materijala).

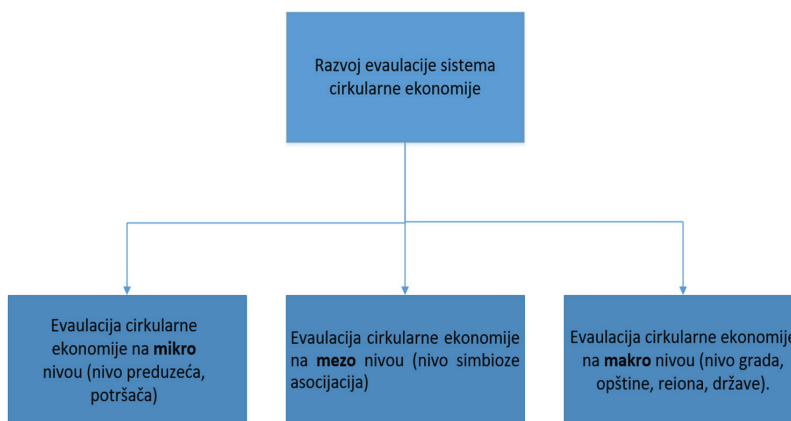
4. PREGLED/KLASIFIKACIJA INDIKATORA CIRKULARNE EKONOMIJE

Indikatori CE se razlikuju u odnosu na kriterijume na kojima su zasnovani. Ovi kriterijumi mogu da budu prema Saidani i ostalima (2019): nivoi implementacije CE (npr. mikro, mezo, makro); CE petlje (održavanje, ponovna upotreba, prerada, recikliranje); performanse; perspektiva cirkularnosti (stvarna, potencijalna). Prema Vercalsteren i ostalima (2018) kriterijumi prema kojima se mogu klasifikovati indikatori CE se odnose na: (1) mikro, mezo, makro nivo; (2) strategije CE; (3) tehnologije nasuprot socio-institucionalnim

karakteristikama. Kina je prva zemlja koja je objavila nacionalne pokazatelje CE, odnosno indikatore o statusu implementacije CE koji predstavljaju značajne pokazatelje za donosiocce politika i odluka te stoga pružaju pomoć u postizanju ciljeva i rezultata CE. Ovi indikatori su razvijeni u dva seta sistema indikatora, jedan za makro nivo i jedan za mezo-nivo, a imaju četiri slične kategorije: (1) izlaz resursa, (2) potrošnja resursa, (3) stopa korišćenja resursa i (4) zbrinjavanje otpada i emisije zagađivača (Geng, Fu, Sarkis, & Xue, 2012).

U akcionom planu Evropske unije (EU) za CE za 2015. godinu (European Commission [EC], 2015) je Komisija EU najavila razvojni okvir za praćenje CE koji ima za cilj da meri napredak i proceni efikasnost delovanja CE, te da na osnovu postojećih podataka identifikuje skup indikatora koji će da obuhvati različite faze CE (EC, 2018). Ovi indikatori obuhvataju četiri oblasti, na osnovu kojih je utvrđeno deset indikatora (EC, 2020a). Ukoliko bi raspolagali sa podacima za ovih 10 indikatora za praćenje CE u zemljama EU mogli bi primenom DEA metode, videti Savić i Martić (2017), izračunati kompozitni indeks razvoja CE za svaku državu i na osnovu toga ih upoređivati i rangirati. Poređenje vrednosti kompozitnih indeksa je veoma jednostavno u odnosu na praćenje trendova pojedinačnih indikatora.

Sledeća klasifikacija indikatora proizilazi iz činjenice, da CE može da se primeni prema nivou merenja CE i to (Banaitė, 2016): makro (globalni, nacionalni, regionalni, grad); mezo (industrijska simbioza, eko-industrijski parkovi) i mikro (pojedinačna firma, proizvod), kao što je predstavljeno na Slici 2.



Slika 2. Razvoj evaucije sistema CE (Prema Banaitė (2016))

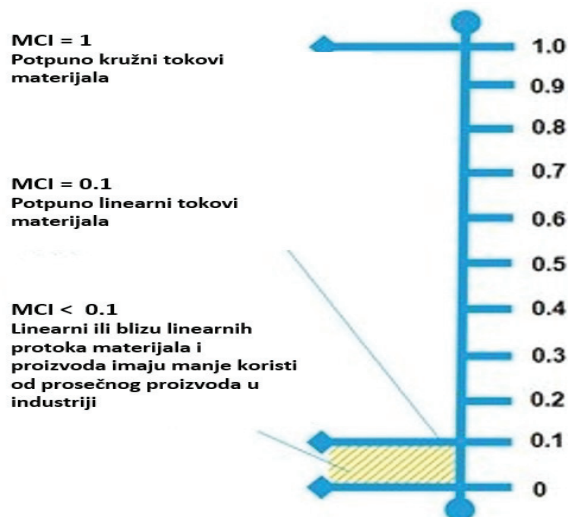
5. INDIKATOR CIRKULARNOSTI MATERIJALA U KOMPANIJI

Kako su kompanije i industrije od vitalnog značaja za sprovođenje CE na nacionalnom nivou, tako se nameće kao zaključak potreba za primenom adekvatnih indikatora CE „na nivou” kompanije. Na ovaj način bi kompanija mogla da analizira svoje proizvode i poslovanje na jednostavan i relativno lak način, a samim tim ne samo da ostvari ciljeve CE već i da postigne cirkularnost materijala (Akerman, 2016). Procena cirkularnosti materijala je relativno nov pojam koji su počeli da koriste različite organizacije i subjekti koji promovisu CE. Od 2015. godine mnoge organizacije kao što su npr. Circe Economy, Dutch Association of Investors for Sustainable Development - VBDO, Ellen MacArthur Foundation i Viktorija Svedish ICT pokrenule su inicijative za merenje ili procenu cirkularnosti (kružnosti) u kontekstu kompanija (Camacho-Otero & Ordoñez, 2017; Janik & Ryszko, 2019). Svi oni su se uključili u procene CE, iz razloga potrebe za razumevanjem načina merenja i dokumentovanja napretka ka CE posebno na mirko nivou - kako proizvođači da obezbede cirkularne proizvode, kako potrošači da uporede svoje proizvode po cirkularnosti.

Indikator cirkularnosti materijala (Material Circularity Indicator – MCI) koji je razvila Ellen MacArthur Foundation u saradnji sa kompanijom Granta Design. MCI na nivou kompanije je zasnovan na pretpostavci da cirkularnost preduzeća može da se razvije iz cirkularnosti proizvoda kompanije (Ellen MacArthur Foundation, & Granta Design, 2015). Kao što je prikazano na Slici 3 MCI predstavlja stepen cirkulacije protoka materijala na skali od 0 do 1. Što je veća ocena, veća je količina proizvoda koji se može reciklirati ili ponovo koristiti.

Prvi slučaj je da je $MCI = 1$. Da bi se dobio rezultat 1, sve korišćene sirovine bi morale da potiču od ponovo upotrebljenih komponenata ili recikliranih materijala, bez gubitaka u recikliranju (100% efikasnost recikliranja). Drugi slučaj je da je $MCI = 0.1$. U ovom slučaju proizvod je sa potpuno linearnim protokom

materijala, pri čemu sve sirovine potiču od neoštećenog materijala i nema ponovnog korišćenja ili recikliranja. Da bi se postigla vrednost ispod 0.1, korist od proizvoda morala bi da bude manja od koristi prosečnog industrijskog proizvoda. Proizvod sa potpuno linearnim protokom materijala, ali sa većom korisnošću od prosečnog industrijskog proizvoda imao bi $MCI > 0.1$.



Slika 3. Protok materijala na skali od 0 do 1 (Prema Ellen MacArthur Foundation and Granta Design (2015))

Opšta formula koja se koristi za računanje MCI u kompaniji (MCI_C), a koja se sastoji od npr. odeljenja (D), podrazumeva da prvo treba da se izračuna ukupni normalizujući faktor kompanije (N_C) i to za sva odeljenja (D) koja sadrže proizvod α (Ellen MacArthur Foundation, & Granta Design, 2015):

$$N_C = \sum_{\alpha} N_{D(\alpha)} \quad (1)$$

$$MCI_C = \frac{1}{N_C} \sum_{\alpha} (N_{D(\alpha)} * MCI_{D(\alpha)}) \quad (2)$$

gde je:

MCI_C – indikator cirkularnosti materijala kompanije,
 MCI_D – indikator cirkularnosti materijala odeljenja,
 N_C – normalizujući faktor kompanije,
 N_D – normalizujući faktor odeljenja,
 α – tip, tj. vrsta proizvoda.

Pored MCI postoje i drugi CE indikatori za praćenje cirkularnosti kompanija kao: Indikator otiska resursa, Stopa korisnosti recikliranja, Ekološki otisak proizvoda itd. Ukoliko bi imali podatke za različite CE indikatore kompanija, primenom DEA metode moguće je izračunati vrednosti kompozitnog indeksa cirkularnosti kompanija, na osnovu kojih bi rangirali kompanije u određenoj industriji ili u određenom regionu/državi.

6. ZAKLJUČAK

Koncept CE dobija sve veću pažnju i široko se istražuje kao „put“ ka održivom razvoju, u smislu pružanja potencijala za prevazilaženje linearnog modela ekonomije. Merenje efikasnosti kompanija u smislu CE je još uvek u ranoj fazi jer implementacija CE zahteva niz aktivnosti, kao i pogodne indikatore i alate za podršku donosiocima odluka u postavljanju adekvatnih ciljeva i praćenje efekata preduzetih aktivnosti. Indikatori CE su veoma važni za uspešnu procenu mera i aktivnosti za sprovođenje CE, a njihovom primenom kompanije mogu postati konkurentnije na sve zahtevnijim tržištima, a skladu sa „pritiskom globalnih društveno-

ekoloških izazova” (D’Amato, Korhonen, & Toppinen, 2019; Rockstrom et al., 2009). Korisnost indikatora CE za praktičnu primenu u kompanijama, određena je sa posebnim naglaskom na povećanju ekonomske održivosti (Akerman, 2016).

7. LITERATURA

- [1] Akerman, E. (2016). Development of Circular Economy Core Indicators for Natural Resources: Analysis of existing sustainability indicators as a baseline for developing circular economy indicators.
- [2] Banaitè, D. (2016). Towards circular economy: analysis of indicators in the context of sustainable development. *Social Transformation in Contemporary Society*, 4(9), 142-150.
- [3] Camacho-Otero, J., & Ordoñez, I. (2017). Circularity assessment in companies: conceptual elements for developing assessment tools. Conference: 23rd International Sustainable Development Research Society Conference, Bogota.
- [4] D’Amato, D., Korhonen, J., & Toppinen, A. (2019). Circular, green, and bio economy: how do companies in land-use intensive sectors align with sustainability concepts?. *Ecological Economics*, 158, 116-133.
- [5] Ellen MacArthur Foundation, & Granta Design. (2015). CIRCULARITY INDICATORS: An Approach to Measuring Circularity - PROJECT OVERVIEW. Dostupno na: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/insight/Circularity-Indicators_Project-Overview_May2015.pdf.
- [6] European Commission – EC. (2015). Closing the loop – an EU action plan for the circular economy. COM (2015) 614 Final. Brussels. Dostupno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52015DC0614>.
- [7] European Commission – EC. (2018). Measuring progress towards circular economy in the European Union – Key Indicators for a Monitoring framework - SWD (2018) 17 final. European Commission, Strasbourg. Dostupno na: https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/monitoring-framework_staff-working-document.pdf.
- [8] European Commission – EC. (2020a). Circular Economy Indicators. Dostupno na: https://ec.europa.eu/environment/ecoap/indicators/circular-economy-indicators_en.
- [9] European Commission – EC. (2020b). Which indicators are used to monitor the progress towards a circular economy? Dostupno na: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/indicators>.
- [10] Gallopin, G. C. (1996). Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A systems approach. *Environmental modeling & assessment*, 1(3), 101-117.
- [11] Geng, Y., Fu, J., Sarkis, J., & Xue, B. (2012). Towards a national circular economy indicator system in China: an evaluation and critical analysis. *Journal of cleaner production*, 23(1), 216-224.
- [12] Janik, A., & Ryszko, A. (2019). Circular economy in companies: an analysis of selected indicators from a managerial perspective. *Multidisciplinary Aspects of Production Engineering*, 2(1), 523-535.
- [13] Lalić, M., Matić, J., & Banić, M. (2019). Eksperimentalni program edukacije o cirkularnoj ekonomiji i inovacijama: Modul za fakultete - Inovacija. Beograd: Mikser.
- [14] Milanović, T., Petrović, N., & Ćirović, M. (2019). Waste Management and Circular Economy, Proceedings of the XII Meeting of Businessmen and Scientists SPIN’19: “Lin Transformation and Digitalization of the Serbian Economy”, Faculty of Organizational Sciences, Center for Operations Management, Belgrade, 2019, (pp. 328-334). Belgrade, Faculty of Organizational Sciences.
- [15] Mitrović, Đ., & Gavrić, O. (2018). Circular economy composite index: DEA approach. u: Kočović J. [ur.] XLV Simpozijum o operacionim istraživanjima SYM-OP-IS 2018 Zbornik radova, Beograd: Ekonomski fakultet, 250-257.
- [16] Organizacija za evropsku bezbednost i saradnju Misija u Srbiji - OEBS. (2019). Cirkularna ekonomija kao šansa za razvoj Srbije. Dostupno na <https://www.osce.org/sr/serbia/292311?download=true>.
- [17] Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., ... & Nykvist, B. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), 472-475.
- [18] Saidani, M., Yannou, B., Leroy, Y., Cluzel, F., & Kendall, A. (2019). A taxonomy of circular economy indicators. *Journal of Cleaner Production*, 207, 542-559.

- [19] Savić, G. & Martić, M., (2017). Composite Indicators Construction by Data Envelopment Analysis: Methodological Background. *Emerging Trends in the Development and Application of Composite Indicators*, 98-126.
- [20] Suárez-Eiroa, B., Fernández, E., Méndez-Martínez, G., & Soto-Oñate, D. (2019). Operational principles of circular economy for sustainable development: Linking theory and practice. *Journal of cleaner production*, 214, 952-961.
- [21] Vercauteren, A., Christis, M., & Van Hoof, V. (2018). Indicators for a Circular. *Economy Circular. Economy. Policy Research. Dostupno na: <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/knowledge/indicators-circular-economy>.*
- [22] Viktoria Swedish ICT. (2015). Measuring business model circularity as a means to promote resource productivity.



PANDEMIJA KORONAVIRUSA COVID-19 I ZAGAĐENJE ŽIVOTNE SREDINE KAO IZAZOV ODRŽIVOSTI

CORONAVIRUS COVID-19 PANDEMIC AND ENVIRONMENTAL POLLUTION AS A SUSTAINABILITY CHALLENGE

JELENA ANDREJA RADAKOVIĆ¹, KRISTINA STANOJEVIĆ², NATAŠA PETROVIĆ³

¹ Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, Beograd, jelenaandreja.radakovic@fon.bg.ac.rs

² Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, Beograd, kristina.stanojevic992@gmail.com

³ Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, Beograd, natasa.petrovic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Koronavirus COVID-19 je prisutan u 213 zemalja i teritorija sveta kao i na 2 međunarodna krucera, postavši tako globalna pretnja javnom zdravlju stanovništva i održivosti cele planete Zemlje. Uticaj pandemije na ciljeve održivog razvoja, pogoršanje ishoda bolesti usled zagađenja, kao i posledično smanjenje zagađenja vazduha usled neminovnih karantina širom sveta postavlja pred sve nas transdisciplinarne probleme koje treba rešiti. Zato sva istraživanja iz ove oblasti predstavljaju mali, ali nužan korak ka rasvetljavanju globalne i urgentne problematike koju nosi sa sobom novi koronavirus SARS-CoV-2. U radu je predstavljeno istraživanje koje je obuhvatilo 251 ispitanika iz Srbije sa ciljem ispitivanja njihovih ocena stanja zagađenosti životne sredine, veze između zagađenja i širenja COVID-19, kao i njihovog viđenja „života posle korone”. Rezultati istraživanja su obrađeni korišćenjem softverskog paketa SPSS 22.*

Ključne reči: *COVID-19, zagađenje životne sredine, održivi razvoj.*

Abstract: *The coronavirus COVID-19 is present in 213 countries and territories of the world, as well as on 2 international cruisers, thus becoming a global threat to the public health of the population and the sustainability of the entire planet Earth. The impact of the pandemic on sustainable development goals, the worsening of the outcome of the disease due to pollution, as well as the consequent reduction of air pollution due to the inevitable quarantines around the world poses transdisciplinary problems that need to be solved. Therefore, all research in this area represents a small, but necessary step towards elucidating the global and urgent issues posed by the new coronavirus SARS-CoV-2. The paper presents a study that included 251 respondents from Serbia with the aim of examining their assessments of the state of environmental pollution, the relationship between pollution and the spread of COVID-19, as well as their view of “life after the corona”. The results of the research were processed using the software package SPSS 22.*

Keywords: *COVID-19, environmental pollution, sustainable development.*

1. UVOD

„Pandemija koronavirusa COVID-19 predstavlja definitivnu globalnu zdravstvenu krizu našeg vremena koja predstavlja najveći izazov sa kojim se čovečanstvo suočava posle Drugog svetskog rata, imajući u vidu da se od njegove pojave u Aziji prošle godine, virus proširio na sve kontinente osim Antarktiku” (United Nations Development Programme [UNDP], 2020). Stoga je razumljivo zašto je pandemija COVID-19 globalni izazov koji zahteva od naučnika, medicinskih radnika, edukatora, donosilaca zakona i vlada da se sa svim raspoloživim sredstvima suoče sa ovim multidimenzionalnim problemom radi očuvanja zdravlja i blagostanja celokupnog čovečanstva. SARS-CoV-2 ili COVID-19 je novi koronavirus koji je identifikovan u Vuhanu, provincija Hubej u Kini, krajem 2019. godine (Chen et al., 2020). Kineski centar za kontrolu i prevenciju bolesti (*Chinese Center for Disease Control and Prevention - CCDC*) identifikovao je novi beta-koronavirus nazvan 2019- nCoV, sada zvanično poznat kao ozbiljan akutni respiratorni sindrom koronavirus 2 (SARS-CoV-2) (Gorbalenya et al., 2020), a koji je odgovoran za pandemiju (Xie & Chen, 2020). Za razliku od SARS i MERS korona virusa, COVID-19 se širi mnogo brže, većinom zahvaljujući povećanoj globalizaciji (Peeri et al., 2020). Kada su u pitanju koronavirusi treba naglasiti da oni pripadaju velikoj porodici virusa koji svoje poreklo vode od životinja, ali su poznati po tome što mogu da prouzrokuju respiratorna oboljenja kod ljudi, posebno za vreme jesenjih i zimskih meseci. „Nakon što pređu sa životinje

na čoveka mogu se prenositi među ljudima. Veliki broj životinja su nosioci koronavirusa. Na primer, koronavirus Bliskoistočnog respiratornog sindroma (MERS-CoV) potiče od kamile, dok SARS potiče od cibetke, životinje iz reda zveri srodnih mačkama.” (Institut za javno zdravlje „Dr Milan Jovanović Batut”, 2020).

Svetska zdravstvena organizacija (*World Health Organization* - WHO) – SZO je klasifikovala COVID-19 kao pandemiju 11. marta, 2020. godine imajući u vidu da ga je kao pandemiju definisao ukupan broj od 80,955 potvrđenih slučajeva i 3,162 slučajeva sa smrtnim ishodom u Kini, te 37,364 potvrđenih slučajeva i 1,130 smrti u 113 zemalja širom sveta (World Health Organization [WHO], 2020b).

Za vezu pandemije COVID-19 i stanja životne sredine odnosno ekoloških faktora može se reći da „stanje atmosfere se smatra drugim ključnim pratećim faktorom koji utiče na prenošenje i infekciju bolešću” (Bashir et al., 2020; Becchetti, Conzo, Conzo, & Salustri, 2020; Fattorini & Regoli, 2020; Qi et al., 2020; Wang et al., 2020; Xie & Chen, 2020; Zhang, Xue, & Jin, 2020; Zhu, & Xie, 2020). Dalje, kriza COVID-19 je ukazala na različite složene globalne međuzavisnosti razvoja svih društava produbljujući ekonomske, društvene i ekološke nejednakosti, te dovodeći do posledica za otežavanje postizanja održivog razvoja posebno u domenu: prehrambenih sistema, obrazovanja, gradova i održivih infrastruktura, sigurnosti, dugotrajnih sukoba, izbegličkih kriza i prisilno raseljavanja, ekološke otpornosti i globalnog zdravlja. „U isto vreme kriza je identifikovala potrebu za proširenjem oblasti održivog razvoja” (Jones & Comfort, 2020).

2. COVID-19, ZAGAĐENJE I ODRŽIVI RAZVOJ

30. januara, SZO je proglasio globalnu opasnost za javno ljudsko zdravlje od COVID-19. U februaru, epidemija je počela u Iranu, Italiji i drugim zemljama širom sveta, tako da se epidemija pretvorila u pandemiju, da bi krajem marta polovina svetske populacije bila u nekoj formi izolacije (Tosepu et al., 2020). Kada je u pitanju Srbija podaci na dan 25. jul 2020. godine na osnovu *Worldometer* i zvaničnih podataka Republike Srbije pokazuju da je ukupan broj registrovanih slučajeva 22,852, a nažalost ukupan broj smrtnih slučajeva - 518 (Republika Srbija Ministarstvo zdravlja, Institut za javno zdravlje „Dr Milan Jovanović Batut”, 2020; Worldmeter, 2020).

Dosadašnja istraživanja, kao npr. autora Cui i dr. (2003), pokazala su postojanje veze između zagađenja životne sredine, tačnije zagađenja vazhuda i broja smrtnih slučajeva od koronavirusa SARS među kineskim stanovništvom ukazujući na potrebu za istraživanjem mogućnosti štetnog uticaja zagađenja vazduha na prognozu ishoda bolesti pacijenata sa SARS-om. Pojavom COVID-19 pandemije dalja istraživanja sa Harvard univerziteta su pokazala da „porast od samo $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in $\text{PM}_{2.5}$ je povezan sa 8% porastom stope smrtnosti od COVID-19 (sa intervalom poverenja od 95%)” (Wu, Nethery, Sabath, Braun, & Dominici, 2020). Ovo je razumljivo imajući u vidu blisku vezu i sličnosti u simptomima COVID-19 i SARS-a. Ova veza je pronađena i u studiji autora Conticini, Frediani i Caro (2020) koja je obuhvatala podatke dobijene sa teritorije Severne Italije kao jedne od najzagađenijih oblasti u Evropi, a gde je detektovan visok stepen mortaliteta prouzrokovan virusom COVID-19. Istraživanje je pokazalo da visok nivo zagađenja vazduha može da bude dodatni faktor koji prouzrokuje visok stepen smrtnosti kod pacijenata obolelih od COVID-19 infekcije. S druge strane, usled pandemije i donesenih mera za suzbijanje transmisije virusa širom sveta je obustavljen javni transport, rad školskih ustanova, poslovnih centara, parkova sa ciljem suzbijanja fizičkih interakcija što je dovelo do smanjenja zagađenja vazduha (Muhammad, Long, & Salman, 2020), tako da neke studije iz Kine daju procenu da je karantin smanjio za četvrtinu emisije $\text{PM}_{2.5}$ i poboljšao Indeks kvaliteta vazduha i sprečio broj prevremenih smrti (He, Pan, & Tanaka, 2020). Svakako vezano za COVID-19 treba pomenuti nedostatak ili neodgovarajuće upravljanje vodom i sanitarnim uslugama koje izlaže kako pojedince tako i cele narode rizicima po zdravlje. Ovo je posebno slučaj u zdravstvenim ustanovama u kojima su i pacijenti i medicinsko osoblje dovedeni u stanje dodatnog rizika usled nedostatka vode, sanitarija i higijene. Ovo za posledicu ima da globalno 15% pacijenata razvije neku infekciju za vreme boravka u bolnici, a mnogo više u nerazvijenim zemljama, jer gde voda nije dostupna, nije dostupno ni neophodno pranje ruku koje dovodi do širenja bolesti kao što je COVID-19 (WHO, 2020a).

Kada je u pitanju veza koronavirusa COVID-19 i održivog razvoja treba naglasiti da „COVID-19 kriza ima široki obim ekoloških, ekonomskih i socijalnih posledica i kao takva ima ogroman uticaj na održivi razvoj” (Jones & Comfort, 2020). Tako 17 ciljeva održivog razvoja i njihovih 169 zadataka su i te kako pod uticajem ove pandemije (Berchi & de Andrade, 2020; United Nations [UN], 2020).

3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Za svrhu sprovođenja istraživanja, sačinjena je elektronska anketa od 23 pitanja, koja je online distribuirana ispitanicima. Svi ispitanici su dobrovoljno i anonimno pristali na učestvovanje u istraživanju. Istraživačka

anketa se sastoji od pitanja o demografskim karakteristikama ispitanika (od 1-og do 6-og), kao što su pol, obrazovanje, mesto prebivališta, starost, nakon čega slede pitanja o trenutnom stanju životne sredine, nivou zagađenosti, otpadu i ekološkim problemima u gradovima/opštinama u kojima žive. Sekcija od 12-og do 19-og pitanja odnosi se na pitanja o nivou zagađenja tokom pandemije COVID-19, navikama ispitanika po pitanju prevoza koji najčešće koriste, ali i nivou rizika infekcija od pulmoloških virusa kojem su izloženi građani u zagađenijim sredinama. Poslednja pitanja odnose se na efekte pandemije na dalja ponašanja prema životnoj sredini, efektima rada od kuće i pitanje nošenja maski kao vidu zaštite od virusa, ali i zagađenja i polena. Analiza rezultata izvršena je pomoću statističkog paketa SPSS 22 upotrebom deskriptivne statistike.

Tokom istraživanja prikupljeno je ukupno 251 odgovora ispitanika koji žive na teritoriji Republike Srbije

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Istraživanjem su obuhvaćene sledeće kategorije ispitanika:

Pol:

- Muški: 76.49%,
- Ženski: 23.51%.

Starost ispitanika:

- Od 15-24 godine: 61.35%,
- Od 25-34 godine: 29.88%,
- Od 35-44 godine: 3.59%,
- Od 45 i više godina: 5.18%.

Zastupljenost ispitanika prema kategorijama nivoa obrazovanja:

- Završena osnovna škola: 1.20%,
- Završena srednja škola: 51.00%,
- Završena viša škola ili fakultet: 13.55%,
- Završene master akademske studije: 8.55%,
- Završene doktorske akademske studije: 2.39%.

Najviše ispitanika kao mesto prebivališta navelo je Beograd, čak 207 (82.47%), dok 44 (17.53%) ispitanika žive u drugim gradovima Republike Srbije. Ispitanici sa prebivalištem u Beogradu su dalje podeljeni prema opštinama:

- Vračar, Dorćol, Palilula, Savski venac, Stari grad, Voždovac, Zvezdara: 47.41%,
- Čukarica, Rakovica: 9.16%,
- Barajevo, Grocka, Lazarevac, Mladenovac, Obrenovac, Sopot, Surčin: 7.17%,
- Zemun, Novi Beograd: 18.73%.

U okviru sekcije pitanja koja se odnosila na trenutno zagađenje opštine u kojoj žive, ispitanici su na Likertovoj skali od 1 do 5 dali odgovore (1 - veoma loše, 5 - veoma dobro) prikazane u Tabeli 1.

Tabela 1: Ocena zagađenosti životne sredine

R. br.	Pitanje	1	2	3	4	5	Srednja vrednost
1.	Kako biste ocenili stanje zagađenosti životne sredine u opštini u kojoj živite?	42	73	88	42	6	2.59
2.	Kako biste ocenili zagađenost vazduha u opštini u kojoj živite?	57	65	84	35	10	2.50
3.	Kako biste ocenili količinu otpada koji se može naći na ulicama i van mesta odlaganja u opštini u kojoj živite?	61	68	64	43	15	2.53
4.	Kako biste ocenili zagađenost vode u opštini u kojoj živite?	37	50	91	51	22	2.88

Ocene ispitanika o smanjenju zagađenosti tokom pandemije COVID-19 koje su ocenjivali sa ocenama od 1 - apsolutno se nije primetilo do 5 - apsolutno se primetilo, prikazane su u Tabeli 2. Na osnovu prikazanih odgovora može se zaključiti da su promene primećene u nivou zagađenosti vazduha, dok promene nisu toliko primetne po pitanju zagađenja vode i zemljišta.

Tabela 2: Ocena smanjenja zagađenosti životne sredine tokom pandemije COVID-19

R. br.	Pitanje	1	2	3	4	5	Srednja vrednost
1.	Tokom pandemije COVID-19 da li ste primetili smanjenje zagađenja vazduha u mestu u kom živite?	52	37	68	63	31	2.94
2.	Tokom pandemije COVID-19 da li ste primetili smanjenje zagađenja vode u mestu u kom živite?	98	43	80	20	10	2.21
3.	Tokom pandemije COVID-19 da li ste primetili smanjenje zagađenja zemljišta (otpad) u mestu u kom živite?	91	47	66	30	17	2.34

U cilju daljeg ispitivanja istraživane su navike po pitanju prevoza koji su ispitanici koristili pre i tokom pandemije COVID-19, a koje su prikazane u Tabeli 3, gde se prepoznaje značajno smanjenje upotrebe autobusa kao prevoznog sredstva, uz povećanje upotrebe bicikla, automobila, kao i da ispitanici značajno više idu peške. Zanimljivo je da su ispitanici koji su koristi voz pre pandemije nastavili da ga koriste i tokom pandemije.

Tabela 3: Upotreba prevoza pre i tokom pandemije COVID-19

R. br.	Prevoz	Pre pandemije	Tokom pandemije	Razlika
1.	Autobus	61.75%	21.91%	- 39.84%
2.	Tramvaj, trolejbus	7.17%	2.39%	- 4.78%
3.	Automobil	19.52%	35.46%	15.94%
4.	Bicikl	1.59%	3.98%	2.39%
5.	Peške	8.37%	34.66%	26.29%
6.	Voz	1.59%	1.59%	0.00%

Po pitanju rizika oboljevanja od pulmonoloških virusa u zagađenim sredinama, mišljenja ispitanika (1 - apsolutno nemaju veći rizik, 5 - apsolutno imaju veći rizik) su prikazana su u Tabeli 4.

Tabela 4: Rizik oboljevanja od pulmoloskih virusa u zagađenijim sredinama

R. br.	Pitanje	1	2	3	4	5	Srednja vrednost
1.	Da li smatrate da građani iz gradova/opština sa većim zagađenjem vazduha imaju veći rizik da obole od pulmonoloških virusa poput COVID-19 (virusi koji napadaju pluća)?	22	26	53	81	69	3.59
2.	Da li smatrate da građani iz gradova/opština sa većim zagađenjem vode imaju veći rizik da obole od pulmonoloških virusa poput COVID-19 (virusi koji napadaju pluća)?	32	37	87	56	39	3.13
3.	Da li smatrate da građani iz gradova/opština sa većim zagađenjem zemljišta imaju veći rizik da obole od pulmonoloških virusa poput COVID-19 (virusi koji napadaju pluća)?	39	37	91	53	31	3.00

5. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Prema odgovorima ispitanika na pitanja da li zagađenje vode, vazduha i zemljišta izaziva veći rizik od oboljenja prouzrokovanih virusima poput COVID-19, može se zaključiti da ispitanici pravilno smatraju da u gradovima u kojima je prisutno veće zagađenje vazduha postoji i veći rizik oboljevanja od pulmonoloških bolesti, nego što je to slučaj u sredinama koje odlikuje veće zagađenje vode ili zemljišta. Međutim, samo 95 ispitanika (37.85%) ispitanika je pravilno ocenilo da zagađenje vode takođe ima uticaj na širenje pandemije, imajući u vidu da su loši sanitarni uslovi, kontaminirana voda i loša sanitarna higijena usko povezani sa prenošenjem bolesti kao što su one čiji su izazivači koronavirusi.

Po prikazanim vrednostima odgovora, čak 115 (45.81%) ispitanika je ocenilo stanje zagađenosti životne sredine veoma loše ili loše. Takođe, najgore je ocenjen nivo zagađenja vazduha, dok su kao najmanje zagađenu ispitanici ocenili vodu. Ovo se može potvrditi i u odgovorima ispitanika na pitanje šta smatraju

najvećim ekološkim problemom u svojoj opštini, gde je najviše ispitanika prepoznalo zagađenje vazduha (44.22%), nakon čega je otpad (41.04%), zagađenje vode (13.15%) i na poslednjem mestu zagađenje zemljišta (1,59%). Ovako mali procenat koji se odnosi na zemljište vode se može obrazložiti time što velika većina ispitanika živi u gradskim sredinama – 98.41%.

Što se tiče samih efekata pandemije COVID-19 na životnu sredinu, zanimljivo je da čak 216 ispitanika (86.06%) smatra da rad od kuće smanjuje zagađenje životne sredine, a 225 njih (89.64%) veruje da će ljudi nakon pandemije nastaviti da se ponašaju prema životnoj sredini isto kao i ranije, dok svega njih 16 (6.37%) veruje da će vreme postpandemije biti sa pozitivnim efektima na životnu sredinu. Kao razlog navode: „Mislim da će primećeni rezultati viđeni tokom pandemije imati efekta na svest ljudi”; „Pandemija je mnoge ljude toliko uplašila da su u mnogome promenili svoje ponašanje i poglede na svet”; „Verujem da će više ljudi imati mogućnost da radi od kuće, a samim tim će se, ako ništa drugo, smanjiti zagađenje vazduha zbog smanjenog korišćenja prevoznih sredstava. Verujem i da će zbog toga doći do rasterećivanja Beograda i smanjenja zagađenosti u njemu”.

Jedan od možda najbitnijih, na žalost, efekata pandemije, bilo je upravo smanjenje zagađenja vazduha, prouzrokovano ukidanjem linija autobusa i zatvaranjem radnih mesta i fabrika, što i pokazuju odgovori ispitanika na pitanja koja su prevozna sredstva koristili pre i tokom pandemije, te je tako pre pandemije autobus koristilo 61.75% ispitanika, a tokom samo 21.91%; vožnja automobila je logično porasla za 15,94%, a kao i najbitnije sa stanovišta zaštite životne sredine - pešačenje je poraslo sa 8.37% na 26.29%.

Neminovno je da će narednih pet godina diktirati pravac u kome će se čovečanstvo kretati na planeti Zemlji. Po ko zna koji put, susrećemo se sa nesigurnošću, novinama i velikim odlukama. Jedino pitanje je u kojem pravcu ćemo ići? Da li će budućnost čoveka biti svet u kome se koriste čiste energije, beskontaktna plaćanja, veća bezbednost, ili će se svet brzo uljuljkati u stare navike, te početi sa većom proizvodnjom u pokušaju da povрати ekonomiju na staro, samim tim stvarajući ponovo štetan ciklus zagađenja i sa posledičnim negativnim uticajem na ljudsko zdravlje? Nadajmo se da nam pored zaštite od pandemija neće biti potrebna i zaštita od onoga što smo sami učinili, jer na pitanje da li će usled potrebe zaštite od virusa, polena i zagađenja maske biti naša budućnost i da li će postati deo naše svakodnevice, čak 42.30% ispitanika je odgovorilo da smatra da hoće.

6. LITERATURA

- [1] Bashir, M. F., Ma, B., Komal, B., Bashir, M. A., Tan, D., & Bashir, M. (2020). Correlation between climate indicators and COVID-19 pandemic in New York, USA. *Science of The Total Environment*, 138835.
- [2] Becchetti, L., Conzo, G., Conzo, P., & Salustri, F. (2020). Understanding the heterogeneity of adverse COVID-19 outcomes: the role of poor quality of air and lockdown decisions. Pristupljeno sa: https://www.researchgate.net/profile/Pierluigi_Conzo/publication/340587915_Understanding_the_Heterogeneity_of_Adverse_COVID-19_Outcomes_the_Role_of_Poor_Quality_of_Air_and_Lockdown_Decisions/links/5eb133f492851cb267742533/Understanding-the-Heterogeneity-of-Adverse-COVID-19-Outcomes-the-Role-of-Poor-Quality-of-Air-and-Lockdown-Decisions.pdf.
- [3] Berchin, I. I., & de Andrade, J. B. S. O. (2020). GAIA 3.0: Effects of the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) outbreak on sustainable development and future perspectives. *Research in Globalization*, 100014.
- [4] Chen, H., Guo, J., Wang, C., Luo, F., Yu, X., Zhang, W., ... & Liao, J. (2020). Clinical characteristics and intrauterine vertical transmission potential of COVID-19 infection in nine pregnant women: a retrospective review of medical records. *The Lancet*, 395(10226), 809-815.
- [5] Conticini, E., Frediani, B., & Caro, D. (2020). Can atmospheric pollution be considered a co-factor in extremely high level of SARS-CoV-2 lethality in Northern Italy?. *Environmental pollution*, 114465.
- [6] Cui, Y., Zhang, Z. F., Froines, J., Zhao, J., Wang, H., Yu, S. Z., & Detels, R. (2003). Air pollution and case fatality of SARS in the People's Republic of China: an ecologic study. *Environmental Health*, 2(1), 1-5.
- [7] Fattorini, D., & Regoli, F. (2020). Role of the chronic air pollution levels in the Covid-19 outbreak risk in Italy. *Environmental Pollution*, 114732.
- [8] Gorbalenya, A. E., Baker, S. C., Baric, R., Groot, R. J. D., Drosten, C., Gulyaeva, A. A., ... & Penzar, D. (2020). Severe acute respiratory syndrome-related coronavirus: The species and its viruses—a statement of the Coronavirus Study Group.

- [9] He, G., Pan, Y., & Tanaka, T. (2020). COVID-19, City Lockdowns, and Air Pollution: Evidence from China. Pristupljeno sa: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.03.29.20046649v2>.
- [10] Institut za javno zdravlje „Dr Milan Jovanović Batut”. (2020). Pitanja i odgovori o bolesti uzrokovanoj novim koronavirusom COVID-19. Pristupljeno sa: http://www.batut.org.rs/index.php?category_id=205.
- [11] Jones, P., & Comfort, D. (2020). The COVID-19 Crisis, Retailing and Sustainable Development. Pristupljeno sa: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-030-13895-0_124-1.pdf.
- [12] Muhammad, S., Long, X., & Salman, M. (2020). COVID-19 pandemic and environmental pollution: a blessing in disguise?. *Science of The Total Environment*, 138820.
- [13] Peeri, N. C., Shrestha, N., Rahman, M. S., Zaki, R., Tan, Z., Bibi, S., ... & Haque, U. (2020). The SARS, MERS and novel coronavirus (COVID-19) epidemics, the newest and biggest global health threats: what lessons have we learned?. *International journal of epidemiology*.
- [14] Qi, H., Xiao, S., Shi, R., Ward, M. P., Chen, Y., Tu, W., ... & Zhang, Z. (2020). COVID-19 transmission in Mainland China is associated with temperature and humidity: A time-series analysis. *Science of the Total Environment*, 138778.
- [15] Republika Srbija Ministarstvo zdravlja, Institut za javno zdravlje „Dr Milan Jovanović Batut”. (2020). Statistički podaci o korona virusu. Pristupljeno sa: <https://covid19.rs/статистички-подаци-о-коронавирусу/>.
- [16] Tosepu, R., Gunawan, J., Effendy, D. S., Lestari, H., Bahar, H., & Asfian, P. (2020). Correlation between weather and Covid-19 pandemic in Jakarta, Indonesia. *Science of The Total Environment*, 138436.
- [17] United Nations – UN. (2020). Shared responsibility, global solidarity: Responding to the socio-economic impacts of COVID-19. Pristupljeno sa: <https://unsdg.un.org/sites/default/files/2020-03/SGReport-Socio-Economic-Impact-of-Covid19.pdf>.
- [18] United Nations Development Programme – UNDP. (2020). COVID-19 pandemic Humanity needs leadership and solidarity to defeat the coronavirus. Pristupljeno sa: <https://www.undp.org/content/undp/en/home/coronavirus.html>.
- [19] Wang, M., Jiang, A., Gong, L., Luo, L., Guo, W., Li, C., ... & Chen, Y. (2020). Temperature significant change COVID-19 Transmission in 429 cities. Pristupljeno sa: <https://www.medrxiv.org/content/medrxiv/early/2020/02/25/2020.02.22.20025791.full.pdf>.
- [20] World Health Organization – WHO. (2020a). Drinking-water. Pristupljeno sa: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>.
- [21] World Health Organization – WHO. (2020b). Novel Coronavirus(2019-nCoV) Situation Report-51 2020. Pristupljeno sa: <https://www.who.int/docs/default-%20source/coronaviruse/situation-reports/20200311-sitrep-51-covid-19.pdf?>
- [22] Wu, X., Nethery, R. C., Sabath, B. M., Braun, D., & Dominici, F. (2020). Exposure to air pollution and COVID-19 mortality in the United States. Pristupljeno sa: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.05.20054502v2.full.pdf>.
- [23] Xie, M., & Chen, Q. (2020). Insight into 2019 novel coronavirus - an updated intrim review and lessons from SARS-CoV and MERS-CoV. *International Journal of Infectious Diseases*.
- [24] Zhang, Z., Xue, T., & Jin, X. (2020). Effects of meteorological conditions and air pollution on COVID-19 transmission: Evidence from 219 Chinese cities. *Science of The Total Environment*, 140244.
- [25] Zhu, Y., & Xie, J. (2020). Association between ambient temperature and COVID-19 infection in 122 cities from China. *Science of the Total Environment*, 138201.

Elektronsko poslovanje

Electronic business



ELEKTRONSKA PLAĆANJA KAO SREDSTVO PRANJA NOVCA

ELECTRONIC PAYMENTS AS A MONEY LAUNDER

JELENA PEKOVIĆ¹, STEFAN ZDRAVKOVIĆ²

¹ Ekonomski fakultet, Kragujevac, jelenapekipekovic@gmail.com

² Ekonomski fakultet, Kragujevac, szdravkovic034@yahoo.com

Rezime: Izvršioi krivičnih dela nastoje da legalizuju prihode koji su stečeni kriminalnim aktivnostima ili da ih prikažu kao da potiču iz nekih legalnih pravnih poslova, jer borba protiv kriminaliteta je upravo i usmerena na zaplenu sredstava stečenih kriminalnom delatnošću i onemogućavanjem uključivanja takvih sredstava u legalne finansijske tokove. Danas se koriste različite tehnike pranja novca za prikrivanje porekla, priroda, izvora, lokacije, položaja ili vlasništva nelegalno stečenog novca. Radna grupa za finansijsku akciju (FATF) je identifikovala mnoge aktivnosti i tipologije koje se koriste za pranje novca kao što su ofšor kompanije, „smurfing“ praksa, transferi itd. Mnoge od ovih aktivnosti vrše se uz pomoć elektronskih sistema plaćanja. Na osnovu navedenog predmet rada je analiza elektronskih plaćanja kao sredstva koje se često koristi za pranje novca. Cilj rada je da se ukaže na osnovne specifičnosti sistema elektronskog plaćanja kao sredstva za pranje novca, odnosno jednog od mehanizama za ubacivanja nelegalno stečenih prihoda u legalne finansijske tokove. Prednosti i pogodnosti elektronskih sistema plaćanja u vidu brzine, mobilnosti i anonimnosti su samo nekih od razloga zašto elektronska plaćanja danas predstavljaju najrasprostanjeniji mehanizam za pranje novca. U radu je dat prikaz tehnika pranja novca koje uključuju upotrebu sistema elektronskih plaćanja.

Ključne reči: pranje novca, tehnike pranja novca, elektronska plaćanja.

Abstract: The perpetrators of criminal offenses seek to legalize the proceeds of criminal activities or to present them as originating from some legal legal affairs, since the fight against crime is precisely aimed at seizing the proceeds of crime and preventing such funds from being included in legal financial flows. Today, different techniques of money laundering are used to conceal the origin, nature, source, location, position or ownership of illegally acquired money. The Financial Action Task Force (FATF) has identified many activities and typologies used for money laundering such as offshore companies, smurfing practices, transfers, etc. Many of these activities are done through electronic payment systems. Based on the above, the subject of the paper is the analysis of electronic payments as a means that is often used for money laundering. The aim of this paper is to point out the basic specifics of the electronic payment systems as a means of money laundering, relatively one of the mechanisms for inserting illegally acquired income into legal financial flows. Advantages and benefits of electronic payment systems in the form of speed, mobility and anonymity are just some of the reasons why electronic payments are the most widely used money laundering mechanism today. The paper presents money laundering techniques that include the use of electronic payment systems.

Keywords: money laundering, money laundering techniques, electronic payments.

1. UVOD

Globalizacija kao planetarni fenomen i proces, znatno je uticala na odvijanje svetskih ekonomskih procesa i rušenje određenih barijera koje su se nalazile na putu implementacije tih procesa. Pored pozitivnih, ali i negativnih efekata ovog procesa, može se reći da su rušenje barijera, razvoj finansijskih tržišta, pojava novih oblika ekonomskih i poslovnih aktivnosti i finansijskih transakcija i drugi elementi procesa globalizacije, doveli i do različitih novih, ali i usavršenijih postojećih oblika prevara. Jedan od najčešćih oblika prevara sa sve većim negativnim efektima je pranje novca.

Značajna karakteristika pranja novca je i to što je zahvatila gotovo sve segmente poslovnih aktivnosti tako da gotovo nema privrednog sektora koji nije zahvaćen ovom pojavom. Sa razvojem tehnologije razvijale su se i tehnike pranja novca koje su svoju kulminaciju dostigle sa upotrebom različitih elektronskih sistema plaćanja u svim fazama pranja novca. Iz tog razloga, rad je baziran na utvrđivanju različitih tehnika pranja

novca uz pomoć elektronskih sistema plaćanja i utvrđivanju njihovih pogodnosti za ove aktivnosti. Takođe, za potrebe rada podaci o pranju novca su prikupljeni u vidu sekundarnih podataka sa sajtova relevantnih ustanova, kao i iz međunarodnih i nacionalnih časopisa koji su obrađivali ovu temu.

Na osnovu iznetog **predmet rada** je analiza elektronskih plaćanja kao sredstva koje se često koristi za pranje novca. **Cilj rada** je da se ukaže na osnovne specifičnosti sistema elektronskog plaćanja kao sredstva za pranje novca, odnosno jednog od mehanizama za ubacivanja nelegalno stečenih prihoda u legalne finansijske tokove i izvlačenje novca iz legalnog poslovanja preko kompanija u „poreskim rajevima“.

Rad će biti strukturiran kroz tri dela. Nakon uvodnog dela, biće prikazan pregled relevantne literature u kome će biti obrazložene tehnike pranja novca upotrebom različitih elektronskih sistema plaćanja (transferi, offshore kompanije, finansijski proizvodi), način na koji se novac „pere“ uz pomoć elektronskih sistema plaćanja, pogodnostima upotrebe elektronskih sistema plaćanja kao sredstva za pranje novca, zemlje „poreski rajevi“ i nacionalna i međunarodna regulativa u oblasti borbe protiv pranja novca. Konačno na osnovu svega iznetog biće prezentovane radnje i mere za ograničavanje i suzbijanje pranja novca.

2. PREGLED LITERATURE

2.1. Pojam „pranja novca“

Kao i mnogi teorijski pojmovi, tako je i pranje novca nastalo najpre u praksi iz aktivnosti klasičnog kriminala. Ova pojava, dakle, nastala je izvorno kao oblik kriminalnih aktivnosti. Interesantan je istorijat nastanka ovog pojma. Opisujući istorijski momenat nastanka pranja novca, Lilley (2006) navodi da je ovaj termin najverovatnije nastao u Sjedinjenim Američkim Državama 1920-tih godina. Kriminalne organizacije su problem ubacivanja nezakonito stečenog novca u legalne novčane tokove rešavale tako što su preuzimale preduzeća sa velikim gotovinskim novčanim tokovima, kao što su perionice odeće ili perionice kola. Prljavi novac stečen kriminalom, mešan je sa novcem stečenim legalnim poslovanjem perionica i na taj način izlazio kao legalno stečeni prihod. Dakle, sam pojam-termin pranje novca, je u bukvalnom smislu asocijativno povezan sa poslovnom aktivnošću pranja odeće i kola.

Pod pranjem novca podrazumeva se proces uvođenja novčanih sredstava, stečenih nelegalnim aktivnostima, u legalne tokove (Levi and Reuter, 2011). Ukratko, on opisuje postupak kojim se "prljav" novac pretvara u "čisti" novac (Spremann, 2000). Očito je da se pranje novca ne može raditi „na otvorenom“ i ponekad zahteva sofisticirana sredstva za prikrivanje stvarnog porekla imovine. Kriminalne aktivnosti poput trgovine narkoticima i oružjem, krijumčarenja nafte, alkohola i cigareta, prodaje belog roblja, iznude i reketiranje stvaraju veliku količinu novca koja se po pravilu nalazi u obliku gotovine (Tomić, 2017). „Prljavi“ novac može doći i iz legalnog poslovanja, a nastaje izbegavanjem plaćanja poreza, fingiranjem poslovnih aktivnosti, paušalnim naplaćivanjem konsultantskih ili marketinških usluga itd.

2.2. Tehnike „pranja novca“

Tehnike pranja novca uključuju direktnu upotrebu sistema elektronskog plaćanja za finansiranje terorizma ili njihovu upotrebu kao „prevoznog sredstva“ u jednom od tri faze ciklusa pranja novca (NBS, 2020). Prvu fazu čini „ulaganje“, tj. prekidanje direktne veze između novca i nezakonite aktivnosti kojom je on stečen. U njoj se nezakonito stečeni novac uvodi u finansijski sistem. Drugu fazu čini „prikrivanje“, kada se novac, nakon što je ušao u legalni finansijski sistem, prebacuje s računa na koji je položen na druge račune. Glavni cilj tih transakcija jeste prikrivanje veze između novca i kriminalne aktivnosti od koje potiče. Treća faza je faza „integracije“, u kojoj se „prljav“ novac javlja kao novac koji potiče od dozvoljene delatnosti.

Razvoj internet bankarstva dovodi do pojave novih bankarskih proizvoda i usluga putem mreža čime su pomaknute vremenske i prostorne granice tradicionalnog bankarstva i u velikoj meri olakšan transfer novca (Zirojević, 2017). Transferi su finansijske transakcije kojima se novac telekomunikacijskom mrežom prenosi od pošiljaoca do primaoca elektronskim putem. U slučaju pranja novca, pošiljalac i primalac prenosa je jedna te ista osoba koja pokušava da prikrije poreklo novca kroz nekoliko transfera novca. Uprkos različitim metodima praćenja porekla novca transferi su i dalje efikasan način prenosa novca.

Strukturalna plaćanja se takođe nazivaju „smurfing“ (smurfing). Velike isplate se podele i prenose u manjim iznosima koji su ispod zakonske vrednosti gde se vrši provera računa zbog sumnje u pranje novca. Takva plaćanja se sprovode preko nekoliko različitih kanala (telefoni, internet bankarstvo, čip kartice za kupovinu, mobilni platni sistemi) radi dodatnog prikrivanja sturkturalnih plaćanja (James and Lokanan, 2019).

Otvaranje bankovnih računa kao i transferi, mogu se odvijati samo na Internetu, pa se istraga mora oslanjati samo na elektronske dokaze kao što su posede IP adrese, informacije o izvršenim transakcijama sačuvanim na serveru Internet provajdera (ISP) (James and Lokanan, 2019). Međutim, Internet provajderi

često se biraju iz zemalja bez restriktivne regulacije banaka ili zemalja koje ne saraduju sa organizacijama poput FATF-a koje omogućavaju razmenu između pružoca usluga, banaka i vlasti. Takođe, relevantne informacije o transakcijama mogu se šifrirati simetrično ili asimetrično pomoću kriptografskih softverskih programa (koji sadrže poznati algoritmi kao RSA, AES, Triple-DES, itd.) i prema tome, mogu biti poverljivo razmenjivani između učesnika (npr. terorista) bez rizika da budu obelodanjeni od strane vlasti.

Neformalni sistemi za prenos novca, kao što je Hawala, omogućavaju posebnu kategoriju transfera na Dalekom i Bliskom Istoku. Novac se polaže na Hawala račun - koji je u zemlji uplatioca i preuzima ga drugi predstavnik Hawala-e u zemlji primaoca (Raza, Fayyaz and Ijaz, 2017). Plaćanja u sistemu Hawala pretežno su izvršena na bazi novčanih sredstava, dok se komunikacija i potvrda plaćanja pojavljuju elektronskim putem (npr. e-pošta, faks, čet). Otuda i sistem prenosa Hawala kombinuje prednosti tradicionalnih novčanih sistema (anonimnost i prenosivost na druge privatne osobe) sa prednostima elektronske komunikacije (visoka brzina i ekonomičnost).

Upotreba tzv. offshore korporacija nudi drugu metodu za prenos velikih novčanih transfera. Offshore korporacije su preduzeća bez uobičajene poslovne aktivnosti, imovine i obaveza. One se radije koriste samo kao posrednik za transfer kapitala (Jancsics, 2017). Generalno, offshore korporacije imaju samo adresu, menadžera (nominovanog kao advokat) ili menadžera offshore korporacije, i često mnogo bankovnih računa. Sredstva se šalju elektronskim putem preko bankovnih računa i između različitih mesta širom sveta.

Prednosti offshore korporacije su izuzeće plaćanja poreza i stroga zaštita privatnosti korisnika od strane advokata i klijenta, npr. u slučaju istrage nadzornih organa druge zemlje. Offshore korporacije u priobalnim zemljama su pogodne za fazu integracije pranja novca (Cooley and Heathershaw, 2017). Nakon što je novac premešten u priobalni centar (npr. strukturirano plaćanje putem nekoliko bankovnih računa, dobrotvornih organizacija ili prenosom virtualnih podataka valute zlata), mogu se vratiti vlasniku u legalnom obliku.

Registrovane kompanije ili neprofitne organizacije poput dobrotvornih organizacija, mogu preneti veće iznose preko granica (Janicsics, 2017). Dobrotvorne organizacije često se osnivaju u kriznim područjima gde su i teroristi aktivni. Čak i ako preduzeća ili organizacije budu pod nadzorom vlasti (npr. nadzor banaka ili poreski organi), to uglavnom vodi ka indikacijama za finansiranje terorizma i pranje novca. Takođe, onlajn provera sadržaja WWW-a predstavlja direktne indikacije o sumnjivim slučajevima. U takvim slučajevima trebalo bi pretražiti spisak donatora dobrotvornih organizacija.

Uloga sistema elektronskog plaćanja u tradicionalnoj tehnologiji pranja novca je veoma važna. Većina transfera se vrši elektronskim putem, putem elektronskog bankarstva (npr. elektronski transfer sredstava - electronic fund transfers - EFT), putem SWIFT-a, TARGET-a ili uključivanjem virtuelnih valuta poput zlatnih valuta na internetu (Vandezande, 2017). Mnogi provajderi virtuelnih valuta zlata nalaze se u offshore centrima pri čemu transferi u fazi slojevitosti pranja novca mogu biti anonimni. Prenosi su često konačni (bez rizika vraćanja) i ne ostavljaju nikakve podatke. Bez elektronskog sistema plaćanja, ovi modeli pranja novca sa korporacijama (ili sa offshore zemljama) ne bi bili tako efikasni jer bi zahtevali fizički prenos gotovine putem kurira do offshore centra u fazi smeštanja novca, uz rizik da budu otkriveni.

2.3. Pogodnosti elektronskih sistema plaćanja za „pranje novca“

Odabir elektronskog sistema plaćanja za ilegalne aktivnosti pranja novca zavisi od mnogih faktora kao što su trajanje operacija, iznos novca koji se prenosi, da li je u pitanju međunarodni ili lokalni karakter prenosa, a takođe, zavisi i od individualnih sklonosti „perača novca“. Sistem elektronskog plaćanja se ne može analizirati pomoću univerzalnog uzorka ili matrice koja sadrži specifične karakteristike. U svetu postoji veliki broj platnih sistema koji omogućavaju obavljanje međunarodnih transfera na brz i fleksibilan način, putem anonimnih naloga i samim tim su pogodni za pranje novca. Pripejd pametne kartice sa prepisivom memorijom koje čuvaju elektronske valute su višenamenski instrument plaćanja koji se može koristiti u stacionarnoj trgovini za transfere između osoba, kao i za e-trgovinu. Većina pripejd kartica je pogodna za pranje novca samo za ograničen vremenski period i to do limitiranog iznosa zbog postojanja maksimalnog fiksnog iznosa za učitavanje kartice (npr. 200 evra za GeldKarte) ili prema karakteru plaćanja (Woda, 2006).

Ostale unapred plaćene kartice, poput kupon kartice Paysafecard koja se može kupiti u prodavnicama u Austriji kao anonimna telefonska kartica sa pretplatom takođe je pogodna kao plasman za pranje novca. Pomoću Paysafecard kartice kupac može platiti u aplikacijama za e-trgovinu robu ili usluge, dok provajder sistema samo proverava kreditni saldo kartice uz pomoć PIN-a od 16 cifara (odštampan je na kartici i klijent ga briše zbog plaćanja). Ostale pripejd kartice sa elektronskim čipom, koje funkcionišu kao „elektronska torbica“, jesu pogodne za pranje novca, ali samo kroz jednu transakciju, tj. fazu. Transakcije skladišti dobavljač sistema i mogu se povezati zajedno na osnovu određenih identifikacionih karakteristika kao što su serijski broj, broj kartice, broj računa ili broj terminala (Winn and Wright, 2000). Projekti sa elektronskim platnim sistemima su često samo nacionalnog karaktera, što ih ne čini pogodnim za međunarodne transfere.

Generalno, mobilne platne sisteme karakterišu velika fleksibilnost u mnogim aplikacionim domenima (mobilna trgovina, elektronska trgovina, stacionarna trgovina) i velika mogućnost povezivanja kupca i onlajn dobavljača. Ostale karakteristike, kao što su anonimnost i praktičnost, su specifične za određen sistem i često usko zavise od prevoznog medija koji se koristi u sistemu (kartice sa direktnim zaduženjem ili pripejd kartice), načini punjenja (npr. telefonski račun) ili načini pristupa aplikaciji za plaćanje (oflajn u odnosu na onlajn). Onlajn platni sistemi imaju aplikacije za plaćanje na serveru provajdera sistema i zahtevaju autentifikaciju korisnika u realnom vremenu (James and Lokanan, 2019). U oflajn mreži, podaci se čuvaju u krajnjem mobilnom uređaju (čip kartica). Stoga sistemi za oflajn plaćanja obično nisu zasnovani na računima sa pripejd podacima (garancija plaćanja za primaoca) i anonimni su (anonimne pripejd kartice; plaćanje nastaje kada se valutne jedinice prebacuju sa pretplatničke kartice kupca na ponovni server kartice u realnom vremenu kao u IrDA, Bluetooth, itd.).

Virtuelne valute zlata (npr. Goldmoney, e-Bullion, AnonymousGold) su elektronski platni sistemi zasnovani na računima čija je vrednost podržana sa 100% zlatnim depozitom u fizičkom obliku (poluge, šipke). Zlatne rezerve se nalaze u privatnim skladištima provajdera dobavljača sistema koji često posluje iz ofšore zemlje. U slučaju zlata, samo određene težine zlata knjiže se na računima primalaca (dok se posedovanje zlatnih rezervi stalno menja, zlato u trezoru ostaje netaknuto). Za razmenu ili kupovinu zlatnih valuta, korisnik otvara račun za virtuelnu zlatnu valutu kod sistemskog provajdera. Zahtevi za identifikacijom su zanemarljivi u poređenju sa otvaranjem bankovnog računa i često su ograničeni samo na zahtev za formiranje kao što su ime, adresa e-pošte i povremeno fizička adresa kojoj se šalje „verifikacioni kod“ (Vandezande, 2017). Takođe, može se tražiti da se kopija lične karte pošalje faksom ili da se skenira. Međutim, takva verifikacija će često izostati ako transakcije ne prelaze vrednost od 15.000 evra.

Zbog nedostatka regulative, nelegalne transakcije su lako izvodljive korišćenjem kriptovaluta. U tradicionalnom bankarskom sistemu računi se koriste kada centralni organ vlasti deponira ili povlači novac u ime vlasnika računa ili postupkom njegovih članova uz odobrenje te centralne vlasti. Ispravnost svih transakcija verifikuje se preko centralne banke. Međutim, kod kriptovaluta, korisnici nemaju račune u tradicionalnom smislu. Uz kriptovalute, svaka jedinica (kovanica) svake kriptovalute prati se nizom pristupnih ključeva koji identifikuju svaku pojedinačnu kovanicu. U sistemu kriptovaluta od korisnika se ne traži da otkrivaju lične podatke prilikom transakcija. Kriptovaluta je usko povezana sa pranjem novca pre svega zbog anonimnosti koju pruža. Korišćenjem kriptovaluta u procesu pranja novca, kriminalne organizacije su u mogućnosti da kanaliziraju sredstva sa sve većom lakoćom i izbegnu istragu od strane vlasti (Albrecht, Duffin, Hawkins and Morales Rocha, 2019).

Strukturalna plaćanja za pranje novca ili finansiranje terorizma mogu se izvršiti korz otvaranje nekoliko računa kod provajdera sistema ili računa kod mnogih različitih provajdera bez potrebe za identifikacijom (samo adresa e-pošte). Slične verifikacije su takođe obavezne kod agenata koji menjaju zlatne valute za nacionalne valute širom sveta. Direktni transferi između korisnika koji vrše razmenu virtualnih zlatnih valuta za različite nacionalne valute su dozvoljeni (što pokazuje pogodnost za „fazu slojevitosti“ kod pranja novca). Transferi se vrše vrlo brzo širom sveta i bez rizika povraćaja novca. Za podizanje gotovine i integraciju faza pranja novca, posebne platne kartice Automated Teller Machines (ATM) su veoma pogodno (Vandezande, 2017). Takve anonimne ATM kartice često izdaju ofšor banke bez imena, adrese ili kreditne istrage i može se koristiti širom sveta za podizanje gotovine sa bankomata ili računa sa virtuelnom zlatnom valutom.

2.4. „Poreski rajevi“

Zemlje željne privlačenja stranog kapitala suočavaju se sa velikim međunarodnim pritiskom da minimiziraju svoje oporezivanje dohotka ostvarenog od strane inostranih investitora. „Poreska utočišta“ su lokacije sa vrlo niskim poreskim stopama i drugim poreskim atributima dizajniranim za privlačenje stranih investitora. Zemlje poreski rajevi dobijaju obimna strana ulaganja i, uglavnom, kao rezultat, u poslednjih 25 godina, za uzvrat dobile su vrlo brz ekonomski rast (Hines, 2005). U svetu danas postoji oko 40 glavnih poreskih rajeva (Dhormapad and Hines, 2009). Porezne oaze privlače strane investicije ne samo zbog toga što se zarađeni prihodi oporezuju po povoljnim stopama, već i zbog toga što aktivnosti u poreskim utočištima omogućavaju izbegavanje poreza koji bi u suprotnom morali biti plaćeni u drugim zemljama (Devereux, 2007).

Potrebno je izvršiti razgraničenje propalih od slabih država. Propale države su države koje niko ne priznaje. Međutim, slabe države su plodno tlo za organizovani kriminal i terorizam, jer su legitimne države, ali nesposobne da zadovolje potrebe stanovništva, da kontrolišu granice i uspostave efikasnu vladu (Matijašević, 2010). Prljav novac se u principu pere u zemljama koje ne traže da se prijavljuje ni osnovna suma depozita u gotovini i zatim prebacuje u zapadne banke, koje ne moraju da znaju kriminalno poreklo tog novca (Levi, 1991). Globalizacija je omogućila finansijskim institucijama da preko okeana obavljaju poslove koji su zabranjeni u njihovoj državi (Passas, 1996). Države u svetu koje predstavljaju „raj“ za pranje

novca su Bahami, Hong Kong, Panama, koje istovremeno imaju i pogodan bankarski sistem za takve delatnosti i važni su tranzitni centri za promet droge. Najpogodniji gradovi za pranje novca u SAD-u su Njujork, Los Anđeles, Majami i Hjuston, a u Kanadi Montreal, Toronto i Vankuver (Robinson, 1995).

Radna grupa za uspostavljanje finansijskih i kontrolnih mera protiv pranja novca (Financial Action Task Force on Money Laundering, skraćeno FATF), je jedna od vodećih međunarodnih organizacija za prevenciju i borbu protiv pranja novca. Ova organizacija vrlo blisko saraduje sa Svetskom bankom i Međunarodnim monetarnim fondom i sastavlja listu zemalja i teritorija koje ne saraduju u borbi protiv pranja novca. Razrađeno je 25 kriterijuma koje svaka zemlja treba da zadovolji, da se ne bi našla na ovoj listi. Juna 2000. godine na listi se nalazilo 15 zemalja, a trenutno se na listi nalazi sedam zemalja. Na zasedanju FATF u periodu od 16. do 21. juna 2019. godine, Republika Srbija je skinuta sa „sive liste“ (Uprava za sprečavanje pranja novca, 2019). Kada se neka zemlja ne nalazi na ovoj listi, to ne znači da pranja novca u toj zemlji nema, već da relevantni podaci iz njenog bankarskog, pravosudnog i privrednog sistema to ne pokazuju.

2.5. Nacionalna i međunarodna regulativa u borbi protiv „pranja novca“

Krivično delo pranja novca je u srpskom zakonodavstvu regulisano Zakonom o sprečavanju pranja novca i finansiranju terorizma ("Sl. glasnik RS", br. 113/2017, 91/2019). Pranjem novca, u smislu ovog zakona, smatra se: konverzija ili prenos imovine stečene izvršenjem krivičnog dela, prikriivanje ili netačno prikazivanje prave prirode, porekla, mesta nalaženja, kretanja, raspolaganja, vlasništva ili prava u vezi sa imovinom koja je stečena izvršenjem krivičnog dela i sticanje, držanje ili korišćenje imovine stečene izvršenjem krivičnog dela. Za sprovođenje ovog Zakona nadležna je Uprava za sprečavanje pranja novca.

Ujedinjene nacije donele su, između ostalih, Konvenciju protiv nezakonitog prometa opojnih droga i psihoaktivnih supstanci poznatijom pod nazivom Bečka konvencija (doneta je u Beču 19. decembra 1988. godine). Ovom konvencijom se razmatra problem i određuju načini borbe protiv trgovaca narkoticima oduzimanjem profita stečenih od nezakonite proizvodnje i prometa narkotika, i promoviše međunarodna saradnja država članica. Bečka konvencija je važna zato što je to prvi dokumenat kojim se kažnjava pranje novca, iako se kažnjavanje odnosi samo na ograničeni broj dela (Konvencija se odnosi samo na promet droge), odnosno dela iz kojih proizlazi prljavi novac (Condemi and Pasquale, 2005).

Tehnička rešenja predstavljaju najzanimljivije i, istovremeno, najefikasnije pristupe rešenjima koji se tiču autentifikacije korisnika ili praćenja transakcije (Woda, 2006). Digitalni potpisi i potvrde zasnovane na infrastrukturi javnog ključa (PKI) - Ovo je hijerarhijska tehnologija sertifikacije zasnovana na asimetričnom kriptografijama za autentifikaciju, poverljivost i integritet podataka što se tiče elektronskih transakcija. Generacije parova ključeva i poverljivih distribucija javnih ključeva sa potvrdama su takođe prenosnik za borbu protiv pranja novca vođenih na različite načine za elektronski sistem plaćanja zbog činjenice da osiguravju praktično čitav svet - široka autentifikacija učesnika transakcije (interoperabilnost širom sveta). Posebni kriptografski protokoli, kao što su na primer oflajn plaćanja protokolima Chaum, Fiat and Naor, razvijenih na osnovu prirode "slepeg signala" za anonimni postupak oflajn plaćanja. Za razliku od onlajn plaćanja gde se postupci linijskog plaćanja i verifikacioni procesi obrađuju u stvarnom vremenu između trgovaca i banaka i elektronski čekovi i kovanice prikupljaju se u protokolima, kod oflajn plaćanja trgovci ih predaju banci u zbirnom obliku na kraju određenog perioda.

3. ZAKLJUČAK

Smatra se da se godišnje u svetu „opere“ oko 900 milijardi dolara od čega gotovo polovina novca dolazi iz ilegalne trgovine drogom. To upućuje na povezanost pojave pranja novca s organizovanim kriminalom koji u najvećem obimu stoji iza ilegalne trgovine drogom.

Na osnovu podržanih karakteristika u sistemu elektronoskog plaćanja, zlatne valute su često najpogodnije kao sredstvo za pranje novca. Ostali elektronski platni sistemi imaju druge karakteristike koje ih čine privlačnim za pranje novca. Tako na primer, ripejd kartice su najpogodnije za fazu plasiranja, mobilni sistemi plaćanja za fazu slojevitosti, dok su virtualne zlatne valute najpogodnije za fazu integracije. Broj mogućih kombinacija za nezakonite radnje se znatno povećavaju kada su uključene i druge tradicionalne tehnike (npr., posredovanje ofšor kompanija). Pranje novca je složeno i proces koji se neprestano menja i zato se moraju stalno preduzimati i osmišljavati novi načini u borbi protiv ove ilegalne aktivnosti.

Efikasnim i preventivnim delovanjem sprečavaju se korupecija i pranje novca, jer se preduzetim merama deluje na uzroke i uslove koji pogoduju vršenju krivičnog dela pranja novca. Jedan od načina prevencije uzroka pranja novca jeste kontrolna funkcija koja, ukoliko se efikasno sprovodi, može uticati na to da se spreči razvoj postojećih i nastanak novih oblika pranja novca. Neophodno je obrazovanje i dosledna primena etičkih principa kod svakog pojedinačnog učesnika u ekonomskim transakcijama, kao i briga

države, monetarne i zakonodavne vlasti sa ciljem sprečavanja, otkrivanja i suzbijanja brojnih modaliteta ovih nedozvoljenih aktivnosti. Cilj treba da bude postizanje visokog nivoa antikorupcijske kulture. Dakle, efikasno suzbijanje pranja novca podrazumeva poznavanje uslova otkrivanja svih kriminogenih faktora koji doprinose njegovom nastajnju i razvoju. Na osnovu toga potrebno je planirati preventivnu i represivnu aktivnost, što bi omogućilo određenu kontrolu nastanka i razvoja ovog oblika organizovanog kriminala, ali i sprečavanje pojave novih formi.

LITERATURA

- [1] Albrecht, C., Duffin, K., Hawkins, S., & Morales Rocha (2019). The use of cryptocurrencies in the money laundering process. *Journal of Money Laundering Control*, 22(2), 210-216.
- [2] Condemni, M., & De Pasquale, F. (2005). International profiles of the activity to prevent and combat money laundering, Zagreb.
- [3] Cooley, A., & Heathershaw, J. (2017). *Dictators without borders: power and money in Central Asia*. Yale University Press, London.
- [4] Devereux, M. (2007). The impact of taxation on the location of capital, firms and profit: a survey of empirical evidence. *Oxford University Centre for Business Taxation Working Paper*, 7(2).
- [5] Dhormapad, D., & Hinkes J. (2009). Which countries becomes tax havens, *Journal of Public Economics*, 93, 1058-1068.
- [6] Hines J. (2005). Do tax havens flourish? In: Poterba, J.M. (Ed.), *Tax Policy and the Economy*, 19., 65–99.
- [7] Jancsics, D. (2017) Offshoring at home? Domestic use of shell companies for corruption. *Public Integrity* 19(1), 4–21.
- [8] James W., & Lokanan., M. (2019). Anti-money laundering and counter-terrorist financing threats posed by mobile Money. *Journal of Money Laundering Control*. doi:10.1108/JMLC-10-2017-006
- [9] Levi, M. (1991). Pecunia non Olet : Cleansing the Money Launderers from the Temple Crime, *Law and Social Change*, 16, 217-302.
- [10] Lilley, P. (2006). *Dirty dealing: - e untold truth about global money laundering, international crime and terrorism*. London: Kogan Page Publishers.
- [11] Levi, M., & Reuter, P. (2011). Money Laundering, in Tonry, M. (ed.) *The Oxford handbook of crime and public policy*, Oxford University Press, 289-375.
- [12] Matijašević, J. (2010). Pranje novca, aktuelni oblik organizovanog kriminala, *Pravo – teorija i praksa*, 5(6), 118-131.
- [13] Passas, N (1996). The Corruption of Politics and the Politics of Corruption, *Journal of Law and Society*, 23(1), 57-72.
- [14] Robinson, J. (1995). *The Laundermen*, London, 1995, 101-137.
- [15] Razza M., Fayyaz., M., & Ijaz, H. (2017). The Hawala system in Pakistan; a catalyst for money laundering and terrorist financing. *Forensic research and criminology international journal*, 5(4).
- [16] Spremann, K. (2000). *Money Laundering Course*. Washington, DC, United States: Inter-American Development Bank.
- [17] Tomić N. (2017). *Valorizacija elektronskih sistema plaćanja u funkciji unapređenja platnog prometa*. Neobjavljena doktorska disertacija. Ekonomski fakultet Univerziteta u Kragujevcu, Kragujevac, Republika Srbija.
- [18] Vandezande., N. (2017). Virtuel currencies under EU anti-money laundering law, *Computer Law and Security Review*, 33(3), 341-353.
- [19] Winn. K, & Wright., B. (2000). *The law of electronic commerce*, Aspen.
- [20] Woda, K (2006). Money laundering techniques with electronic payment systems. *Information and Security*, 18, 27-47.
- [21] Zirojević, A. (2017). Specifičnosti pranja novca u bankarskom sektoru. *Pravo - teorija i praksa*, 34(7/9), 16-26.
- [22] https://www.nbs.rs/internet/latinica/55/55_7/index.html (Pristupljeno:15.02.2020)



POKAZATELJI OD ZNAČAJA ZA MERENJE EFIKASNOSTI ELEKTRONSKE MALOPRODAJE

INDICATORS OF SIGNIFICANCE FOR MEASURING THE EFFICIENCY OF ELECTRONIC RETAIL

JELENA KONČAR¹, SONJA VUČENOVIĆ¹, RADENKO MARIĆ¹, GORAN VUKMIROVIĆ¹

¹Univerzitet u Novom Sadu – Ekonomski fakultet u Subotici

Rezime: *Merenje efikasnosti elektronske maloprodaje predstavlja neophodan uslov uspešnosti poslovanja svakog elektronskog maloprodavca. Zahvaljujući praćenju pokazatelja aktivnosti na elektronskoj prodavnici moguće je donositi poslovne odluke o budućem toku poslovanja. Stopa konverzije predstavlja glavni pokazatelj efikasnosti elektronske maloprodaje koji ujedno prati posećenost i prodaju elektronskog prodavca. Praćenje životne vrednosti potrošača predstavlja uslov zadržavanja potrošača i obezbeđivanje baze lojalnih potrošača. Predmet istraživanja su ključni pokazatelji od značaja za efikasnost elektronske maloprodaje. Cilj istraživanja je ukazati na važnost praćenja i merenja pokazatelja u elektronskoj maloprodaji. Merenjem pokazatelja se donose adekvatne poslovne odluke u elektronskoj maloprodaji koje će obezbediti profitabilnost, konkurentnost i lojalnost potrošača.*

Ključne reči: *Elektronska maloprodaja, stopa konverzije, životna vrednost potrošača, efikasnost.*

Abstract: *Measuring the efficiency of electronic retailing is a necessary condition for the success of every electronic retailer. Thanks to the monitoring of activity indicators in the electronic shop, it is possible to make business decisions about the future course of business. The conversion rate is the main indicator of the efficiency of electronic retailing, which also monitors visits and sales of the electronic retailer. Monitoring the lifetime value of consumers is a proposition for retaining consumers and providing a base of loyal consumers. The subject of the research is key indicator of importance for the efficiency of electronic retail. The aim of the research is to point out the importance of monitoring and measuring indicators in electronic retail. By measuring the indicators, adequate business decisions are made in electronic retailing that will ensure profitability, competitiveness and consumer loyalty.*

Keywords: *Electronic retail, conversion rate, consumer lifetime value, efficiency.*

1. UVOD

Da bi elektronska maloprodaja bila uspešna neophodno je pratiti određene pokazatelje da bi se donosile pravovremene i adekvatne odluke. Prodaja putem Interneta naizgled je laka, iziskuje minimalne resure, ali sa druge strane usled velike konkurencije i lakoće ulaska na tržište može dovesti do neefikasnosti, ne postojanja prodaje, male učestalosti prodaje, male posećenosti elektronske prodavnice itd. Uspeti na elektronskom tržištu iziskuje praćenje velikog broja podataka. Najuspešniji elektronski maloprodavci, kao što su Amazon.com i eBay, se bave kompleksnim praćenjem pokazatelja na osnovu kojih donose informacijama zasnovane odluke. Pokazatelji efikasnosti elektronske maloprodaje su tu da ukažu na učinak elektronske prodavnice, od prodaje po danu, nedelji i mesecu, preko prosečne vrednosti svih kupljenih proizvoda u bilo kom trenutku. To ne znači da treba pratiti sve pokazatelje koji su na raspolaganju i optimizovati ih, ključno je znati koji pokazatelji imaju najveći uticaj na elektronskog maloprodavca. Digitalni trgovci su doživeli priliv velikog broja podataka iz interakcija njihovih kupaca na mreži, što je posledica praktičnosti kupovine proizvoda preko platforme za elektronsku trgovinu (Cirqueira, et al., 2017).

Prodaja putem Interneta bez praćenja pokazatelja efikasnosti može dovesti do smanjenja poslovne aktivnosti. Kao i kod svih aktivnosti, ni jedan posao ne može opstati ukoliko se na prate učinci i upoređuje napredak tokom vremena. Brojni analitički alati daju na raspolaganje praćenje pokazatelja, među kojima su: stopa konverzije, životni vek potrošača, prosečna marža profita, povrat i stopa povrata, prosečna vrednost naloga, stopa zadržavanja, prosečan trošak nabavke, proizvodi i kategorije sa najboljim performansama, i sl. Cilj rada je detaljno predstaviti ključne pokazatelje efikasnosti elektronske maloprodaje stopu konverzije i životni vek potrošača, kao dva pokazatelja koja najopštije ukazuju na efikasnost nezavisno od toga kojom

prodajom proizvoda se bavio elektronski maloprodavac. Na taj način se ukazuje na značaj praćenja ovih pokazatelja svim elektronskim maloprodavcima koji su tržišno orijentisani ka rastu prodaje, profita i zadržavanju potrošača.

2. STOPA KONVERZIJE PRODAJE KAO NAJZNAČAJNIJI POKAZATELJ EFIKASNOSTI ELEKTRONSKE MALOPRODAJE

Stopa konverzije prodaje je procenat korisnika koji posećuju elektronsku prodavnicu ili stranicu, a koji obave kupovinu. Elektronski maloprodavci su na izvestan način zainteresovani za stopu konverzije koja se definiše procentom posetilaca elektronske prodavnice koji završe kupovinu (Gong, et al., 2018). Da bi se izračunala stopa konverzije, koristi se formula:

$$\text{Stopa konverzija} = \frac{\text{broj prodaja}}{\text{broj posetilaca}} \times 100\% \quad (1)$$

Dakle, ako je 1.000 posetilaca posetilo elektronsku prodavnicu jedne nedelje i samo 10 ljudi obavilo kupovinu, stopa konverzije za nedelju bila bi 1%. Cilj bi trebao da bude što veći stepen konverzije. Da je elektronska maloprodaja doživela rast u periodu globalne pandemijske krize ukazuju i podaci o rastu stope konverzije po kategorijama proizvoda u ovoj godini u odnosu na prethodnu. Prosečna stopa konverzije po kategorijama proizvoda je za opremu za decu i bebe 1.95% u 2020. godini (sa rastom od 133.41% u odnosu na isti period 2019. godine), hrana i piće 2.14% (rast 95.08%), proizvodi za domaćinstvo 1.79% (rast 66.13%), odeća i obuća 1.90% (rast 45.62%), sport i rekreacija 1.57% (rast 27.95%), uređaji i oprema 2.18% (rast 27.86%), zdravlje i zdrav život 3.54% (rast 1.25%), umetnost i slobodno vreme 3.73% (rast 0.85%), dok su kategorije automobili i motocikli imali stopu konverzije 1.32% sa padom 1.56%, odnosno kuhinja i kućni aparati 2.66% i pad od 13.81% (IRP Commerce, jun 2020).

Postavlja se pitanje: Kako povećati stopu konverzije? Različiti faktori utiču na stopu konverzije, stoga neki od načina povećanja su povećanje posećenosti stranica sa proizvodima, visokokvalitetne slike proizvoda, optimizacija liste proizvoda koristeći ključne reči, itd.

Praćenje i optimizacija stope konverzije imaće za efekat povećanje broja korisnika na elektronskoj prodavnici. Ono što je neophodno je merenje posećenosti na elektronskoj prodavnici. Ako je stopa konverzije od 1% ili 10 kupovina za svakih 1.000 poseta, posle optimizacije, pretpostavimo da se ta stopa povećala na 5% ili 50 prodaja na svakih 1.000 posetilaca. Tada možemo zaključiti da bi se pri privlačenju 10.000 korisnika da poseti elektronsku prodavnicu ostvarila do deset puta veća prodaja. To, naravno, nije garancija, ali je, ipak, važno osigurati da korisnici znaju da postoji elektronska prodavnica ili stranica kako bi se povećala verovatnoća da se ostvari veća prodaja. Za povećanje posećenosti na elektronskoj prodavnici moguće je preduzeti mere kao što su promovisanje na društvenim mrežama, optimizacija elektronske prodavnice na pretraživače, uvođenje pretplata i povećanje pretplata itd.

Iako je rast baze posetilaca očigledno važan, to je i samo polovina jednačine. Ukoliko elektronski maloprodavac troši u proseku 30 novčanih jedinica da bi se obezbedio svaki kupac, pri prosečnoj vrednosti porudžbine od samo 25 novčanih jedinica, to bi značilo da elektronski maloprodavac i dalje posluje sa gubitkom. Tada dolazi do merenja troškova svakog kupca. Troškovi svakog kupca prate prosečni troškovi za sticanje jednog kupca, uključujući sve, od troškova marketinga i prodaje, do troškova plaćanja osoblja i hostinga elektronske prodavnice. Tako se dobija ukupna vrednost, ali se mogu izračunati i troškovi prema izvoru, npr. različiti kanali poput pretraživača, društvene mreže ili lista e-pošte. Da bi se smanjili troškovi privlačenja kupaca, neophodno je poboljšati stopu konverzije, optimizovati oglašavanje za svakog kupca, uložiti u besplatan marketing i marketing na društvenim mrežama, ohrabriti postojeće kupce da dovedu nove kupce, itd.

Povećanjem prodaje se želi uticati da kupci na elektronskoj prodavnici potroše što više. Prosečna vrednost porudžbine odnosi se na prosečnu vrednost svake kupovine obavljene u elektronskoj prodavnici. Praćenje prosečne vrednosti narudžbe omogućava se određivanje referentne vrednosti i otkrivanje kako da se privuku kupci da potroše više u svakoj kupovinu koju izvrše. Unapređenje prodaje se postiže plasmanom komplementarnih proizvoda kupcima, koji poboljšavaju upotrebljivost njihove primarne kupovine, ponudom proizvoda kao paketa, kako bi kupci dobili mali popust na svaki pojedinačni proizvod, za razliku od zasebne kupovine, te ponudom besplatne dostave prilikom kupovine iznad određene vrednosti da bise privukli kupci da povećaju svoju potrošnju itd.

Dakle, stopa konverzije predstavlja jednostavan procenat posetilaca koji kupuju. Kako bi se poboljšala stopa konverzije kupovine u elektronskim prodavnicama, neke studije su usresređene na kupce koji ne realizuju kupovinu, istražujući obrasce i karakteristike njihovog ponašanja u toku posete i klasifikujući ih

(Liu, et al., 2015). Ovaj pokazatelj je od najvećeg značaja za elektronsku maloprodaju. Većina alata za analitiku meri stopu konverzije, što se može obaviti i samostalno, tako što će se podeliti broj korisnika posetilaca koji su kupili proizvod sa ukupnim brojem posetilaca. Tehnički gledano, na svakoj elektronskoj prodavnici postoje male mikro konverzije koje dovode do makro-konverzije, odnosno kupovine. Na primer, kupac koji klikne na proizvod na stranici kategorije mikro je konverzija, jer je to put do prodaje.

Jedan od najčešćih problema u elektronskoj maloprodaji je kretanje visine prodaje i situacija kada uopšte nema prodaje. Ipak, ne mogu biti sve elektronske prodavnice toliko ponosne na svoje stope konverzije, jer na zadovoljstvo kupaca uslugama različitih vrsta elektronskih prodavnica utiče više različitih faktora (Ingaldi & Ulewicz, 2018). Razlozi su raznovrsni, od toga da dizajn elektronske prodavnice nije dovoljno pouzdan, da su visoke cene proizvoda, da su nekvalitetni prikazi, da nema mnogo opcija plaćanja itd. Budući da je konverzija, u osnovi, rezultat uspešnog pretvaranja posetilaca u kupce, svakako bi se trebalo analizirati iskustvo kupovine. Ukupna stopa konverzije je jedinstven pokazatelj, pri čemu različiti segmenti ponude neće imati istovetne stope. Za preciznu analizu konverzije segmenata, neophodna je analiza lokacije i ključne reči za pretraživanje. Uticaj na ovaj pokazatelj je optimizacija brzine konverzije. Gledajući prodajni tok, ponašanje posetilaca na sajtu, polazne stranice i izlazne stranice, svi koraci na putu posetioca do kupovine treba nesmetanofunkcionišu.

3. ZNAČAJ PRAĆENJA POKAZATELJA ZADRŽAVANJA POTROŠAČA U ELEKTRONSKOJ MALOPRODAJI

Životni vek potrošača (Consumer Lifetime Value) predstavlja pokazatelj zadržavanja potrošača koji meri ukupni iznos vrednosti koji elektronski maloprodavac zarađuje od prosečnog potrošača tokom njegovog životnog veka. Na primer, ako tipični potrošač izvrši šest transakcija, od kojih svaka vredi 30 novčanih jedinica, tokom celog životnog veka CLV bi bio 180 novčanih jedinica. Predviđanje CLV je važan zadatak u elektronskoj maloprodaji gde tačna procena buduće vrednosti omogućava trgovcima da efikasno raspoređuju marketing troškove, identifikuju i neguju potrošače velike vrednosti i ublažavaju izloženost gubicima (Chamberlain, et al., 2017). Životni vek potrošača se izračunava na sledeći način:

$$CLV = VT + Uk + Tk \quad (2)$$

VT - prosečan vrednost transakcije;

Uk - godišnja učestalost kupovine;

Tk - očekivane godine trajanja kupovine.

Autori Etzion, et al. (2005) su predstavili opšti pristup modeliranju, koji su nazivali e-CLV, za kreiranje CLV modela u elektronskoj trgovini, gde ovaj model može uzeti u obzir sve ključne faktore potrebne za izračunavanje vrednosti potrošača i još jednu jedinstvenu karakteristiku elektronske trgovine kroz dostupnost velikog broja istorijskih podataka o ponašanju potrošača. Životni vek potrošača je važan pokazatelj, jer služi kao merilo koliko se može potrošiti da bi se stekli potrošači i koliko bi trebalo da se zadrže. Da bi se povećao CLV elektronske prodavnice, može se raditi na poboljšanju prosečne vrednosti porudžbine i na povećanju vrednosti među postojećim potrošačima, kako bi postali ponovljeni potrošači. Vrednost životnog veka potrošača se razlikuje po pojedinim kategorijama proizvoda. Elektronska maloprodaja u kategoriji proizvodi za kućne ljubimce ima najnižu vrednost prosečne kupovine (39,08 \$) i životni vek potrošača (57,06 \$), nameštaj ima najvišu vrednost prosečne kupovine (408,96 \$) i životni vek potrošača (478,93 \$) (Conversio, 2019).

Ovaj pokazatelj meri koliko bilo koji potrošač potroši na elektronskoj prodavnici tokom čitavog životnog ciklusa potrošača. Takođe se može izračunati oduzimanjem troškova nabavke od prihoda ostvarenog od realizacije kupovine. Ono što može biti problem kod ovakvog računanja jeste da mogu biti dobri prihodi od potrošača, ali kada je cena nabavke previsoka, trebaće mnogo više porudžbina da bi se ostvarila ravnoteža. Predviđanje vrednosti CLV je teško, ali ukoliko neki od potrošača imaju velike vrednosti, analizom njihovog ponašanja može se ponoviti njihovo iskustvo sa drugima, njihov odnos prema proizvodima u ponudi (može se koristiti kao osnova za redizajn elektronske prodavnice), primena podsticaja koji su imali efekat, proizvodi koji uvek pokreću lojalnost itd. CLV je vezan za zadržavanje potrošača. Navike u potrošnji su oblik ponašanja koji treba pratiti pri analizi potrošača. Internet lojalni kupci su podložniji većim marketing uticajima i više odgovaraju na marketing stimulanse, odnosno kupuju više proizvoda pod uticajem istih (Končar, et al., 2020). Lojalnost i redovne porudžbine ne znače uvek veću vrednost narudžbi, jer mnogi kupci kupuju samo sa popustom.

Napuštanja korpe za kupovinu se odnosi na kupce koji dodaju proizvode u svoju korpu, ali na kraju napuste elektronsku prodavnicu bez završetka kupovine. To su kupci koji razmišljaju o kupovini, ali se još

uvek nisu odlučili. Napuštanje korpe je česta pojava u elektronskoj maloprodaji. Pojednostavljeno iskustvo kupovine je jedan od načina zadržavanja, posebno postupka odjave, tako da kupci mogu nesmetano kupovati. Vraćanje neodlučnih kupaca u elektronsku prodavnicu može se postići preko ciljanih oglasa i e-poruka za dalje praćenje.

Pokazatelj životne vrednosti potrošača je pokazatelj ukupne zarade koju tipičan potrošač ostvaruje tokom svog životnog veka. Prema Santoso & Erdaka (2015) lojalnost kupaca može se meriti učestalošću transakcija i vrednosti životnog veka kupaca. Vrednost životnog veka potrošača govori koliko se može potrošiti da bi se potrošač pridobio i koliko je neophodno da bi se zadržao. Postoji puno načina da se poveća vrednost životnog veka potrošača, ali se svodi na povećanje prosečne vrednosti narudžbe i izgradnju dugoročnih odnosa sa potrošačima, kako bi postali ponovljeni kupci.

4. ZAKLJUČAK

Najuspešnije kompanije u elektronskoj maloprodaji donose odluke na osnovu pokazatelja efikasnosti. Oni znaju stanje performansi njihove elektronske prodavnice u svakom trenutku i znaju koje pokazatelje da podstaknu na rast. Postoji na hiljade pokazatelja koji se mogu pratiti, ali samo nekoliko njih direktno predstavlja stanje poslovanja i mogu se pretvoriti u stvarne rezultate poslovanje i uticati na razvoj. Navedeni pokazatelji efikasnosti podataka o elektronskoj maloprodaji predstavljaju polaznu bazu analize za bilo koju elektronsku prodavnicu. Kako elektronska prodavnica raste i dobijate više porudžbina, tako će se i broj podataka povećavati, pružajući više podataka za praćenje, merenje i poboljšanje. Kada se radi na poboljšanju jednog pokazatelja, može se ustanoviti da to vodi do talasa efekata na druge pokazatelje, na primer, poboljšanje prosečne vrednosti nabavke pomaže da se nadmaše troškovi pribavljanja potrošača. Konačno, praćenje ovih pokazatelja i mernih podataka pomoći će u donešenju najbolje poslovne odluke u elektronskoj maloprodaji. Važnost praćenja pokazatelja efikasnosti elektronske maloprodaje može se videti i u prethodnom periodu kada je elektronska maloprodaja postala siguran i često jedini izvor kupovine proizvoda, što ukazuje na neophodnost analize pokazatelja i podsticaj za buduća istraživanja. Efekti krize na maloprodaju će se primećivati u narednim godinama, a prioritet maloprodavaca postaje prelazak, odnosno jačanje elektronske maloprodaje kao kanala prodaje, a samo najefikasniji će opstati na elektronskom tržištu.

LITERATURA

- [1] Chamberlain, B. P., Cardoso, A., Liu, B. C. H., Pagliari, R., Deisenroth, M. P. (2017). Customer Lifetime Value Prediction Using Embeddings. KDD 2017 Applied Data Science Paper KDD'17, Halifax, NS, Canada, 1753-1762.
- [2] Cirqueira, D., Hofer, M., Nedbal, D., Helfert, M., Bezbradic, M. (2017). Customer Purchase Behavior Prediction in E-commerce: Current Tasks, Applications and Methodologies. Journal of theoretical and applied electronic commerce research, 12 (2).
- [3] Conversion (2019). How Ecommerce Brands Can Increase Customer Lifetime Value. UK: Conversion.
- [4] Etzion, O., Fisher, A., Wasserkrug, S. (2005). e-CLV: A Modeling Approach for Customer Lifetime Evaluation in e-Commerce Domains, with an Application and Case Study for Online Auction. Information Systems Frontiers 7:4/5, 421-434.
- [5] Gong, K., Peng, Y., Wang, Y., Xu, M. (2018). Time series analysis for C2C conversion rate. Electronic Commerce Research, 18, 763-789.
- [6] Ingaldi, M., Ulewicz, R. (2018). Evaluation of Quality of the e-Commerce Service. International Journal of Ambient Computing and Intelligence, 9 (2), 55-64.
- [7] IRP Commerce (jun 2020). Dostupno na: <https://www.irpcommerce.com/en/gb/e-commerce-marketdata.aspx?Market=3>, datum dostupnosti: 01/08/2020.
- [8] Končar, J., Vučenić, S., Vukmirović, G., Marić, R. (2020). Strategije kanala marketinga. Subotica: Ekonomski fakultet u Subotici.
- [9] Liu, Y., Li, H., Peng, G., Lv, B., Zhang, C. (2015). Online purchaser segmentation and promotion strategy selection: evidence from Chinese E-commerce market. Annals of Operations Research, 233, 263-279.
- [10] Santoso, A. S., Erdakab, A. (2015). Customer Loyalty in Collaborative Consumption Model: Empirical Study of CRM for Product-Service System-Based e-Commerce in Indonesia, The Third Information Systems International Conference, Procedia Computer Science, 72, 543 - 551.



ANALIZA SWOT MATRICE ELEKTRONSKE TRGOVINE U SRBIJI PRE I U TOKU PANDEMIJE COVID 19

ANALYSIS OF THE SWOT MATRIX OF E-COMMERCE IN SERBIA BEFORE AND DURING THE COVID 19 PANDEMIC

MILOŠ DURKOVIĆ¹, SVETLANA ZELJIĆ DRAKULIĆ²

¹ Vojska Srbije, VP 5004 Jakovo, mdurkovic127@yahoo.co.uk

² Vojska Srbije, VP 5004 Jakovo, cecazeljic@gmail.com

Rezime: Promene koje su nastale u toku pandemije COVID 19 u odnosu na uslove koje su vladali pre pandemije su značajno izmenili elektronsku trgovinu u Srbiji. U radu je dat poseban osvrt na ključne pozitivne promene, posmatrane kroz SWOT analizu koristeći USAID-ovo istraživanje za period pre i neposredna iskustva predstavnika ministarstva, privrednih subjekata, fizičkih lica i specijalizovanih portala koja se bave pitanjima elektronske trgovine za period u toku pandemije.

Ključne reči: Elektronska trgovina, pandemija COVID 19, SWOT analiza.

Abstract: The changes that occurred during the COVID 19 pandemic in relation to the conditions that prevailed before the pandemic significantly changed e-commerce in Serbia. The paper presents a special review of key positive changes, observed through SWOT analysis using USAID research for the period before and the experiences of representatives of the ministry, businesses, individuals and specialized portals dealing with e-commerce issues for the period during the pandemic.

Keywords: E-commerce, The COVID 19 pandemic, SWOT analysis.

1. UVOD

Elektronska trgovina (e-trgovina, e-commerce) se definiše kao transakcija preko računarske mreže, i uključuje prenos vlasništva ili prava za korišćenje roba ili usluga (Radenković, Despotović-Zrakić, Bogdanović, Barać & Labus, 2015).

Elektronska trgovina je dobila svoj pravni okvir Zakonom o elektronskoj trgovini (2009, 2013 & 2019). Zakon je donet 29. maja 2009. godine na osnovu Direktiva EU o elektronskoj trgovini (Directive 2000/31/EC of the European Parliament and of the Council of 8 June 2000 on certain legal aspects of information society services, in particular electronic commerce, in the Internal Market ('Directive on electronic commerce')). Oblasti koje uređuje zakon su sloboda pružanja usluga, ugovori u elektronskom obliku, postupak zaključenja ugovora u elektronskom obliku, uređeno je pitanje odgovornosti pružaoca usluga, propisano je isključenje odgovornosti, privremeno čuvanje podataka, trajnije čuvanje podataka, linkovi i obavezna obaveštenja. Zakon još uređuje i oblast privremenog, kao i trajnog skladištenja podataka. U Zakonu o elektronskoj trgovini prvi put se pravno uređuje oblast prometa robe i usluga, koji se obavlja preko Interneta.

Cilj zakona jeste obezbeđivanje pravne sigurnosti za sve učesnike u elektronskoj trgovini, tako što se propisuju obaveze i odgovornosti učesnika u komercijalnim aktivnostima koje se pružaju na Internetu.

U 2019. godini su usvojene izmene i dopune Zakona o elektronskoj trgovini kojima se daje mogućnost legalnog poslovanja po dropshipping modelu.

E-commerce asocijacija Srbije (2020) koja je osnovana 2019. godine predstavlja još jedan od elemenata sigurnosti u polju elektronske trgovine i ima sledeće ciljeve:

- Zastupanje ciljeva e-commerce zajednice i da zaštiti interese kako trgovaca, tako i potrošača.
- Edukacija potrošača promovišući sigurnost i jednostavnost elektronske trgovine, kao i edukacija vlasnika i menadžmenta kompanija kao i svih zaposlenih van i unutar sektora koji se bavi elektronskom trgovinom.
- Regulacija tržišta u smislu pravno/zakonodavne regulative, ali i finansijskih i logističkih regulativa povezanih sa elektronskom trgovinom.
- Promocija e-commercea kroz projekte.

Ovim pravnim okvirima i osnivanjem same Asocijacije date su osnove da i Srbija ravnopravno učestvuje u evropskim i svetskim projektima, kongresima, konferencijama iz oblasti elektronske trgovine, koja ispostaviće se u 2020. godini u uslovima pandemije COVID 19 predstavlja značajan segment trgovine kako u svetu, tako i u Srbiji.

Društvo se okrenulo elektronskoj trgovini i svi parametri govore o njenom značajnom globalnom rastu u odnosu na period pre pandemije COVID 19.

U tim uslovima ovo je prvo istraživanje iz oblasti elektronske trgovine koje treba da odgovori na istraživačko pitanje: Da li je pandemija COVID 19 uticala na promene u elektronskoj trgovini i na koji način?

2. SWOT MATRICA PRE PANDEMIJE COVID 19

U 2018. i 2019. godini u okviru realizacije projekta „Jačanje elektronske trgovine u Republici Srbiji“ od strane USAID-a (Cardno Emerging Markets USA, Ltd.) u saradnji sa predstavnicima ministarstava, privrednim subjektima i fizičkim licima urađena je sveobuhvatna dijagnoza stanja elektronske trgovine u okviru koje su sprovedena brojna istraživanja.

Za potrebe ovog istraživanja korišćena je kombinovana metodologija: dobijanje podataka iz primarnih istraživanja i sekundarnih izvora, kao i njihova obrada korišćenjem statističkih metoda. Pored kvantitativnih, korišćene su i kvalitativne metode prikupljanja i obrade podataka.

U okviru projekta su urađena istraživanja postojeće literature (naučni članci, knjige, studije e-trgovine, strategije razvoja, prikupljanje i analiza postojećih statističkih podataka), analiza regulatornog okvira, 22 dubinska intervjua i četiri radionice sa ključnim zainteresovanim stranama, anketiranje 1000 pojedinaca koji aktivno koriste Internet u Srbiji (ukupno 434 e-kupaca), anketiranje preduzeća koja se bave elektronskom trgovinom u Srbiji (150 privrednih subjekata), kao i onih koji nemaju elektronsku trgovinu (59 privrednih subjekata) i benčmark - analiza najbolje prakse (Cardno Emerging Markets USA, Ltd., 2019).

U završnom izveštaju data je SWOT matrica koja je u ovom radu polazna osnova, kao i predmet uporedne analize u odnosu na promene koje su nastale u uslovima izazvanim pandemijom COVID 19 u 2020. godini. U radu su korišćeni noviji podaci za pojedine segmente za koji su bili dostupni u odnosu na podatke koji su dati u izveštaju videti Cardno Emerging Markets USA, Ltd. (2019) .

Tabela 1: SWOT matrica E-trgovine u Srbiji pre pandemije COVID 19

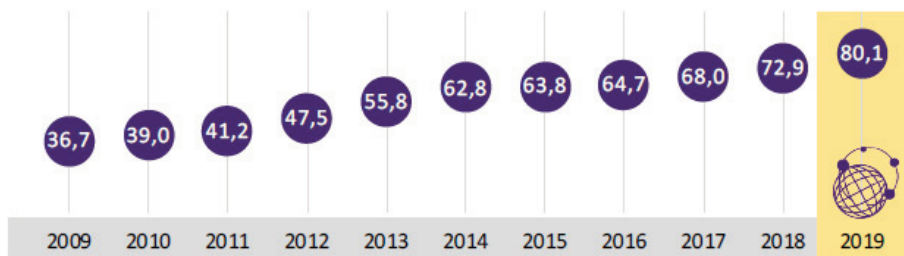
SNAGE	SLABOSTI
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Solidna internet infrastruktura (dostupnost različitih vrsta interneta, broj provajdera, itd.); ▪ Zakonska procedura za registraciju e- commerce startup-ove je relativno jednostavna i nije skupa; ▪ Snažno internet prisustvo korporativnog sektora; ▪ Povoljni trgovinski sporazumi sa određenim zemljama koje nisu članice EU-28, posebno Rusijom; ▪ Jeftina struja. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nizak nivo aktivnosti u e-trgovini; ▪ Skupo slanje međunarodnih paketa u EU; ▪ Prosečna plata i prosečna potrošnja domaćinstava je jedna od najnižih u Evropi; ▪ Poverenje potrošača je nisko; ▪ Nizak obrazovni nivo stanovništva i slaba kompjuterska pismenost; ▪ Jezičke barijere, posebno prilikom naručivanja putem međunarodnih veb stranica; ▪ Carinske procedure za određene proizvode; ▪ Relativno nerazvijena logistika; ▪ Visoki transakcioni troškovi (provizije banaka)
ŠANSE	PRETNJE
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Višekanalni pristup kompanija u Srbiji ▪ E-trgovina može stvoriti određene međunarodne ili čak globalne tržišne niše za specifične autentične srpske lokalne proizvode; ▪ Vlada svake godine povećava svoje napore u podržavanju širenja rastuće IT industrije; ▪ E-trgovina predstavlja snažan tržišni kontekst za mnoge male nacionalne kompanije; ▪ Snažna upotreba društvenih mreža u Srbiji može se koristiti za sinergijske efekte u kombinaciji sa e-trgovinom; ▪ E-trgovina se pokazala kao korisno sredstvo u rešavanju određenih specifičnih zahteva lokalnog ili mikrolokalnog tržišta. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Niska atraktivnost tržišta, posebno u pogledu internet potrošnje, kupovine onlajn proizvoda po kategorijama i broja onlajn kupaca; ▪ Negativni PR e-trgovine; ▪ Sporo uvođenje digitalnih inovacija u e- trgovinu; ▪ Pitanja sigurnosti i privatnosti (zaštita ličnih podataka); ▪ Slaba ekspertiza i iskustvo u vezi sa transakcijama elektronske trgovine; ▪ Jedna od najstarijih populacija u Evropi.

3. ANALIZA SWOT MATRICE U TOKU PANDEMIJE COVID 19

Posmatrajući SWOT matricu koja je proizašla kao rezultat pre COVID 19 istraživanja uočavamo određene Slabosti koje su postale Snage i određene Pretnje koje su postale Šanse.

Posmatrajući prikazane Snage, na osnovu podataka koji su nam dostupni u toku COVID 19 pandemije, one su se učvrstile i zadržale pozitivan trend, osim u pogledu zakonske procedure, odnosno odredbi Zakona o izmenama i dopunama Zakona o porezu na dohodak građana („Službeni glasnik RS“, br. 86/19), Zakona o izmenama i dopunama Zakona o poreskom postupku i poreskoj administraciji („Službeni glasnik RS“, br. 86/19) i Uredbe o bližim uslovima, kriterijumima i elementima za paušalno oporezivanje obveznika poreza na prihode od samostalne delatnosti („Službeni glasnik RS“, br. 94/19) koje su na negativan način uticale na registraciju e-commerce startup-ova u Srbiji. Test samostalnosti na osnovu koga se vrši procena da li je preduzetnik i u kojoj meri samostalan u odnosu sa klijentom je neizvestan i u mnogome zavisi od Poreske inspekcije, a posebno za domaću startup scenu je važan Kriterijum 6. kojim se proverava koji postotak prihoda dolazi od istog nalagodavca.

Internet infrastruktura je i dalje na visokom nivou u Srbiji. Prema studiji Republičkog zavoda za statistiku (2019) o korišćenju IKT u Srbiji u 2019. godini, 99,8% preduzeća u Srbiji ima internet konekciju, od čega 97,1% ima bržu širokopojasnu vezu (svaka druga kompanija ima internet brzinu veću od 30 Mbps). Kada je reč o domaćinstvima 80,1% domaćinstava u Srbiji ima internet konekciju.



Slika 1: Internet u domaćinstvima u Republici Srbiji u 2019. godini (RZS, 2019)

U USAID-ovom izveštaju se navodi da Srbija ima najjeftiniju električnu energiju u Evropi po ceni od 0,0705 EUR / kWh (sa izuzetkom Ukrajine) kao i da to predstavlja značajnu snagu u razvoju e-trgovine, posebno za kapitalno intenzivna onlajn tržišta koja zahtevaju 24h raspoložive složene elektronske sisteme koji koriste mnogo električne energije. Činjenica da cena struje nije doživela rast u prvom kvartalu 2020. godine i dalje predstavlja snagu elektronske trgovine.

Slabosti koje su postale Snage u toku COVID 19 pandemije su nizak nivo aktivnosti u e-trgovini, poverenje potrošača, slaba kompjuterska pismenost i relativno nerazvijena logistika.

Nizak nivo aktivnosti u e-trgovini je značajno porastao o čemu govori podatak Narodne banke Srbije koja je objavila podatak o platnim transakcijama prenosa sredstava izvršenih u Republici Srbiji karticama i elektronskim novcem izdatim u Republici Srbiji. U prvom kvartalu 2020. godine izvršeno je 3,983,792 platnih transakcija za prenos sredstava korišćenjem kartica i e-novca u ukupnoj vrednosti od 10,95 milijardi dinara, što je značajno uvećanje u odnosu na prvi kvartal 2019. godine kada je izvršeno 2,689,476 platnih transakcija u ukupnoj vrednosti od 4,36 milijardi dinara. (Narodna banka Srbije, 2020)

Oznaka valute ¹⁾	Broj realizovanih transakcija		Vrednost realizovanih transakcija ²⁾		
	2020	2019	2020	2019	
Upotrebom kartice	RSD	2,525,132	1,384,381	5,546,934,117	3,729,829,476
	EUR	765,189	684,471	31,070,251	27,054,211
	USD	547,222	491,275	13,319,642	12,005,355
	GBP	31,716	30,115	2,063,757	2,166,762
	CHF	3,975	3,286	307,766	310,155
Upotrebom e-novca	RSD	18,467	11,733	17,936,931	15,221,444
	EUR	51,204	44,318	664,615	601,290
	USD	40,385	39,376	331,947	340,222
	GBP	475	479	15,631	19,526
	CHF	27	42	523	242
UKUPNO:	RSD	2,543,599	1,396,114	5,564,871,048	3,745,050,920
	EUR	816,393	728,789	31,734,866	27,655,501
	USD	587,607	530,651	13,651,589	12,345,577
	GBP	32,191	30,594	2,079,388	2,186,289
	CHF	4,002	3,328	308,289	310,396

Slika 2: Platne transakcije kupovine roba i usluga preko interneta u 2019. i 2020. godini (NBS, 2020)

Poverenje potrošača je usled COVID 19 pandemije moralo biti promenjeno u pozitivnom smeru, naime i oni potrošači koji su pre pandemije bili skeptični prema elektronskoj trgovini su se prilagodili datim uslovima. U tu svrhu su se i korporacije prilagodile novonastalim okolnostima otvaranjem ogromnog broja online prodavnica i poboljšavanjem istih, među kojima i vodeći lanci marketa kao što su Idea, Univerexport, dok je Maxi unapredio ovaj tip usluge. To je u mnogome doprinelo uvećanju poverenja u online kupovinu.

Nizak obrazovni nivo stanovništva i slaba kompjuterska pismenost je Slabost koja je postala u kratkom vremenu Snaga. Pojavom COVID 19 pandemije broj internet korisnika u Srbiji je postao veći, jer su sve obrazovne ustanove prešle na online nastavu, a prema podacima RZS-a u osnovnim školama na početku školske 2019/2020. godine upisano je 517 826 đaka, u srednjim školama 249 855 đaka i 241 968 studenata na svim nivoima studija, što ukupno čini 1 009 649 korisnika interneta (Republički zavod za statistiku, 2019). Ovaj podatak je značajan jer je kompjutersko opismenjavanje ne samo prvenstveno učenika osnovnih škola, već i roditelja i staratelja dece u mnogome doprinelo da ova Slabost postane Snaga, a samim tim je elektronska trgovina i za te kategorije postala dostupnija i bliža.

Kada govorimo o logistici, prema izveštaju Jean-Francois Arvis (2018) iz Svetske banke „Connecting to Compete” iz 2018. godine, Srbija se nalazi na 68. mestu od 167 zemalja u oblasti logistike merene LPI indeksom, što je napredak u odnosu na 2016. godinu kada je bila na 76. mestu.

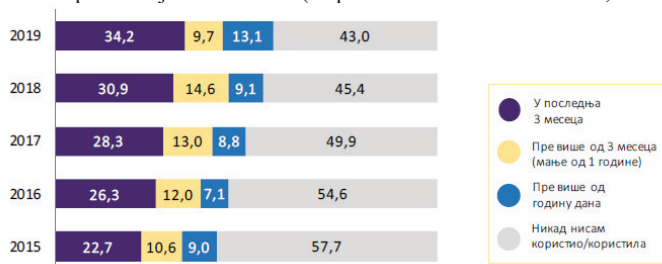
Prva online konferencija Srpskog udruženja profesionalaca u lancu snabdevanja (SUPLS) na temu „Supply Chain i COVID-19 – Nova realnost“ održana 02.07.2020. godine ukazala je na brojna pitanja i izazove sa kojima dolazi u dodir korporativno okruženje u profesionalnoj praksi videti (Srpsko udruženje profesionalaca u lancu snabdevanja, 2020). Korporativni lanci snabdevanja su za vreme pandemije COVID 19 u prvom mesecu zabeležili pad, a nakon toga veliki rast potražnje za proizvodima. Kroz ABC analizu kompanija „PEPSICO“ je uspela da segmentira i prioritetizuje proizvodnju 15 proizvoda koje su marketinški podržali u novim uslovima. Navike potrošača su se promenile, samim tim i pristup. U kompaniji Carlsberg Srbija su uočili promene u potražnji pakovanja što je takođe uslovilo određene promene na tržištu. U uslovima krize kompanije su primenile disperziju rizika, iskoristili su pad cene nafte na globalnom tržištu kako bi ostvarili određene uštede.

Predstavnici svih kompanija se slažu da je budućnost u logističkim kompanijama koje će dostavljati fizičkim licima proizvode na tradicionalan i inovativan način (upotreba dronova, paketomata, automatizacije). U prilog tome govori podatak da se kao trend rasta uočava osnivanje novih kurirskih službi, gde je prema podacima iz APR-a u 2020. godini osnovano 13 novih kurirskih službi. Takođe, sa radom je počela franšiza španskog kurirskog sistema GlovoApp koja u 2020. godini beleži značajan rast poslovanja i ostvaruje strateška partnerstva sa Idea lancem marketa, Banca Intesa i drugim manjim kompanijama. U Srbiji je takođe primetan rast finskog startup-a Wolt, kao i domaćeg rešenja Donesi.com, a najbrže rastući srpski startup CarGO najavljuje izlazak na logističko-kurirsko tržište sa CarGo Butler opcijom za poručivanje iz marketa i restorana u okviru njihove CarGo aplikacije.

Slabost koja je na svetskom nivou postala jača je niža prosečna plata i prosečna potrošnja, niža primanja i niža potrošnja u značajnoj meri mogu da ugroze prodaju specifičnih dobara i usluga.

Šanse elektronske trgovine su jasno opisane u USAID-ovom završnom izveštaju koji govori o tome kako e-trgovina u velikoj meri zavisi od razvoja i implementacije IKT-a, i da će taj napredak imati pozitivne efekte u budućem razvoju. E-trgovina se smatra najboljim načinom za razvoj novog biznisa, što je posebno važno za novoosnovane startup-ove u Srbiji.

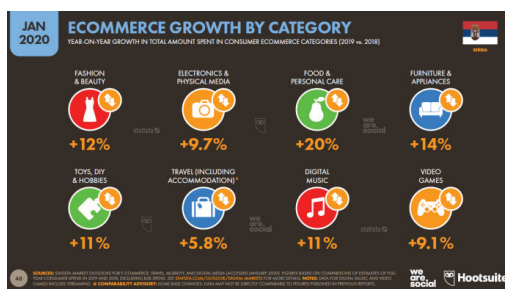
Indikativno je da su u toku pandemije COVID 19 određene Pretnje postale Šanse. Prema studiji RZS-a u 2019. godini, preko 1.820.000 ljudi kupilo je nešto onlajn u poslednja tri meseca. U odnosu na 2018. godinu, broj lica koja su kupovala ili poručivala robu/usluge putem interneta povećao se za nešto više od 20 000. Od svih korisnika interneta, 43% nikada nije kupilo ništa na internetu, a taj trend se приметно smanjivao u godinama koje su prethodile pandemiji COVID 19. (Republički zavod za statistiku, 2020).



Slika 3: Kada ste poslednji put (u privatne svrhe) kupili/naručili robu ili usluge putem interneta? (%)

U toku pandemije COVID 19 došlo je do značajnih promena, a u prilog tome govori izjava pomoćnice ministra trgovine da je onlajn trgovina u velikoj ekspanziji, pre svega usled pandemije izazvane virusom korona, ali i da se povećava broj potrošačkih prigovora na robu kupljenu preko interneta i da je taj broj tokom trajanja pandemije za oko 30 odsto veći u odnosu na isti period prethodne godine, tako da je Pretinja „Niska atraktivnost tržišta, posebno u pogledu internet potrošnje, kupovine onlajn proizvoda po kategorijama i broja po kategorijama kupaca“ u uslovima pandemije postala velika Šansa za mnoga preduzeća.

U januaru 2020. godine internet portal www.datareportal.com, specijalizovan za obradu i prezentaciju podataka pomoću kojih se mogu uočiti aktuelni internet i marketing trendovi, sa naglaskom na društvene mreže i elektronsku trgovinu, objavio je izveštaj za 2020. godinu. Ovaj izveštaj uključuje obrađene podatke iz celokupne 2019. godine sa uporednim prikazom u odnosu na 2018. godinu za pojedine kategorije i obuhvata gotovo sve zemlje sveta, uključujući Srbiju. Podaci su dobijeni od partnera kao što su Hootsuite, We Are Social, Statista, GSMA Intelligence, kao i od državnih institucija, videti Simon Kemp (2020). Ono što se izdvaja je porast u svim kategorijama elektronske trgovine, a ono što je posebno važno je da se najmanji rast beleži od turizma koji je činio 80% online prometa u 2019. godini u našoj zemlji, a koji ostvaruju pretežno strani državljani prilikom poseta Srbiji. Imajući u vidu uslove koji vladaju u toku pandemije COVID 19, kao i podatak od predstavnika Daily Express-a ovaj trend rasta značajno se uvećao u kategorijama Hrana i lična nega, Knjige, Igračke i donekle u kategoriji Video igrice, dok je u kategoriji Putovanja taj trend značajno opao.



Slika 4: Rast elektronske trgovine po kategorijama u 2019. u odnosu na 2018. godinu

Takođe možemo reći da je Pretinja „Negativan PR e-trgovine“ u sadašnjim uslovima postala Šansa. Iz straha od bolesti, po mom mišljenju na veštački način se došlo do prevazilaženja osnovnih strahova kod dela online kupaca kojima je elektronska trgovina bila sinonim za prevaru. Iako se prevare dešavaju, one su često preneglašene u medijima i stvaraju loš imidž za mnoge korektne e-trgovce. Takođe s druge strane i preduzeća su shvatila značaj elektronske trgovine i značajan deo svojih resursa su preusmerili ka tim ciljevima, preventivno marketinškim, a onda i ostalim. Na cilju popularizacije i smanjenja negativnog PR-a Ministarstvo trgovine, turizma i telekomunikacija u saradnji sa USAID-om je 27. jula 2020. godine objavilo vodiče za elektronsku trgovinu namenjenu građanima, na onlajn platformi „Pametno i bezbedno“ koja upućuje na neophodne korake prilikom ovog vida kupovine, kao što su provera prodavaca, uslova kupovine, zaštita digitalnih uređaja, čuvanje podataka (Ministarstvo trgovine, turizma i telekomunikacija, 2020).



Slika 5: Onlajn platforma „Pametno i bezbedno“

U okviru sedme online konferencije kompanije Color Media Communications „E-commerce revolution“ posvećene elektronskoj trgovini, održane 7. jula 2020. godine kroz realizaciju dva panela sa temama „E-Commerce Metamorphosis – Trendovi, ubrzanje i unapređenje platformi e-trgovine“ i „E-Commerce Boom“ su predstavljeni realni izazovi i odgovori na izazove elektronske trgovine u Srbiji za vreme pandemije. Drugi panel bio je posvećen razvoju i budućnosti e-trgovine nakon pandemije gde je predstavnik kompanije DIRECT MEDIA United Solutions izneo da je trend razvoja e-trgovine stvaranje mobile-friendly okruženja i

u ulaganju u načine prikupljanja sopstvenih podataka o klijentima u skladu sa najavom kompanije Google da od 2021. godine neće dozvoljavati 3rd party cookies u okviru svog internet pretraživača Google Chrome (Color Media Communications, 2020).

5. ZAKLJUČAK

Ovo je prvi istraživački rad iz oblasti uticaja pandemije COVID 19 na elektronsku trgovinu i u njemu su korišćeni dostupni podaci za 2020. godinu, i ono što ga posebno ističe i daje mu vrednost su primarna iskustva ključnih aktera elektronske trgovine (predstavnik Ministarstva trgovine, turizma i telekomunikacija, predstavnik direktora prodaje, marketinga, logistike u malim, srednjim i velikim kompanijama, predstavnik banaka, predstavnik digitalnih agencija) dobijenih putem održanih online konferencija, izdatim saopštenjima od početka pandemije pa zaključno sa 27. julom 2020. godine koji su govorili o izazovima i načinima prevazilaženja krize.

Rad je u istraživačkom smislu odgovorio na istraživačko pitanje i zaključak je da je pandemija COVID 19 u oblasti elektronske trgovine ispoljila veoma pozitivan uticaj koji još uvek traje. SWOT matrica elektronske trgovine je značajno izmenjena na način da su određene Slabosti postale Šnaga, a određene Pretnje postale Šanse, dok su Šnaga i Šanse ostale na istom nivou ili su unapređene.

Pandemija COVID 19 rezultiraće trajnom promenom ponašanja u kupovini i načinu vođenja poslovanja. Faktori koji utiču da trend rasta ostane na ovom nivou su: pogodnost kupovine iz fotelje, posebno proizvoda koji su nam poznati, koji su u originalnom pakovanju, za koje ne postoji potreba za našim organoleptičkim proverama, rizik od novih talasa (trećeg, četvrtog) pandemije dovodi do nastavka socijalne distance u društvu, povećanje konkurentnosti e-trgovaca koji će učiniti sve da zadrže svoje nove kupce kroz programe lojalnosti i promocije, novi načini distribucije i poboljšanje načina poslovanja logističko-kurirskih službi.

Pandemija COVID 19 će trajno preoblikovati elektronsku trgovinu onakvu kakva je bila poznata do pandemije. U vremenu „nove normalnosti (realnosti)“ ključna stvar je adaptacija na postojeće uslove, odnosno proaktivno delovanje kako bi se spremno dočekali novonastali događaji, ugradnjom elastičnih veza u poslovanje uz neophodnu fleksibilnost i edukaciju, kao kreiranje inovativnih pristupa tržištu i sopstvenim resursima radi jačanje elektronske trgovine u Republici Srbiji.

LITERATURA

- [1] Cardno Emerging Markets USA, Ltd. (oktobar 2019). *USAID COOPERATION FOR GROWTH PROJECT (CFG) - Jačanje elektronske trgovine u Republici Srbiji - završni izveštaj*. Preuzeto 30. jula 2020. godine sa <https://saradnja.rs/wp-content/uploads/2019/10/Ecommerce-Study-Srbija.pdf>
- [2] Color Media Communications (7. jul 2020). *E-commerce revolution* [Video]. YouTube. <https://youtu.be/Gpgs0iLGkaw>
- [3] E-commerce asocijacija Srbije (30. jul 2020). *Ciljevi ECS-a*. Preuzeto 30. jula 2020 sa <https://ecommsrbia.org/>
- [4] Jean-Francois Arvis (2018). *Connecting to Compete 2018*. Preuzeto 30. jul 2020. sa <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/29971/LPI2018.pdf>
- [5] Ministarstvo trgovine, turizma i telekomunikacija (27. jul 2020). *Vodič za elektronsku trgovinu – platforma Pametno i bezbedno*. Preuzeto sa <https://pametnoibezbedno.gov.rs/vodic-navigador>
- [6] Narodna banka Srbije (30. jul 2020). *Platne transakcije kupovine robe i usluga preko interneta*. Preuzeto sa https://www.nbs.rs/export/sites/default/internet/latinica/35/statistika/el_novac/internet.xlsx
- [7] Radenković, B., Despotović-Zrakić, M., Bogdanović, Z., Barać, D. & Labus A. (2015). *Elektronsko poslovanje* (131). Beograd: FON.
- [8] Republički zavod za statistiku (20. septembar 2019). *Upotreba informaciono-komunikacionih tehnologija u RS, 2019*. Preuzeto sa <https://publikacije.stat.gov.rs/G2019/Pdf/G201916014.pdf>
- [9] Republički zavod za statistiku (2019). *Saopštenja o obrazovanju u Srbiji u 2019./2020. godini*. Preuzeto sa <https://www.stat.gov.rs/sr-Latn/oblasti/obrazovanje>
- [10] Simon Kemp (18. februar 2020). *DIGITAL 2020: SERBIA*. Preuzeto 30. jula 2020 sa <https://datareportal.com/reports/digital-2020-serbia>
- [11] Srpsko udruženje profesionalaca u lancu snabdevanja (2. jul 2020). *Supply Chain i COVID-19 – Nova realnost* [Video]. YouTube. <https://youtu.be/BnpXZ-Sd1rE>
- [12] Zakon o elektronskoj trgovini ("Sl. glasnik RS", br. 41/2009, 95/2013 i 52/2019). Preuzeto sa https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_elektronskoj_trgovini.html

Finansije i bankarstvo

Finance and Banking



FINANSIJSKO IZVEŠTAVANJE BANAKA: PROBLEMI U MERENJU FER VREDNOSTI PO MODELIMA

FINANCIAL REPORTING OF BANKS: ISSUES IN FAIR VALUE MEASUREMENT BY USING MARK-TO-MODEL APPROACH

MARIJA PANTELIĆ¹, MILUTIN ŽIVANOVIĆ²

¹ Docent, Ekonomski fakultet, Univerzitet u Beogradu, marija.pantelic@ekof.bg.ac.rs

² Asistent, Ekonomski fakultet, Univerzitet u Beogradu, milutin.zivanovic@ekof.bg.ac.rs

Rezime: Uvođenje računovodstva fer vrednosti u finansijsko izveštavanje donelo je sa sobom potrebu da se u uslovima nedovoljno aktivnih i nelikvidnih tržišta prilikom merenja fer vrednosti sredstava i obaveza primenjuju različiti modeli vrednovanja (engl. mark-to-model). U radu je fokus stavljen na izazove koji se stavljaaju pred banke koje posluju u uslovima neaktivnih finansijskih tržišta u pogledu primene modela vrednovanja prilikom merenja fer vrednosti finansijskih instrumenata. Pored uzroka koji dovode do potrebe za primenom modela i analize samih modela koji se koriste pri vrednovanju finansijskih instrumenata, u radu su prikazane potencijalne implikacije koje prelazak sa mark-to-market na mark-to-model računovodstvo fer vrednosti može imati na finansijsko izveštavanje u celini.

Ključne reči: Fer vrednost, Finansijski instrumenti, Modeli vrednovanja, Relevantnost, Pouzdanost

Abstract: The introduction of fair value accounting in financial reporting has created the need to apply different types of fair value measurement models of assets and liabilities in the context of inactive and illiquid markets. The paper focuses on the challenges posed by banks operating in inactive financial markets with regard to the application of the valuation models when measuring the fair value of financial instruments. In addition to the causes that lead to the need to apply the model and analyze the models used in the valuation of financial instruments, the paper presents potential implications that the transition from mark-to-market to mark-to-model fair value accounting can have on financial reporting as a whole.

Keywords: Fair value, Financial instruments, Valuation models, Relevance, Reliability

1. UVOD

Proces finansijskog izveštavanja i finansijski izveštaji su od izuzetnog značaja budući da obezbeđuju neophodnu informacionu osnovu za donošenje ekonomskih odluka. Hibridni model finansijskog izveštavanja, koji integriše elemente istorijskih troškova i fer vrednosti, se nameće kao neizbežna normativna osnova. Ipak, kombinovanje ova dva koncepta znatno usložnjava proces finansijskog izveštavanja. Stoga, zbog postojanja dualnosti, normativna osnova nameće menadžerima, računovođama, revizorima i korisnicima povećane zahteve u vezi sa razumevanjem pravila priznavanja i načina procenjivanja elemenata finansijskih izveštaja. Prema trenutnoj situaciji u međunarodnoj računovodstvenoj regulativi, primenu računovodstva fer vrednosti zahtevaju ili dozvoljavaju brojni standardi. U cilju uspostavljanja jedinstvenih smernica za merenje fer vrednosti, odnosno uspostavljanja konzistentnosti u određivanju fer vrednosti i time unapređenja kvaliteta finansijskog izveštavanja, IASB je objavio novi standard IFRS 13 – *Merenje fer vrednosti*, koji je stupio na snagu 2013. godine. Računovodstvo fer vrednosti je u evropsko zakonodavstvo ušlo sa dopunama IV Direktive (2003/51/EC). Od trenutka uvođenja do današnjeg dana najznačajnije dopune i izmene ove regulative predstavljale su Uredba (1606/2002/EC) i Direktiva (2013/34/EC). U finansijskom izveštavanju u Srbiji, računovodstvo fer vrednosti je faktički postalo prisutno usvajanjem Zakona o računovodstvu i reviziji iz 2002. (čl. 19). Uvođenjem računovodstva fer vrednosti, finansijsko izveštavanje postaje nezamislivo bez upotrebe finansijskih modela koji sve više dobijaju na značaju u savremenom finansijskom izveštavanju. Ova problematika izveštavanja je mnogo značajnija kod banaka u odnosu na ostale entitete zbog čega se banke i nalaze u fokusu našeg rada. Zastupljenost fer vrednosti u finansijskim

izveštajima ovih institucija značajno je veća u odnosu na preduzeća iz realnog sektora, pre svega zbog značajno veće zastupljenosti finansijskih instrumenata u bilansu stanja.

2. HIJERARHIJSKA STRUKTURA MERENJA FER VREDNOSTI

Kakav će uticaj računovodstvo fer vrednosti imati na finansijski položaj i uspeh banaka, zavisi od strukture sredstava i obaveza, obuhvata sredstava i obaveza na koji se mora ili može primeniti koncept fer vrednosti, i načina na koji se fer vrednost meri. Prema tekućoj regulativi IFRS, merenje fer vrednosti finansijskih sredstava i finansijskih obaveza se sprovodi na dva načina: prema tržištima i po modelima.

Za finansijska sredstva i finansijske obaveze kojima se trguje na aktivnim tržištima, fer vrednost se određuje prema kotiranim tržišnim cenama ili dilerskim kotacijama za identičnu imovinu i obaveze. To je takozvani prvi nivo merenja fer vrednosti (engl. *mark-to-market*). U uslovima veoma niskih obima trgovanja, na nedovoljno aktivnim i nelikvidnim tržištima, način utvrđivanja fer vrednosti postaje drugačiji – prelazi se na drugi ili treći hijerarhijski nivo za merenje fer vrednosti. To praktično znači da se procena vrednosti finansijskih instrumenata ne zasniva na kotiranim tržišnim cenama za identična sredstva i obaveze, već su informacije, izvedene na bazi tržišno uočljivih (opservabilnih) inputa za slične instrumente (drugi nivo merenja) i značajnih tržišno neuočljivih inputa (treći nivo merenja), ugrađene u modele za utvrđivanje fer vrednosti (engl. *mark-to-model*). Važno je naglasiti da takvi procesi procene fer vrednosti po svojoj prirodi zahtevaju korišćenje značajnog stepena prosuđivanja – što je hijerarhijski nivo merenja fer vrednosti niži, utvrđivanje fer vrednosti je kompleksnije, subjektivnije i manje pouzdano. S obzirom da je visina utvrđene fer vrednosti po modelima visoko zavisna od korišćenih inputa, maksimiziranjem upotrebe uočljivih i minimiziranjem upotrebe neuočljivih inputa povećava se pouzdanost *mark-to-model* vrednovanja (IFRS 13, 2011, par.67).

Postoje tri pristupa u merenju fer vrednosti: tržišni, prinosni i troškovni. U grupi tržišnih modela najčešće se koristi komparativni model (model multiplikatora) i model matricnog procenjivanja (engl. *matrix pricing*). Najvažniji model u grupi prinosnih modela je model diskontovanih novčanih tokova (*DCF*), a u ovu grupu spadaju i modeli kapitalizovanog novčanog toka (engl. *capitalized cash flows*), viška novčanih tokova (engl. *excess cash flows*), kapitalizovanog dobitka (engl. *capitalized earnings*), viška dobitka (engl. *excess earnings*), *Black-Scholes* model vrednovanja opcija (engl. *option pricing*) i dr. Napomenimo, troškovni pristup koji se odnosi na model troškova zamene ne primenjuje se na finansijske instrumente i adekvatan je za primenu kod sredstava koja ne generišu sopstvene dobitke. U skladu sa regulativom, za utvrđivanje fer vrednosti finansijskih sredstava i finansijskih obaveza dozvoljena je upotreba jednog modela ili istovremeno korišćenje različitih modela kako bi se došlo do najbolje procene fer vrednosti kao reprezentativne tačke u okviru raspona vrednosti koje su generisali pojedinačni modeli.

3. MODELI MERENJA FER VREDNOSTI FINANSIJSKIH INSTRUMENTATA

U ovom delu rada u fokusu razmatranja su modeli koji se koriste prilikom merenja fer vrednosti finansijskih instrumenata budući da oni čine najznačajniji deo bilansa stanja banaka. Konkretnije, akcenat će biti stavljen na merenje fer vrednosti finansijskih sredstava kao posebne kategorije finansijskih instrumenata, dok finansijske obaveze koje se vrednuju po fer vrednosti neće biti predmet razmatranja, budući da je njihova vrednost u finansijskim izveštajima često materijalno beznačajna. Polazeći od klasifikacije finansijskih sredstava sadržane u novom računovodstvenom standardu MSFI 9 – *Finansijski instrumenti*, koji je u efektivnoj primeni od 1. januara 2018. godine, sva finansijska sredstva se prilikom sticanja klasifikuju u jednu od tri kategorije: finansijska sredstva koja se vrednuju po amortizovanom trošku, finansijska sredstva koja se vrednuju po fer vrednosti kroz kapital (ostali ukupan rezultat) i finansijska sredstva koja se vrednuju po fer vrednosti kroz rezultat (EY, 2017). Za nas su od posebnog značaja poslednje dve kategorije finansijskih sredstava budući da je pri njihovom vrednovanju neophodna primena fer vrednosti kao osnove za vrednovanje.

Posebni izazovi prilikom merenja fer vrednosti pojedinih oblika finansijskih sredstava javljaju se u situacijama kada tržišta nisu u dovoljnoj meri aktivna i likvidna. U takvim okolnostima, sa kojima su banke koje posluju u Srbiji često suočene, dolazi do potrebe za merenjem fer vrednosti po modelima uz značajno korišćenje pretpostavki menadžmenta, odnosno, javlja se potreba za prelaskom sa *mark-to-market* na *mark-to-model* pristup (Todorović, Pantelić, 2011). Finansijski instrumenti u koje banke najčešće ulažu svoja slobodna novčana sredstva kako bi povećale profitabilnost ili se eventualno zaštitile od rizika jesu akcije, obveznice i finansijski derivati. Ukoliko se ulaganja u takve finansijske instrumente, polazeći od karakteristika njihovih novčanih tokova i poslovnog modela kojim banka njima upravlja, klasifikuju u kategorije finansijskih sredstava po fer vrednosti kroz kapital ili finansijskih sredstava po fer vrednosti kroz rezultat, javlja se potreba za utvrđivanjem njihove fer vrednosti (kod prvih prilikom naknadnog, a kod drugih

i prilikom inicijalnog i prilikom naknadnog vrednovanja) korišćenjem smernica sadržanih u MSFI 13, što bi u okolnostima nedovoljno aktivnih i likvidnih tržišta zahtevalo merenje FV po modelima.

Kada su u pitanju ulaganja u akcije, ono što bi sa aspekta utvrđivanja njihove fer vrednosti bilo najpoželjnije, jeste primena tehnike kotiranih cena budući da bi se time postigao najveći stepen objektivnosti. Međutim, preduslov za merenje fer vrednosti akcija na ovakav način je da tržište posmatranih akcija bude aktivno i likvidno. Ova pretpostavka u najvećem broju slučajeva kod akcija domaćih preduzeća nije ispunjena. Rezultati istraživanja primene računovodstva fer vrednosti u Srbiji pokazuju da je aplikacija *mark-to-market* merenja uglavnom nemoguća, isključujući merenje za četiri akcije koje se nalaze na *Prime listing-u* i tri na *Standard listing-u* (Pantelić, 2019). Sastavljači finansijskih izveštaja se stoga moraju orijentisati u većoj meri na manje pouzdano merenje fer vrednosti po modelima. U pomenutim okolnostima trebalo bi, kao najboljoj alternativi, pribeci nekoj od drugih mogućih tehnika u okviru tržišnog pristupa. Jedna od mogućih tehnika jeste tehnika uporedivih sredstava ili transakcija što bi podrazumevalo korišćenje cena uporedivih akcija ukoliko takve akcije postoje i ukoliko za takve akcije postoje aktivna i likvidna tržišta, odnosno, cena iz transakcija u kojima se trgovalo uporedivim akcijama ukoliko te transakcije zadovoljavaju uslove definisane u MSFI 13 i ukoliko su informacije o tim transakcijama dostupne. Kada se za potrebe utvrđivanja fer vrednosti akcija koriste informacije iz uporedivih transakcija, zapravo je reč o modelima koji se zasnivaju na upotrebi odgovarajućih tržišnih multiplikatora (P/E, P/B, P/S) (Todorović, Pantelić, 2011).

Međutim, ukoliko se nijedna od tehnika u okviru tržišnog pristupa ne može koristiti, banke se moraju prilikom utvrđivanja fer vrednosti akcija osloniti na neki od modela u okviru prinostnog pristupa. Bankama uglavnom na raspolaganju stoje modeli koji se zasnivaju na tehnikama diskontovanja. Jedan od modela koji se može koristiti jeste model diskontovanih dividendi. Prilikom korišćenja modela diskontovanih dividendi, prva pretpostavka koju menadžment banke mora da napravi odnosi se na tip rasta dividendi koji se u budućnosti očekuje kod kompanije čije se akcije vrednuju. Ukoliko se pretpostavi da će dividende imati stabilan rast onda se za potrebe utvrđivanja fer vrednosti akcija koristi model diskontovanja dividendi koji se zasniva na Gordonovom modelu rasta. Međutim, ukoliko menadžment banke pretpostavi da kompanija neće imati konstantan stabilan rast dividendi, već da će u prvoj fazi rasta, stopa rasta biti promenljiva (rastuća) a da će u drugoj fazi imati konstantan stabilan rast, onda model diskontovanih dividendi za utvrđivanje fer vrednosti akcija ima takozvani dvostepeni oblik (Damodaran, 2012):

$$FV_1 = \sum_{t=1}^n \frac{DPS_t}{k_e - g_n} \quad (1)$$

$$FV_2 = \sum_{t=1}^n \frac{DPS_t}{(1+k_{e,hg})^t} + \frac{P_n}{(1+k_{e,hg})^n} \text{ gde je } P_n = \frac{DPS_{n+1}}{(k_{e,st} - g_n)} \quad (2)$$

gde su:

- FV_1 – fer vrednost akcija ukoliko se primenjuje Gordonov model rasta
- FV_2 – fer vrednost akcija ukoliko se primenjuje dvostepeni model
- DPS_t – očekivana dividenda po akciji u godini t
- k_e – očekivana stopa prinosa vlasnika (hg: period ubrzanog rasta, st: period stabilnog rasta)
- g_n – stabilna stopa rasta dividendi

Osim modela diskontovanih dividendi, za potebe merenja FV akcija često se koristi i model diskontovanih novčanih tokova gde se kao relevantni novčani tok posmatra slobodni novčani tok koji pripada vlasnicima (engl. *Free Cash Flow to Equity*, FCFE). Ovaj model je gotovo identičan prethodno opisanom modelu, samo što su u njemu očekivane dividende zamenjene očekivanim slobodnim novčanim tokom koji pripada vlasnicima. Samim tim, obračun fer vrednosti akcija uz primenu modela diskontovanih očekivanih novčanih tokova može imati jednu od prethodno dve prikazane forme u zavisnosti od pretpostavke menadžmenta koja se odnosi na tip rasta novčanih tokova koji se u budućnosti očekuje kod kompanije čije se akcije vrednuju.

Pored akcija, banke mogu višak svoje gotovine ulagati i u obveznice. Ukoliko banke nemaju nameru da obveznice drže do roka dospeća ili su izvršile ulaganja u obveznice sa namerom da njima trguju, moraju ih vrednovati po fer vrednosti. Problem prilikom utvrđivanja fer vrednosti obveznica može se javiti ukoliko za date obveznice ne postoji aktivno i likvidno sekundarno tržište. U tom slučaju, za potrebe vrednovanja moguće je koristiti model matričnog procenjivanja. Ovakva vrsta modela se uglavnom koristi kada za datu obveznicu čija se fer vrednost utvrđuje ne postoji aktivno tržište, pa se njena fer vrednost utvrđuje korišćenjem informacija o cenama i prinosima uporedivih obveznica za koje postoji aktivno i likvidno tržište. Menadžment banke u toj situaciji mora da, na bazi prosuđivanja, identifikuje one obveznice koje su uporedive sa obveznicom koju vrednuje, da utvrdi njihove prinose do dospeća, da utvrdi prosečan prinos do

dospeća za sve uporedive obveznice istog roka dospeća, da ukoliko uporedive obveznice nisu istog roka dospeća kao obveznica koja je predmet vrednovanja obračuna prinos do dospeća za konkretnu obveznicu primenom metode linearne interpolacije, kao i da na kraju diskontovanjem očekivanih novčanih tokova utvrdi fer vrednost obveznice.

Međutim, ukoliko uporedive obveznice ne postoje na tržištu ili tržište za uporedive obveznice nije aktivno i likvidno, menadžmentu banke ostaje da primeni metodu diskontovanih novčanih tokova i da pretpostavi koja je to stopa koja bi na najbolji način reprezentovala tržišnu kamatnu stopu za date obveznice. Ukoliko pretpostavimo da banka ulaže u obveznice kuponskog tipa, fer vrednost obveznica imala bi sledeći oblik (Todorović, Ivanišević, 2017):

$$FV = \frac{I_1}{1+r_b} + \frac{I_2}{(1+r_b)^2} + \frac{I_3}{(1+r_b)^3} + \dots + \frac{I_n+V_n}{(1+r_b)^n} \quad (3)$$

gde su:

- I – tok godišnjih isplata kamata koje se mogu dobiti kao proizvod kuponske kamatne stope c i nominalne vrednosti obveznice ($I = c \times V_n$)
- V_n – nominalna vrednost obveznice o dospeću
- r_b – zahtevana stopa prinosa

Imajući u vidu da banke koje posluju u Srbiji sve češće ulaze u transakcije sa derivatima, bilo da se na taj način štite od rizika ili da omogućavaju drugim stranama da se zaštite od rizika, neophodno je barem spomenuti da standard koji se bavi finansijskim instrumentima zahteva da se derivati i inicijalno i naknadno vrednuju po fer vrednosti. Banke koje posluju u Srbiji uglavnom ulažu u derivate kojima se trguje na OTC tržištu. Uglavnom je reč o valutnim forvardima i kamatnim i valutnim svopovima za koje ne postoji aktivno i likvidno tržište, te se do njihove fer vrednosti dolazi primenom nekog od modela vrednovanja. (Živanović, 2015)

4. PROBLEMI U MERENJU FER VREDNOSTI PO MODELIMA I IMPLIKACIJE NA FINANSIJSKO IZVEŠTAVANJE BANAKA

U praksi su identifikovani značajni problemi prosuđivanja koji postoje na području pravljenja razgraničenja između aktivnih i neaktivnih tržišta. Pravljenje razgraničenja između aktivnih i neaktivnih tržišta je neophodno kako bi se donela odluka o načinu merenja fer vrednosti – *mark-to-market* ili *mark-to-model*. Ovome treba dodati i problem prosuđivanja u kontekstu prepoznavanja prinudnih transakcija budući da ove transakcije, za razliku od redovnih, ne mogu biti merodavne za utvrđivanje fer vrednosti.

Princip održavanja kvalitete informacione osnove za odlučivanje ima za cilj obezbeđenje primarnih i za odlučivanje neophodnih specifičnih kvaliteta računovodstvenih informacija – relevantnosti i pouzdanosti (Nissin, Penman, 2008). Ovaj cilj je ostvaren ukoliko su tržišta savršeno efikasna a aktuelne tržišne cene odražavaju sve informacije neophodne za njihovo utvrđivanje. Stoga, primena *mark-to-market* vrednovanja (prvi nivo merenja fer vrednosti) omogućava da bilans stanja odražava trenutne tržišne vrednosti sredstava, obaveza i sopstvenog kapitala, obezbeđujući na taj način relevantne informacije za potrebe odlučivanja. Pored toga, informacije o fer vrednosti sredstava i obaveza s obzirom da su zasnovane na aktuelnim tržišnim cenama sa aktivnih tržišta su i pouzdane (potvrđljive, neutralne i verodostojne). U meri u kojoj je tržište u stanju da prepozna „pravu“ ili fundamentalnu vrednost sredstava i obaveza, *mark-to-market* računovodstvo obezbeđuje realno iskazivanje njihovih vrednosti. Dakle, relevantnost fer vrednosti za potrebe odlučivanja zavisiće od veličine odstupanja od teorijske postavke na kojoj počiva računovodstvo fer vrednosti – hipoteze o savršeno efikasnim i likvidnim tržištima.

Na drugom i trećem nivou merenja, vrednost sredstava i obaveza se utvrđuje pomoću modela (engl. *mark-to-model*). Kako bi se stekao bolji uvid u veličinu problema primene fer vrednosti pozivamo se na rezultate istraživanja američke Komisije za HoV (engl. *Securities and Exchange Commission*, SEC) iz 2008. godine o zastupljenosti fer vrednosti u bankama. Istraživanje pokazuje da je na kraju prvog kvartala 2008. godine u SAD, 31% sredstava i 15% obaveza banaka bilo mereno po fer vrednosti; od ukupnih sredstava i obaveza po fer vrednosti, 89% sredstava i 94% obaveza je mereno uz upotrebu modela.

IFRS 13 ne daje detaljne smernice za primenu pojedinih modela, niti primere na kom nivou i kojim modelima se koje pozicije mere. Adekvatan izbor modela predodređen je visokim stepenom ekspertize koji prosečan računovođa često ne poseduje. Naime, procena najrelevantnijeg modela predstavlja veliki izazov čak i za vrhunske teoretičare poslovnih finansija. Osim toga, modeli su predmet ozbiljnih kritika u domenu njihove teorijske prihvatljivosti, dok se na praktičnom nivou mogu javiti i dodatni izazovi u smislu ispunjenosti pretpostavki na kojima modeli počivaju i mogućnosti obezbeđenja adekvatnih inputa (Todorović, Pantelić, 2011). Ilustracije radi, pomenimo samo da se prilikom primene modela diskontovanih novčanih tokova mogu javiti problemi prilagođavanja diskontne stope za percipirani nivo rizika,

prećenjivanja projektovanih novčanik tokova za sredstva i potćenjivanja istih kod obaveza, uvažavanja anticipirane (i neanticipirane) inflacije i slično, dok su u primeni modela multiplikatora imanentni problemi nepostojanja sličnih sredstava i „veštačkog“ proglašavanja drugih sredstava za slična, izbora nedovoljno relevantnih fundamena, izbora pogrešnih multiplikatora i dr. (Penman, 2010).

Visina odmerene fer vrednosti zavisiće u velikoj meri od izabranog modela vrednovanja. Puna sloboda koja je ostavljena sastavljačima finansijskih izveštaja pri izboru modela je polje na kome se ispoljava rizik zloupotrebe, u smislu da će sastavljači finansijskih izveštaja birati modele kojima se maksimizira vrednost sredstava i minimizira vrednost obaveza. S tim u vezi, Chason i Hoffman ističu da su fer vrednosti zasnovane na različitim modelima vrednovanja („surogat vrednosti“) daleko od nepristrasnih, a Magnan i Thornton ukazuju na zabrinjavajuću pojavu uticaja pristrasnog menadžmenta (moralni rizik) na finansijsko izveštavanje u uslovima krize kada se koriste modeli (Bostwick, Fahrenstock, 2011). Plantin, Sapra i Shin ukazuju da je računovodstvo fer vrednosti posebno neefikasno u uslovima postojanja nelikvidnih i neaktivnih tržišta, „dodaje veštački rizik koji umanjuje informacionu vrednost cena sredstava i vodi odlukama koje nisu optimalne“ (Trussel, Rose, 2009). Dodatno, modeli mogu da daju veoma različite rezultate ukoliko se učine mala prilagođavanja pretpostavki na kojima se oni zasnivaju. Ovakav način utvrđivanja fer vrednosti otvara probleme vremenske i prostorne uporedivosti finansijskih izveštaja. Naime, može se desiti da u jednoj istoj banci usled promene korišćenog modela vrednovanja ili malih promena u pretpostavkama dođe do značajnih promena vrednosti datog instrumenta, što otvara problem vremenske uporedivosti finansijskih izveštaja. Sa druge strane, postoji mogućnost da dve različite banke iste finansijske instrumente iskažu u bilansima po vrednostima koje se značajno razlikuju čak i ako koriste iste modele, što otvara brojna pitanja povezana sa problemom prostorne uporedivosti finansijskih izveštaja.

Problem predstavlja i realna mogućnost pojave grešaka u vrednovanju po modelima, što narušava tačnost bilansa stanja i „ugrađuje“ se kao greška procene fer vrednosti u bilans uspeha. Implementacija računovodstva fer vrednosti sa greškom stoga rezultuje u „neinformativnim“ finansijskim izveštajima što umanjuje njihovu upotrebnu vrednost za potrebe odlučivanja. S tim u vezi, Chasan ističe da vrednovanja zasnovana na kompleksnim modelima (i nestalne i subjektivne pretpostavke koje su u osnovi modela) nisu pouzdane, a samim tim ni relevantna, s obzirom da je pouzdanost determinanta relevantnosti (Bostwick, Fahrenstock, 2011). Odstupanja determinisanih fer vrednosti zasnovanih na modelima od „pravih“ fer vrednosti kao posledica mogućih grešaka u određivanju fer vrednosti („rizik modela“), narušavaju istinitost finansijskih izveštaja i pojačavaju njihovu volatilnost (Barth, 2004).

Na kraju, važno je naglasiti da i pored evidentnih problema u merenju fer vrednosti po modelima, u uslovima nedovoljno aktivnog tržišta, značajnije nestalnosti i pada cena, fer vrednosti utvrđene pomoću modela mogu biti relevantnije od tržišnih cena na neaktivnom tržištu, kao i da „modelski“ pristup doprinosi smanjenju volatilnosti finansijskih izveštaja i ublažavanju procikličnih efekata (Malinić, 2009).

5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Imajući u vidu sve prethodno rečeno, neophodna su dalja preispitivanja i usavršavanja tekuće regulative finansijskog izveštavanja u cilju ublažavanja ispoljenih nedostataka u primeni *mark-to-model* računovodstva fer vrednosti. Zahtevi merenja fer vrednosti mogli bi se oceniti kao nedovoljno jasni i nedovoljno precizirani, što usled nedostatka smernica, otvara mogućnosti pojave značajnog stepena prosuđivanja. U narednom periodu kreatori računovodstvenih standarda moraju se fokusirati na kreiranje jasnijih vodiča za determinisanje fer vrednosti na neaktivnim tržištima, a kada je reč o merenju fer vrednosti po modelima, na trećem hijerarhijskom nivou, imperativ je uspostavljanje smernica koje bi omogućile „potvrđivanje“ kompatibilnosti internih pretpostavki entiteta ugrađenih u modele sa pretpostavkama koje bi koristili tržišni participanti u određivanju fer vrednosti. Ovo je naročito važno s obzirom da trenutno ne postoje eksplicitni zahtevi u IFRS 13 u vezi sa tim, te je relevantnost utvrđenih fer vrednosti dovedena u pitanje. Uz to, proces utvrđivanja fer vrednosti po modelima unapredio bi se objavljivanjem najboljih praksi vrednovanja kao i uspostavljanjem kriterijuma za evaluaciju ispravnosti primenjenih modela. Dodatno, podizanje stepena relevantnosti i pouzdanosti informacija o determinisanim fer vrednostima nameće potrebu i za formiranjem profesionalnog tela za nadzor vrednovanja sa zadatkom uspostavljanja konzistentnih standarda vrednovanja baziranih na najboljim praksama, i kontrole ispravnosti utvrđenih fer vrednosti. Široko obrazovanje a posebno znanja o teorijskom shvatanju i praktičnim problemima u primeni fer vrednosti neophodna su investitorima i ostalim učesnicima u sistemu finansijskog izveštavanja (menadžerima, finansijskim analitičarima, prudencionim regulatorima i revizorima) kako bi se razumela suština fer vrednosti, ograničenja u njenoj primeni i procenio stepen relevantnosti i pouzdanosti informacija koje ona pruža.

LITERATURA

- [1] Barth, M. (2004). Fair Values and Financial Statement Volatility. In the Market Discipline Across Countries and Industries, ed. by Claudio Borio, William Curt Hunter, George G. Kaufman, and Kostas Tsatsaronis, Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 323-324.
- [2] Biondi, Y. (2011). The Pure Logic of Accounting: A Critique of the Fair Value Revolution. *Accounting, Economics and Law*, 1(1), 2-46.
- [3] Bostwick, E.D., Fahnstock, R.T. (2011). Fair Value Accounting and the Conceptual Framework. ASBBS Annual Conference, Las Vegas, February, 452.
- [4] Damodaran, A. (2012). *Damodaran on Valuation: Security Analysis for Investment and Corporate Finance*, Second Edition, 157 – 192.
- [5] Directive, E. A. M. (2003). Directive 2003/51/EC of the European Parliament and of the Council of 18 June 2003 amending Directives 78/660. *EEC*, 83, 349.
- [6] Directive, E.A.M. (2013). Directive 2013/34/EU of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 amending Directive 2006/43/EC.
- [7] Emerson, D.J., Karim, K.E. & Ruthledge, R.W. (2010). Fair Value Accounting: A Historical Review of the Most Controversial Accounting Issue in Decades. *Journal of Business & Economics Research*, 8 (4), April, 77-85.
- [8] EY. (2017). IFRS 9 Classification – Helping You See More Than the Tip of the Iceberg, 2-19.
- [9] IASB. (2008). Measuring and Disclosing the Fair Value of Financial Instruments in Markets that are no longer active, IASB Expert Advisory Panel, 5-57.
- [10] IASB. (2011). IFRS 13 Fair Value Measurement, May.
- [11] KPMG. (2017). Fair value measurement. Questions and answers, US GAAP and IFRS, December, 40-60.
- [12] Laux, C. (2012). Financial Instruments, Financial Reporting and Financial Stability. *Accounting and Business Research*, 42 (3), 261-266.
- [13] Laux, C., Leuz, C. (2009). The Crisis of Fair Value Accounting: Making Sense of the recent Debate. *Accounting, Organizations and Society*, 34 (6-7), 826-834.
- [14] Malinić, D. (2009). Računovodstvo fer vrednosti i volatilnost finansijskih izveštaja u uslovima finansijske krize. *Ekonomika preduzeća*, Savez ekonomista Srbije, 57, septembar-oktobar, 308-326.
- [15] Nissin, D., Penman, S. (2008). *Principles for the Application of Fair Value Accounting*, Center for Excellence in Accounting and Security Analysis, White Paper No. 2, 1-75.
- [16] Pantelić, M. (2019). Implementation of Fair Value Accounting in Serbia: Empirical Research. *Ekonomika preduzeća*, Savez ekonomista Srbije, LXVII, September-October, 345-355.
- [17] Penman, S.H. (2010). *Financial Statement Analysis and Security Valuation*. McGraw-Hill, New York, 118-123.
- [18] Plantin, G., Sapra, H. & Shin, H.S. (2008). Fair Value Accounting and Financial Stability. *Financial Stability Review* No. 12, Banque de France, October, 85-93.
- [19] Regulation (EC) No 1606/2002 of the European Parliament and of the Council of 19 July 2002 on the application of international accounting standards.
- [20] SEC, (2008). Report and Recommendations Pursuant to Section 133 of the Emergency Economic Stabilization Act of 2008: Study on Mark-to market Accounting. Staff of the U.S. SEC, 47-79.
- [21] Todorović, M., Ivanišević, M. (2017). *Poslovne Finansijske*, Centar za izdavačku delatnost Ekonomskog fakulteta Univerziteta u Beogradu.
- [22] Todorović, M., Pantelić, M. (2011). Inkorporiranje modela poslovnih finansijskih izveštavanja: izazovi primene u merenju fer vrednosti. *XV kongres Saveza računovođa i revizora Republike Srpske: Refleksije međunarodnih standarda finansijskog izveštavanja na računovodstvo, reviziju i poslovne finansijske*, Mikerević D. (ur.), Banja Vrućica, Bosna i Hercegovina, 22-24. septembar, 473-490.
- [23] Trussel, J.M., Rose, L.C. (2009). Fair Value Accounting and the Current Financial Crisis. *The CPA Journal*, 79 (6), June, 29.
- [24] Živanović, M. (2015). *Finansijski hedžing kao instrument povećanja vrednosti preduzeća*, Stvaranje vrednosti – teorijsko-praktični aspekti, Zbornik radova, Ekonomski fakultet Univerziteta u Beogradu.



ШТА ПОКАЗУЈУ ИНДЕКСИ КОНЦЕНТРАЦИЈЕ: ПРИМЕР БАНКОВНОГ СЕКТОРА СРБИЈЕ

WHAT DEMONSTRATE CONCENTRATION INDICES: EXAMPLE OF THE BANKING SEKTOR OF SERBIA

РАЈКО М. БУКВИЋ¹

¹ Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, Княгинино (Россия); Удружење „Српски кривак”, Београд, r.bukvic@mail.ru

Резиме: У раду се приказују и анализирају основни показатељи који се користе у анализама концентрације на тржишту. Приказани су стандардни коефицијенти (CR_n и HH), нешто ређе коришћени (Бинијев, Розенблатов и Тајдман-Холов), као и Линда-индекси и приступ заснован на Гаусовој кривој распореда удела тржишних учесника. Анализа резултата који се добијају на основу тих индекса извршена је на примеру банковног сектора Србије (без Косова и Метохије), за године 2016–2019. Коришћени су подаци из завршних рачуна банака за три билансне величине (укупна актива, капитал и пословни приход). Добијене вредности показатеља илуструју неједнозначност резултата, и то како кад је реч о примењеним индексима, тако и у односу на примењену билансну величину. Све то указује на потребу да се у будућим анализама користи већи број показатеља и већи број билансних величина, као и да се тумачењу резултата приступа уз неопходну пажњу.

Кључне речи: конкуренција, концентрација, индекси концентрације, неједнозначност резултата, банковни сектор.

Abstract: The paper shows and analyzes the main indicators that are used in the analyses of the market concentration. It were demonstrated standard coefficients (CR_n and HH), more rarely used (Gini, Rosenbluth and Tideman-Hall), and the Linda indices and approach based on the Gaus' curve of the distribution of market shares. The analysis of the results was made on the example of banking sector of Serbia (without Kosovo and Metohija), for the years 2016–2019. It were used the banks' balances three aggregates (total assets, capital and operating income). The values of indicators illustrate ambiguity of results, both in the case of used indices, as well as the used balance aggregate. All of these indicate the need of the use in future analyses many indicators and aggregates, and the need to interpret the results with necessary attention.

Keywords: competition, concentration, indices of concentration, ambiguity of results, banking sector.

1. УВОД

Савремена економска мисао јединствена је у односу према конкуренцији, сматрајући је фактором који обезбеђује ефикасност тржишне привреде. Данас је концепција конкуренције универзални модел, који се примењује не само у економији, већ и у социологији, антропологији, теорији игара и другим наукама и дисциплинама. Међутим, и поред двоиповековне традиције (као оснивач теорије конкуренције прихваћен је А. Смит, иако су се сличним проблемима бавили и други економисти и филозофи пре њега), теоријска мисао још није успела да изгради јединствену и општеприхваћену дефиницију конкуренције. Сходно томе, и многи други аспекти, појаве и чињенице повезане с конкуренцијом још нису решени на задовољавајући начин. Једно од таквих питања је и како мерити конкуренцију, што се може сматрати једним од централних питања целе теорије, и што је од посебне важности у практичној примени резултата теорије (на пример, у спровођењу антимонополске, односно политике заштите конкуренције).

У недостатку задовољавајућег одговора на горње питање, најчешће се примењују релативне оцене на некантитативној скали – јака конкуренција, умерена конкуренција, слаба конкуренција и сл., а као основ за оцене таквог типа користе се експертске процене, социолошке анкете, или пак резултати, тј. последице конкуренције. Као такви резултати појављују се број учесника (фирми) на тржишту, њихови приходи и профити, односно стечена имовина и капитал, и на основу тога удели појединих

учесника на тржишту у одговарајућим величинама, остварени управо у процесу конкуренције, што наравно важи и за профитну стопу у одговарајућој грани.

Један од најчешће коришћених приступа у оцењивању степена конкуренције на тржишту полази управо од остварених удела појединих учесника, и конкуренцију оцењује на основу распореда тих удела међу тржишним актерима. Логика овог приступа једноставна је: што је мања концентрација, тим мање власти (моћи) на тржишту имају поједини учесници, и тим је већа могућност за развој конкуренције. То се може представити једноставним моделом

$$L = 1 - C \quad (1)$$

који показује инверзан однос између конкуренције (L) и концентрације (C), при чему се тај однос претпоставља као линеаран. Ова претпоставка крајње је поједностављена, а у основи и нетачна, будући да су истраживања показала да је тај однос другачији, али је нужно њено прихватање, будући да је природа тог односа још увек неразјашњена (Воробљев, Светуњков 2016).

Ниво, односно степен концентрације, оцењује се преко удела учесника на тржишту

$$s_i = \frac{Q_i}{Q} = \frac{Q_i}{\sum_{j=1}^N Q_j} \quad (2)$$

где је Q_i 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, биће 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 ($C=1/N$, $C \rightarrow 0$ када $N \rightarrow \infty$).

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 (CR_n) и Хиршман-Херфиндалов коефицијент (HH). Први од њих представља прост збир удела првих n (по рангу, дакле најкрупнијих) учесника на тржишту

$$CR_n = \sum_{j=1}^n s_j \quad (3)$$

при чему се за n 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 назива „језгро” тржишта, а да занемарује његову „периферију”, при чему опет граница између ових двају делова тржишта није јасно одређена.

За разлику од показатеља (3), Хиршман-Херфиндалов коефицијент одређује се узимањем у обзир свих учесника на тржишту. Пошто је збир удела свих учесника једнак јединици, у конструкцији овог коефицијента узимају се квадрати одговарајућих удела

$$HH = \sum_{j=1}^N s_j^2 \quad (4)$$

Коефицијент концентрације (3) обрачунава се једноставно и није захтеван, потребно је имати свега неколико података. Он, међутим, има озбиљне недостатке (може имати исту вредност за различит распоред удела у оквиру „језгра”), што значајно ограничава његову употребљивост. Често се истиче да код коефицијента (4) такав недостатак не постоји, а то га наводно чини знатно прихватљивијим. Ипак, из чињенице да се његове вредности крећу у интервалу

$$\frac{1}{N} \leq HH \leq 1 \quad (5)$$

следи да његова минимална вредност зависи од броја учесника на тржишту, тако да је интерпретација коефицијента (4) веома отежана. То, наравно, важи утолико пре и за коефицијент (3). С друге стране, очито је да HH коефицијент већи значај придаје учесницима с већим уделом (пондером сваког удела могао би се сматрати сам тај удео). Међутим, важније од свега тога је што HH не обезбеђује једнозначну везу између распореда удела и степена концентрације, тако да он може имати исту вредност за веома различите конфигурације тржишних удела (Смарагдов, Сидорейко 2015).

С аспекта практичног спровођења политике конкуренције код оба индекса појављују се и проблеми индентификовања типова (облика) конкуренције на основу њихових утврђених вредности. Ти проблеми решавају се арбитрарним постављањем граница (на пример, код Хиршман-Херфиндаловог коефицијента 1000 и 1800, за неконцентрисана, умерено концентрисана и

висококонтрисана тржишта), да би се на основу вредности коефицијента 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 (Lipczynski et al. 2013)

$$G = \frac{\sum_{i=1}^N S_i}{0,5 \times (N+1) \sum_{i=1}^N s_i} - 1 \quad (6)$$

где S_j означава делимичне кумулативе s_i :

$$S_j = \sum_{j=1}^i s_j \quad (7)$$

И Розенблатов коефицијент сумира све тржишне уделе (уређене у опадајући низ), али их пондерише одговарајућим ранговима, а коефицијент се обрачунава по формули (Bikker, Haaf 2002):

$$R = \frac{1}{2 \times \sum_{i=1}^N R_i s_i - 1} \quad (8)$$

На исти начин конструисан је и Тајдман-Холов коефицијент (Hall & Tideman 1967)

$$TH = \frac{1}{2 \times \sum_{i=1}^N R_i s_i - 1} \quad (9)$$

али је код њега низ удела уређен у растући.

Остали коефицијенти овог типа (коефицијент варијације, Хорватов, мера ентропије, Хана-Кеј, Дејвисов и др.) користе се знатно ређе, и нећемо их овде разматрати.

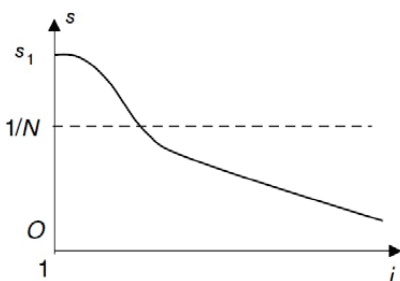
Другачија логика налази се у основи индекса, заправо, система индекса који је средином 1970-их конструисао Р. Линда (Linda 1976)

$$IL_m = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{i=1}^{m-1} \frac{m-i}{i} \cdot \frac{CRi}{CRm-CRi} \quad (10)$$

који у резултату не даје један број, већ низ (коефицијената). Претходно је потребно уделе уредити у опадајући низ, а распоред добијених индекса открива (не)постојање олигополске структуре. Уколико је добијени низ индекса (10) монотонно 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 видљива.

Распоред удела тржишних актера разматрали су и аутор овог реферата и његов коаутор (Bukvić i Hinić 1995) у анализи робних тржишта у СР Југославији. На распоред показатеља CRi ($i=1, 2, 4, 6$), обрачунатих на основу прихода предузећа, за 185 групација робних тржишта аутори су применом кластерске анализе идентификовали 11 типова тржишта (од монопола до



Слика 1. Распоред удела фирми на тржишту

конкуренције). Овај поступак аутор је поновио ради утврђивања типова тржишних структура у југословенској прехранбеној индустрији за 2000. годину (Буквић 2002), за 218 појединачних производа, на пуном скупу показатеља CRi ($i=1, \dots, 6$), обрачунатих, наравно, на основу физичког обима производње. У оба случаја примењено је Еуклидово одстојање, као најпопуларнија метрика у кластерској анализи:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{l=1}^{218} (s_i^l - s_j^l)^2} \quad (11)$$

Другачији приступ распореду удела налази се у радовима С. Г. Светуњкова, видети рецимо (Воробџев и Светуњков 2016). Ту је представљен нови приступ, који се заснива на факту да (уређени) низ удела фирми на тржишту (2) формира монотонно опадајућу функцију. Та функција може бити представљена експоненцијалном кривом типа Гауса (12), 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 (12) добија да је $b=s_1$, том заменом добија се функција с једним параметром (13), која логаритмовањем даје (14), одакле се параметар a може лако оценити (15). 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.

$$s_i = be^{-a(i-1)} \quad (12)$$

$$s_i = s_1 e^{-a(i-1)} \quad (13)$$

$$\ln \frac{s_i}{s_1} = -a(i-1) \quad (14)$$

$$a = -\frac{\sum_{i=1}^N \ln \frac{s_i}{s_1}}{\sum_{i=1}^N (i-1)} \quad (15)$$

3. ЕМПИРИЈСКА АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЉА: ПРИМЕР БАНКОВНОГ СЕКТОРА СРБИЈЕ

Емпиријску проверу карактеристика наведених показатеља извршићемо на примеру банковног сектора Србије, 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 физичким обим производње, који у овом случају нема пандана), тако да је најпре потребно изабрати променљиву према којој ће се одређивати концентрација и конкуренција. У нашим претходним радовима, видети на пример (Вуквић 2020), користили смо пет променљивих: укупну активу, депозите, капитал, кредите и пословни приход. За потребе овог рада задржаћемо се на следећим променљивим: укупна актива, капитал и пословни приход. Потребно је нагласити да избор променљивих за потребе анализе концентрације нема неки посебан значај, будући да су оне међусобно веома високо корелисане, као што смо показали у наведеном раду. Донекле је изузетак капитал, премда се и његова корелација с другим променљивима, мање снажна у оквиру датог скупа, креће на нивоу од око 0,95 а то је такође висока корелација.

У наведеном раду анализирани су године 2016–2018, а међу показатељима примат је дат индексу Линда. Наравно, одређени су и други коефицијенти, и то CRn (CR3, CR4 и CR8) и HH, такође и Ђинијев коефицијент G. У овом раду укључићемо и 2019. годину, и обрачунаћемо све горе наведене показатеље. Као основа за обрачунае послужили су завршни рачуни банака, које смо користили и раније, а који су постављени на сајт Народне банке Србије (Биланс стања/успеха банака 2020).

Добијене резултате представимо у наредној табели (Табела 1), након чега ће уследити дискусија.

Табела 1: Показатељи концентрације за укупну активу, капитал и пословни приход у банковном сектору Србије 2016–2019

Показатељ	Укупна актива			Капитал			Пословни приход		
	2016.	2018.	2019.*	2016.	2018.	2019.*	2016.	2018.	2019.*
CR3	39,6	37,4	37,9	38,7	37,2	37,8	36,8	37,0	36,2
CR4	47,4	45,8	46,2	47,4	45,8	46,0	44,6	46,2	45,0
HH	813	779	808	882	807	816	764	805	797
G	0,568	0,524	0,526	0,583	0,537	0,532	0,549	0,529	0,519
R	0,021	0,024	0,025	0,021	0,024	0,025	0,021	0,024	0,025
HT	0,081	0,081	0,085	0,084	0,084	0,086	0,077	0,082	0,083
L	м.о.	м.о.	м.о.	L8 > L7	L8 > L7	L8 > L7	м.о.	м.о.	м.о.
b	0,170	0,151	0,159	0,196	0,157	0,151	0,164	0,171	0,164
a	0,168	0,149	0,173	0,178	0,154	0,165	0,163	0,158	0,175

* Период јануар – септембар.

Пре дискусије добијених резултата направимо кратак осврт на промене броја банака у посматраном периоду. Тај број у Србији након политичких промена пред крај 2000. године налази се у константном опадању: са 86 на почетку и 49 на крају 2001. он је смањен у периоду који је оквир наше анализе на 30 у 2016. (29 у 2017), затим на 27 у 2018. и на 26 у 2019. години (Банкарски сектор у Србији. Квартални извештај 2010–2019). Овај већ дводеценијски тренд смањења броја банака, иако не

и довољан као показатељ, ипак сугерише да се сужавају услови за развој конкуренције. Наравно, то истовремено не мора да значи и да се доиста смањује интензитет конкуренције између постојећих актера, што би се могло проверити уз примену другачијих приступа, видети рецимо (Волков и Светуњков 2013). С друге стране, промене броја банака свакако су утицале на концентрацију и конкуренцију. За разлику од ситуације почетком 2000-их, када су великом броју банака одузете дозволе за рад, током овде посматраног периода промене су се односиле углавном на припајања банака (2 у 2017, 1 у 2018. и 1 у 2019), док је једној банци одузета дозвола (у 2018), а на тржиште је ушла једна (страна) банка, на самом крају 2016. Наравно, на степен концентрације, и последично конкуренције, утицали су и други фактори, а не само ове промене. Покушаћемо на основу анализе резултата датих у табели 1 да се у томе разаберемо.

4. ДИСКУСИЈА

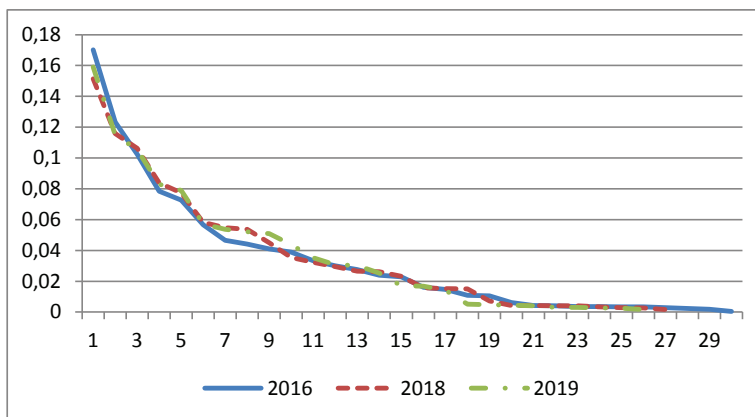
Погледајмо какве нам информације пружа Табела 1.

Као прво, можемо констатовати да стандардно коришћени коефицијенти (CR_n и H_n) указују на низак, односно умерен степен концентрације. Ми смо се овде определили за коефицијенте CR3 и CR4. Коефицијент CR8, који смо користили поред овде наведених у претходним радовима, видети рецимо (Bukvić 2020), сматрамо сувише великим за мало тржиште Србије. То се утолико пре може рећи за CR10, који уз CR5, користи и Народна банка Србије у кварталним извештајима.

Друго што се може запазити је опадање вредности ових показатеља, такође и Ђинијевог коефицијента, у 2018. у односу на 2016. годину, изузев за трећу променљиву (пословни приход). Имајући у виду смањење броја банака у 2017. и 2018, овакав резултат на први поглед може изгледати изненађујући, и свакако захтева неко објашњење. Наведени коефицијенти (CR3 и CR4, H_n и G) такво објашњење нису у стању да дају. С друге стране, за разлику од њих, код Розенблатовог, и у мањој мери Хол-Тајдмановог коефицијента запажа се другачије кретање. Очигледним изгледа да на оваква дивергентна кретања утиче начин пондерисања удела s_i код ова два потоња коефицијента, пре свега код коефицијента R. Најзад, вредности Ђинијевог коефицијента даље су опале и у 2019. години (изузев код укупне aktive), што је супротно кретању других, стандардно коришћених коефицијената, али опет уз изузетак пословног прихода.

Као узредни резултат резултата из табеле 1 намеће се закључак да, када је у питању банковни сектор, избор билансних променљивих на основу којих ће се одређивати концентрација није без значаја. Тиме се донекле релативизује закључак, који је аутор овог реферата донео на основу коефицијената корелације између анализираних пет билансних променљивих, укључујући и депозите и кредите (Bukvić 2020). Очигледно је да ово питање захтева додатна емпиријска истраживања и провере.

Горњи закључак о утицају удела највећег учесника потврђује и кретање коефицијента b у моделу (12), односно удела највећег учесника на тржишту (s_1). Његове вредности код прве (укупна актива) и нарочито друге променљиве (капитал) управо илуструју оваква кретања, док је трећа променљива (пословни приход) у овом смислу изузетак.



Слика 2. Распоред удела банака за променљиву „Укупна актива”

Дакле, већ на основу наведеног може се закључити да је величини удела највећег учесника на тржишту потребно посветити посебну пажњу. Други параметар у наведеном моделу (12), коефицијент a , показује степен концентрације удела у оквиру датог скупа. Што је његова вредност ближа нули, концентрација је уједначенија. Његове вредности управо показују оно што смо констатовали код кретања већине показатеља из табеле 1, наиме смањење у 2018. и затим повећање у 2019. години.

Што се тиче индекса Линда, као што је већ истакнуто, њихове вредности саме по себи немају посебан значај, већ се посматра кретање низа индекса. За променљиве укупна актива и пословни приход ти низови су монотонно опадајући, а за променљиву капитал, низ је прекинут између седмог и осмог учесника ($L8 > L7$), што указује на сумњу на постојање олигопола („лабавог олигопола”).

Погледајмо на крају (слика 2) какав је распоред тржишних удела у оквиру скупа банака у Србији у посматраном периоду, на основу укупне активе.

5. ЗАКЉУЧАК

Анализе извршене у овом раду показују неједнозначно кретање разних показатеља концентрације, и сходно томе упућују на различите закључке о постојању конкуренције у разматраној привреди, односно привредном сектору.

С друге стране, показује се и да одабир величина на основу којих ће се одређивати концентрација у банковном сектору није без значаја. Тиме су донекле релативизовани закључци да је то ирелевантно, а до којих је аутор дошао у претходним радовима на основу веома високе корелисаности распореда тржишних удела за те билансне величине (укупна актива, депозити, кредити, приход, капитал).

На основу наведених резултата може се препоручити да се у будућим истраживањима користи упоредо већи број показатеља, а када је банковни сектор у питању и већи број (билансних) величина, и да се скрупулозно анализирају добијени резултати и разлике међу њима.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Банкарски сектор у Србији. Квартални извештај, 2010–2019, Београд: Народна банка Србије.
- [2] Биланс стања/успеха банака, Београд: Народна банка Србије, 2016–2020, https://www.nbs.rs/internet/cirilica/50/50_5.html
- [3] Буквић, Р. (2002). Утврђивање типова тржишних структура у југословенској прехрамбеној индустрији, *Zbornik radova Više poslovne škole u Novom Sadu*, 2002, 4, 35–47.
- [4] Волков, А. В. и С. Г. Светуњков. (2013). Методологические проблемы измерения конкуренции, *Современная конкуренция*, 7(6), 54–64.
- [5] Воробьев, П. Ф. и С. Г. Светуњков. (2016). Новый подход к оценке уровня конкуренции. *Современная конкуренция*, 10(6), 5–19.
- [6] Смарагдов, И. А. и В. Н. Сидорейко. (2015). Индексы рыночной концентрации: неоднозначная информативность, *Концепт*, 9, 1–8.
- [7] 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.
- [8] Bukvić, R. M. (2020) Concentration and Competition in Serbian Banking Sector in the Period 2016–2018, *Економика*, 66(2) (у штампи).
- [9] Bukvić, R. i V. Hinić. (1995). Oblici konkurencije na robnim tržištima u Jugoslaviji, *Mesečne analize i prognoze* (Београд: Институт економских наука), 2 (5), 58–66.
- [10] Hall, Marshall and Nicolaus Tideman. Measures of Concentration, *Journal of the American Statistical Association*, 1967, 62 (317), pp. 162–168.
- [11] Linda, R. (1976). Methodology of concentration analysis applied to the study of industries and markets, Brussels: Commission of the European Communities.
- [12] Lipczynski, J.; J. O. S. Wilson, J. Goddard. (2013). *Industrial Organization. Competition, Strategy and Policy*, Fifth Edition, Harlow: Pearson Education Limited.



USLOVNO-KONVERTIBILNE OBVEZNICE

CONTINGENT CONVERTIBLE (COCO) BONDS

IRENA JANKOVIĆ¹

¹ Univerzitet u Beogradu – Ekonomski fakultet, Beograd, irena.jankovic@ekof.bg.ac.rs

Rezime: Cilj ovoga rada jeste da prikaže uslovno-konvertibilne obveznice (engl. Contingent convertible (CoCo) bonds) – njihove karakteristike, strukturu novčanih tokova i kompleksnost vrednovanja. S obzirom na to da ove obveznice predstavljaju jedan od najrizičnijih tipova dužničkih finansijskih instrumenata koje finansijske institucije mogu da emituju, kao tekuće pitanje ostaje njihov potencijano sistemski efekat u periodima kriza, kao što je poslednja kriza COVID-19.

Ključne reči: Uslovno-konvertibilne obveznice, Vrednovanje, COVID-19.

Abstract: The aim of the paper is to present contingent convertible (CoCo) bonds – their characteristics, cash flow structure and complexity of valuation. Since they represent one of the riskiest types of debt instruments financial institutions can issue, as the current question remains their potential systemic effect in times of crises, like the latest COVID-19 crisis.

Keywords: Contingent convertible bonds, Valuation, COVID-19.

1. INTRODUCTION

Contingent convertible (CoCo) bonds or AT1s belong to the class of the most risky debt a financial institution, usually a bank, can issue. They are often created as perpetual in nature, although the issuer may repay them after certain pre-specified period.

Contingent convertible securities were designed in the wake of the global financial crisis in 2008 with a goal to place a burden of financial difficulties issuer is dealing with on investors, rather than general public or taxpayers (BIS 2017, p. 2).

2. DEFINITION AND MAIN CHARACTERISTICS OF COCO BONDS

Contingent convertible or CoCo bonds are financial instruments that are hybrid in nature. They have characteristics of both debt and equity instruments. CoCo bonds are often perpetual securities that pay a fixed coupon until a fixed date. After the specified date, the coupon is reset to a fixed margin over an index. The coupon reset date is usually the bond's first call date. The proceeds from issuance of CoCo bonds enter Additional Tier 1 (AT1) capital of banks, because of which these instruments are also known as AT1s. On the liability side of a bank's balance sheet CoCo bonds are ranked as subordinated debt below secured debt but above priority and common stocks.

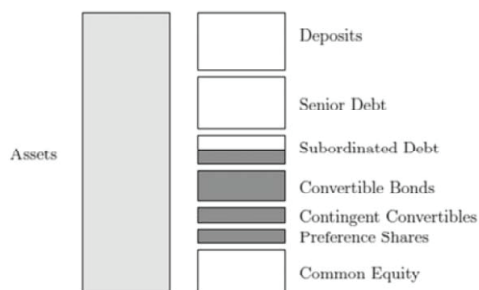


Chart 1: CoCo bond's position in bank's balance sheet

Source: Spiegeleer *et al.* 2018, p. 15

CoCo bonds have a built-in covenant that states that bonds can be converted into equity in the case a trigger event occurs. The trigger event may be mechanical or voluntary in nature. Because of this characteristic CoCo bonds are said to have loss-absorbing properties.

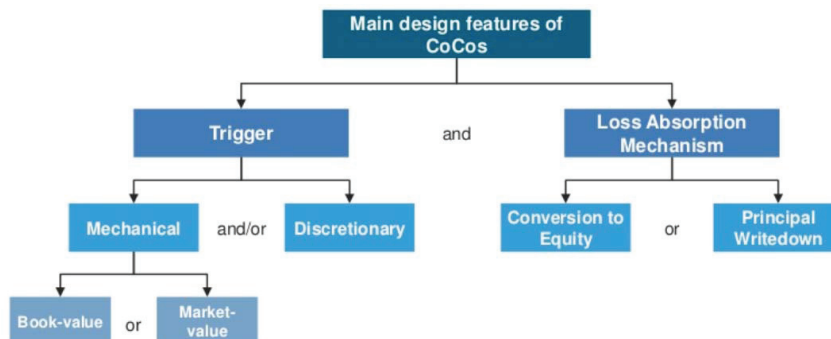


Chart 1: Main design characteristics of CoCo bonds
Source: Bank for International Settlements

Contingent convertible bonds are created to help banks and other financial institutions in times of distress because they can skip coupon payments without defaulting and convert the debt to equity or write it down.

Table 1: Selected banks and insurance institutions that have issued CoCo bonds

Lloyds Bank	Rabobank	Credit Suisse	UBS	Barclays
Bank of Ireland	Swiss Re	KBC Bank	BBVA	Société Générale
Credit Agricole	Nomura	Macquarie Bank	Bank of Brazil	VTB Bank

Source: Author's presentation

CoCo bond has two main elements: the trigger and the conversion rate. The trigger is the pre-specified event that is causing the conversion process. The conversion rate is the rate at which the debt is converted into equity. The trigger, which may be mechanical or discretionary, has to be defined in a way that ensures inviolable conversion. Sometimes possibility exists for dynamic sequence-conversion occurring at different pre-specified thresholds of the trigger event. In order to prevent accounting or market manipulation, a commonly used trigger measure is the measure of bank's solvency. The trigger of a CoCo bond is documented in prospectus. It specifies when the bond will get converted or written down. It is often defined as accounting or capital ratio level. The capital ratio indicates the healthiness level of the bank's balance sheet. The amount of the regulatory capital is compared to the risk-weighted assets (RWA) on the balance sheet. The RWA is the total sum of the assets where each class is multiplied with its corresponding risk weight. The weighting scheme is taking the risks for each asset class into account. Banks are obliged to hold enough regulatory capital to protect against a decrease in assets value. An example of an accounting ratio typically used in Basel III, and also for CoCos, is the bank's Common Equity Tier 1 (CET1) ratio. The CET1 ratio is defined as a measure of a bank's common equity capital expressed as a percentage of risk-weighted assets. The Basel Committee proposes an absolute minimum level of this ratio at 4.5%. The trigger levels for the CoCos based on their CET1 ratio range in most cases from 5 to 8% (Spiegelcer *et al.* 2018, pp. 4-5).

The design of the trigger and the conversion rate is important for the CoCo bond effectiveness. In the event the conversion trigger is not breached, CoCo bond remains a coupon paying subordinated debt until maturity (unless it is a perpetual bond). A conversion is not an option at the discretion of a bondholder but is forced when regulatory capital fails to meet a predetermined level. This feature provides to CoCo bonds the loss-absorption capacity on a going-concern basis. Thus, these instruments provide buffer capital to a bank or other financial institution at times of distress but before potential insolvency. A more extreme loss-absorption mechanism is designed as a write-down property, where the occurrence of the predetermined event triggers a write-down of a bond's value. Such mechanisms triggered in times of distress may rescue a financial institution from failure without using taxpayers' money for large financial institutions bail-outs. The burden of financial institution failure is transferred to bondholders, i.e. investors, while the institution

may continue to operate without disruption of the broader financial system (Liberadzki and Liberadzki 2019, p.1.). Due to their specific and high risk profile investors are requiring higher return and are ready to pay lower price for CoCo bond in comparison to similar bond without contingent-convertible properties.

3. COCO BONDS IN COVID-19 CIRCUMSTANCES

The latest Covid-19 outbreak brought changes to this special market segment. Lloyds Banking Group Plc has become the third European bank this year that declined to redeem an outstanding CoCo bond at its first call date. Lloyds cited “extraordinary market challenges presented by Covid-19” as the reason to extend its AT1s. By retaining the 6.375% 750 million-euro (\$824 million) CoCo, it will switch to paying a floating coupon just above 5%. If it had redeemed the CoCo bond and issued a replacement bond, it would have had to offer a higher coupon to reflect the current market state, probably above 7% (Ashworth 2020).

Spain’s Banco Santander SA, as a blue-chip lender, last year did not redeem its AT1 debt for same economic interest. That is standard practice in the U.S. market but not that usual in Europe. Germany’s Deutsche Bank AG and Aareal Bank AG have also skipped calls this year. Both, regulatory pressure and the increase in yields on risky debt during the current crisis have forced even better capitalized banks to prioritize their financing costs. ABN Amro Bank NV and Royal Bank of Scotland Group Plc both have AT1 bonds with calls due this summer, and Barclays Plc is due later in this year. They may follow the Lloyds example and retain cheap AT1 capital raised at lower yields. The Lloyds move represents a wake-up call for AT1 investors. While bigger banks may remain popular among investors despite these decisions, the change may affect weaker lenders. If investors no longer feel confident that their money will be returned at the first redemption date, they will demand a higher return. The Bank of Ireland Group Plc e.g. did what Lloyds refused to do and redeemed existing AT1 and reissued bonds at a higher cost.

This new separation between large stable banks and smaller ones that have to offer higher risk premium to their issues represents a worry for the health of the financial system. It should be under consideration of European regulators. Forcing the strong banks to keep capital has consequences for financially weaker ones.

4. CASH FLOW STRUCTURE AND VALUATION OF COCO BONDS

CoCo bonds are non-standardized instruments which represents the first challenge in their valuation. In addition, the valuation of a CoCo includes the modeling of both the trigger probability and the expected loss for the investor. Adequate financial models that could deliver acceptable theoretical price would be those with a market trigger. In them, the loss absorption mechanism is activated as soon as an observable variable such as, for example, a share price level or credit default swaps spreads, drops below a specified level. Various models have been developed for CoCo bonds valuation with their own assumptions and drawbacks.

The simplified models are classified under term heuristic models. A rule-of-thumb model to price CoCo bonds is the yield based method. The capital hierarchy of the liabilities is used in order to calculate the yield. The CoCo price is estimated through discounting of all future coupon payments with the derived yield. A lot of internal and financial market information is needed in order to derive the yield for a CoCo. Finally, different interpolating schemes might result in different CoCo prices. Thus, explained approach is straightforward but it may lack accuracy.

More evolved approaches are based on structural models. These models set the asset price of the company as the stochastic parameter driving the value of bonds or equity. The asset value of a bank is essentially unobservable between quarterly reports. The truly observable real-time information is available in share price, bond price, credit default swaps and equity option prices. In structural models the trigger moment is based on the performance of the assets. However, the trigger point may be also estimated from different perspectives.

We further focus on market implied models in which the CoCo value is based on market data such as share price, credit default spreads and volatilities (Spiegel *et al.* 2018, p. 24). First type of these models, credit derivatives approach, treats CoCo as credit investment. Second model, more sophisticated one, called the equity derivatives approach, decomposes the CoCo bond in several exotic options. Finally, new model, called the implied CET1 volatility model is based on CET1 ratio and its volatility. It will be presented further.

4.1. The Implied CET1 Volatility Model

The implied CET1 volatility model is based on the CET1 ratio and its volatility. Among all mentioned it is the most straightforward model. Although the CET1 ratio value is known on quarterly basis, it will be modeled as a continuous geometric Brownian motion without a drift. This model is called the Black's model:

$$\frac{dCET1_t}{CET1_t} = \sigma_{CET1} dW_t \quad (1)$$

The probability p_T^* that this ratio will reach a trigger level during a time period T is given by (Su and Rieger 2009):

$$p_T^* = \Phi\left(\frac{\log\left(\frac{Trigger}{CET1}\right) - \mu T}{\sigma_{CET1}\sqrt{T}}\right) + \left(\frac{Trigger}{CET1}\right)^{-1} \Phi\left(\frac{\log\left(\frac{Trigger}{CET1}\right) + \mu T}{\sigma_{CET1}\sqrt{T}}\right) \quad (2)$$

with

$$\mu = -\frac{\sigma_{CET1}^2}{2}$$

Trigger : Contractual CET1 trigger level
 σ_{CET1} : Volatility of the CET1 ratio
 T : Maturity of the contingent convertible
CET1 : Current CET1 ratio

The equation above provides the probability that a CET1 ratio will touch the accounting trigger somewhere between today and the expiration of the bond T years from now.

Further, trigger distance $D = \frac{CET1}{Trigger}$ is introduced in Equation (2) that results with:

$$p_T^* = 1 - \Phi\left(\frac{\log(D) + \mu T}{\sigma_{CET1}\sqrt{T}}\right) + D \Phi\left(-\frac{\log(D) - \mu T}{\sigma_{CET1}\sqrt{T}}\right) \quad (3)$$

This equation presents the probability that the trigger is going to happen. From p_T^* the value of the CoCo spread can be determined ($s_{CoCo,T}$):

$$s_{CoCo,T} = -\frac{\log(1-p_T^*)}{T} \times (1 - R_{CoCo}) \quad (4)$$

with R_{CoCo} being the recovery ratio after a trigger event.

Using Equation (4) to price a contingent convertible bond is not a straightforward procedure. The main obstacle is the lack of knowledge about the recovery ratio and the volatility level of the CET1. In the case a CoCo bond is written-down, the recovery rate is equal to 0. Still, it is necessary to determine the value of the σ_{CET1} in order to determine the value of the CoCo bond.

The other way the model can be implemented is to find, from the CoCo market prices, an implied volatility level for the CET1 ratio. This procedure is very similar to finding of an implied volatility from option prices in derivative market. The CoCo bond is treated as a derivative instrument with the CET1 level as underlying. From CoCo market prices implied volatility is found such that model price matches the market price.

The theoretical price of the full write-down CoCo bond expiring T years from now becomes:

$$P = ZC + C_{pn}$$

$$ZC = N \exp(-rT) \times (1 - p_T^*)$$

$$C_{pn} = \sum_{i=1}^k c_i \exp(-rt_i) \times [\Phi(x_i - \sigma_{CET1}\sqrt{t_i}) - D \Phi(y_i - \sigma_{CET1}\sqrt{t_i})] \quad (5)$$

where

$$x_i = \frac{\log(D)}{\sigma_{CET1}\sqrt{t_i}} + \frac{\sigma_{CET1}\sqrt{t_i}}{2}$$

$$y_i = -\frac{\log(D)}{\sigma_{CET1}\sqrt{t_i}} + \frac{\sigma_{CET1}\sqrt{t_i}}{2}$$

k = Total number of coupons

Starting from the market price of the CoCo bond or its spread, implied volatility of the CET1 ratio, $\sigma_{CET1}^{implied}$, may be determined. It reflects the market view of the dynamics of the CET1 ratio.

The model application will now be illustrated on one of the CoCo issues made by Credit Suisse (Spiegeleer *et al.* 2018, pp. 32-33).

On October 21, 2015 Credit Suisse reported its capital ratios for the third quarter of 2015. The CET1 ratio reported by the bank was equal to 10.2%.

Table 2: Example of Credit Suisse CoCo bond issue

CREDIT SUISSE	
Name	CREDIT SUISSE 5.75%
ISIN	XS0972523947
Issue Date	18-Sep-13
CET1 Report Date	21-Oct-15
CET1 Fully phased-in	10.2
Trigger	5
Coco Price	112.88
CoCo Spread	275

Source: Spiegeleer *et al.* 2018, p. 33

Taking into account that Tier 2 CoCo bond has a trigger of 5% it can be calculated that $D = 2.04$.

In order to calculate $\sigma_{CET1}^{implied}$ for Credit Suisse, the market price of CoCo bond on the publication day of CET1 ratio is used. Since this is the full write-down CoCo bond, the recovery ratio R_{CoCo} is set to be equal to 0 in Equation (4). The implied volatility of the CET1 ratio is then found to be equal to 18.88%.

5. CONCLUSION

The paper analyzed CoCo bonds, their main characteristics and valuation process. Contingent convertible bonds became popular source of financial institutions financing after the global financial crisis of 2008. These hybrid instruments are providing extra capital for institutions in distress. In the context of Basel III requirements the loss-absorbing instruments have important role. Before the crisis large financial institutions were assumed to be too-big-to-fail meaning that regulator would support them in time of distress with taxpayer's money. Today, with changing regulation, banks are obliged to have more loss absorbing capital to be able to fight the crisis without causing potential spillover and systemic effects. Unfortunately, since financial institutions are still highly interconnected the potential contagion effect is not eliminated since banks may invest in each other CoCo bonds and other instruments.

LITERATURE

- [1] Ashworth, M. (May 27, 2020). CoCo Bond Investors Face a Covid-19 Reckoning. <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2020-05-27/coco-bond-investors-face-a-covid-19-reckoning>
- [2] BIS. (2017). CoCo Issuance and Bank Fragility. Working Paper No. 678, 1-46.
- [3] Liberadzki, M., & Liberadzki, K. (2019). Contingent Convertible Bonds, Corporate Hybrid Securities and Preferred Shares – Instruments, Regulation, Management. Palgrave Macmillan
- [4] Spiegeleer, J.D., Marquet, I., & Schoutens, W. (2018). The Risk Management of Contingent Convertible (CoCo) Bonds. Springer
- [5] Su, L., & Rieger, M.O. (2009). How likely is it to Hit a Barrier? Theoretical and empirical Estimates. Tech. rep. Working Paper No. 594. National Centre of Competence in Research, Financial Valuation and Risk Management.

Geoinformazioni sistemi

Geoinformation systems



OTKRIVANJE I PRAĆENJE STANJA AMBROZIJE NA OSNOVU SNIMAKA

DETECTION AND MONITORING THE AMBROSIA STATUS BASED ON IMAGES

NENAD GALJAK¹, MIROSLAV VUJASINOVIĆ², MIODRAG REGODIĆ², BORISLAVA STOJNIC²

¹ Univerzitet odbrane, Vojna akademija Beograd, galjaknenad@gmail.com

² Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, miroslav.vujasinovic@aggf.unibl.org
miodrag.regodic@aggf.unibl.org, borislavastojnic@yahoo.com

Rezime: Snimci mnogih daljinskih senzora koriste se za analizu fizičkih pojava i procesa na površini Zemlje. Identifikacija vegetacije sa daljinskih snimaka izvodi se svrstavanjem svih piksela sa istim spektralnim karakteristikama u istu klasu. Da bi se daljinski snimci uspešno koristili za analizu stanja vegetacije, neophodno je sprovesti postupke poboljšanja kvaliteta snimaka. U radu su predstavljeni postupci filtriranja i isticanja ivica objekata na RGB snimcima u okviru prostornog poboljšanja kvaliteta daljinskih digitalnih snimaka. Obradivani su kvalitetani digitalni snimci visoke prostorne rezolucije, što je omogućilo uspešnu primenu programskog paketa Matlab i dobijeni su vrlo jasni, precizni i izražajni slikovni prikazi.

Cljučne reči: Ambrozija, Digitalni snimak, Filteri, Matlab.

Abstract: Images of many remote sensors are used to analyze physical phenomena and processes on Earth's surfaces. Identification of vegetation from remote sensing images is performed by assigning all pixels with the same spectral characteristics to the same class. To use remote sensing images successfully to analyze vegetation conditions, it is necessary to carry out procedures for improving the quality of images. The paper presents the methods of filtering and highlighting the edges of objects on RGB images as part of the spatial improvement of the quality of remote digital images. High-resolution digital images were processed, which enabled the successful application of the Matlab software package and obtained very clear, precise and expressive image displays.

Keywords: Ambrosia, Digital image, Filter, Matlab.

1. UVOD

Daljinska detekcija zajedno sa digitalnom obradom slike našla je primenu u raznim oblastima. Pa tako se može upotrebiti za određivanje površina pod vegetacijom, određivanje vrste, tipa, visine, rasprostranjenosti, starosti kao i mnogih drugih osobina bilo kog vegetacionog pokrivača. Saznanja o razlikama između biljnih vrsta i zajednica, kao i poznavanje procesa razvoja biljnih kultura daje vredan uvid u klimatske, geološke i fiziološke karakteristike područja.

Daljinsko snimanje vegetacije uglavnom se vrši registrovanjem informacija o refleksiji elektromagnetnih talasa od objekta od interesa pomoću senzora. Refleksija spektra svetlosti od biljaka menja se s vrstom biljke, sadržajem vode u biljci, i drugim unutrašnjim faktorima. Spektralna karakteristika vegetacije određena je hemijskim i morfološkim karakteristikama površine biljaka i listova.

Kartiranje pokrivenosti tla vegetacijom omogućava praćenje njenog stanja i detektovanje nastalih promena. Da bi se stanje vegetacije moglo pratiti potrebno je prikupiti podatke sa finom prostornom rezolucijom. Senzori za daljinska istraživanja mogu identifikovati vegetaciju u spektralnom području od ultraljubičastog zračenja do mikrotalasnog zračenja (Shobairi 2018).

2. OTKRIVANJE I PRAĆENJE STANJA AMBROZIJE NA OSNOVU SNIMAKA

Identifikacija vegetacije sa daljinskih snimaka izvodi se svrstavanjem svih piksela sa istim spektralnim karakteristikama u istu klasu. Svi pikseli koji pripadaju istoj klasi, odnosno imaju iste spektralne karakteristike, najčešće pripadaju istom tipu zemljišnog pokrivača, tla, vode i sl.

Nakon lansiranja prvog satlita za istraživanje Zemlje 1972. godine, krenuli su napori da se uspostavi veza između vegetacionog pokrivača i daljinskog snimanja. Za proučavanje vegetacije korisnim su se pokazali vidljivi i bliski infracrveni delovi elektromagnetnog spektra. Različiti vegetacioni pokrivači okarakterisani su različitim svojstvima spektralne refleksije u odnosu na druge elemente u prirodi.

Na primer, hlorofil apsorbuje svetlost u crvenom dijelu elektromagnetnog spektra (talasne dužine 630 – 690 nm), dok se bliski infracrveni dio EM spektra snažno reflektuje od listove biljaka.

U zavisnosti od stanja, određene delove spektra svetlosti biljka više apsorbuje, dok druge delove spektra više reflektuje. Zdrava biljka, koja efikasno vrši fotosintezu, apsorbuje vidljivi deo spektra (crveni, zeleni i plavi deo spektra), dok nevidljivi deo spektra u infracrvenom i spektru bliskom infracrvenom spektru reflektuje. Biljka koja poseduje određene nedostatke (nedostatak vode ili hranjivih materija), ne vrši efikasno fotosintezu i takva biljka ima veću refleksiju vidljivog spektra, dok se refleksija nevidljivog spektra, tj. spektra bliskog infracrvenom spektru smanjuje (Tegetlija i dr., 2017).

Vrednost spektralne refleksije biljke ne daje puno informacija o stanju biljke. Kombinovanjem snimaka iz više različitih spektralnih područja, koji se izvode po određenim algoritmima, dobijaju se indeksi.

Vegetacioni indeksi su kvantitativne mere kojima se procenjuje stanje vegetacije. Oni pokazuju bolji stepen osetljivosti u odnosu na zasebne spektralne kanale pri detektovanju biomasa. Vegetacioni indeksi od velike su pomoći kod interpretacije daljinskih snimaka za detekciju promena zemljišta, procenu stanja zdravlja vegetacije, njene gustoće i rasprostranjenosti. Predstavljaju bezdimenzionalnu meru, koja se dobija kombinovanjem različitih spektralnih kanala koji su osjetljivi na biljnu biomasa.

Prve vegetacione indekse razvili su R. L. Pearson i L.D. Miller, još 1972. godine i to su bili: RVI (eng. Ratio Vegetation Index) i VIN (eng. Vegetation Index Number).

$$RVI = \rho_{RED} / \rho_{NNIR} \quad (1)$$

$$VIN = \rho_{NNIR} / \rho_{RED} \quad (2)$$

gde su: ρ_{RED} - vrednost spektralne refleksije u crvenom delu spektra,

ρ_{NNIR} - vrijednost spektralne refleksije u bliskom infracrvenom dijelu spektra.

Vegetacioni indeksi omogućuju pojačan kontrast između zemlje i vegetacije, umanjuju efekte uzrokovane uslovima osvetljenja, ali su i osjetljivi na optičke osobine tla.

Ambrozija (lat. *Ambrosia artemisiifolia*) je jednogodišnja zeljasta biljka koja se pojavljuje kao invazivni korov u svim ratarskim kulturama, u vrtovima, voćnjacima, vinogradima i na svim ostalim nepoljoprivrednim površinama koje su pod uticajem čoveka. Ambrozija je poreklom iz Severne Amerike. Vegetativni period ambrozije traje tri do četiri meseca (150 - 170 dana). Na našem području ambrozija niče sredinom aprila, a cvetanje počinje krajem jula i traje sve do pojave prvih mrazeva. Najčešće raste na zapuštenim poljoprivrednim i građevinskim zemljištima, na poljima kukuruza, soje, suncokreta, te uz puteve i železničke pruge (Izvor: <https://www.pestrid.hr/daljinska-detekcija-i-mapiranje-ambrozije> 1.) Izgled roda *Ambrosia artemisiifolia* prikazan je na slici 1.



Slika 1: *Ambrosia artemisiifolia*, Izvor: <http://www.zzjkzz.hr/dokumenti/ambrozija-clanak.pdf>

Sve vrste ambrozije pricinjavaju značajne probleme u poljoprivredi, oduzimajući biljkama životni prostor, hranjive materije, a time se stvaraju i ekonomski gubitci usljed smanjenja prinosa i kvalitete poljoprivrednih proizvoda (Grgić 2018) Ipak, najveću štetu ambrozija nanosi ljudskom zdravlju.

Ambrozija se do sada kartirala tako što su ljudi obučeni da je prepoznaju obilazili lokacije za koje se pretpostavljalo da na njima može biti ambrozije, što je zahtevalo veoma mnogo vremena da se fizički obidu sve parcele i atari. Kako bi se omogućilo efikasnije otkrivanje i praćenje površina zaraženih ambrozijom u upotrebu su uvedeni snimci visoke rezolucije načinjeni iz aviona, helikoptera, drona ili čak iz satelita. Ovim se postigla značajna ušteda u pogledu vremena i troškova.

Daljinska detekcija otkriva širenje ambrozije i omogućava brže i efikasnije kartiranje iste. Daljinsku detekciju zagađenosti zemljišta ambrozijom prvi su razvili i sproveli stručnjaci iz Kanade, Francuske i Mađarske, a u jugoistočnoj Evropi takva istraživanja prvi su primjenili stručnjaci iz novosadske firme „Ciklonizacija“.

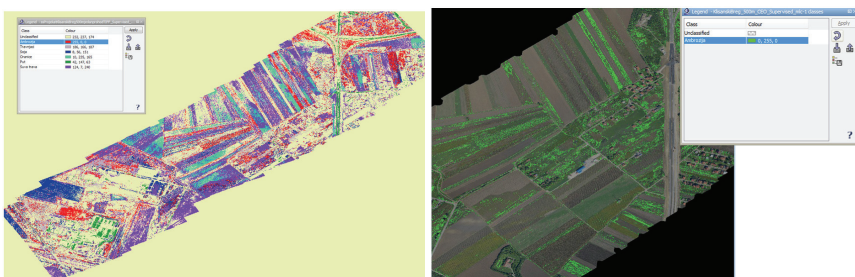
Postupak kartiranja područja pod ambrozijom primjenom metode daljinske detekcije podrazumeva sledeće faze (Izvor: <https://www.pestrid.hr/daljinska-detekcija-i-mapiranje-ambrozije> 1):

- Snimanje terena i izrada georeferenciranih snimaka
- Detekcija rasprostranjenosti ambrozije sa snimaka
- Daljinska detekcija prostorne raspodele ambrozije posle tretmana – kontrola.

Da bi se na osnovu snimaka nastalih metodom daljinske detekcije izdvojilo područje sa ambrozijom primenjuje se nadgledana klasifikacija. Kod primene nadgledane klasifikacije u praćenju stanja ambrozije izdvajaju se sledeće bitne karakteristike:

- Karakteristika ambrozije je da u sušnim ljetnim periodima prije cvjetanja i na početka cvjetanja listovi ambrozije zadržavaju zelenu boju u poređenju s ostalim vrstama koje ne podnose sušu.
- Klasifikacija s nadgledanjem sprovodi se na georeferenciranom snimku iz vazduha dobijenog od više uzajamno preklapljenih snimaka.
- Trening površine s ambrozijom za provođenje klasifikacije s nadgledanjem utvrđuju se na terenu na zadatoj lokaciji snimanja.
- Svaka trening površina s ambrozijom mora biti homogena, zbog preciznijeg sprovođenja klasifikacije.
- Snimci lokacije iz vazduha pre tretmana trebaju biti snimljeni kamerom koja snima u vidljivom delu elektromagnetnog spektra, a posle tretmana multispektralnom NGB (NIR, Green, Blue) kamerom koja snima u vidljivom i infracrvenom delu elektromagnetnog spektra.
- Vrlo je bitna i prostorna rezolucija snimaka iz vazduha, jer što je ona veća, preciznija je i klasifikacija i vizuelna interpretacija ambrozije na datim snimcima.

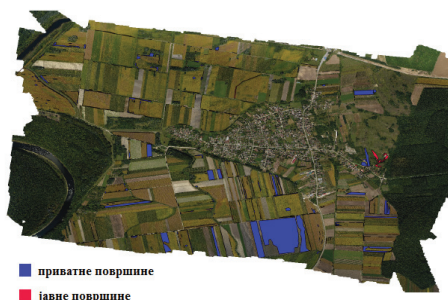
Kao rezultat se dobije tematska karta, gdje je svakoj klasi na tematskoj karti dodeljena određena boja. Izgled klasifikovanog snimka predstavljen je na slici 2, gde je ambrozija predstavljena crvenom bojom. Na osnovu klasifikacije snimka izdvojena je samo jedna klasa (ambrozija) i predstavljena zelenom bojom.



Slika 2: Prikaz rezultata klasifikacije sa svim definisani klasama - levo i sa samo jednom klasom (ambrozija) – desno, Izvor: <https://www.pestrid.hr/daljinska-detekcija-i-mapiranje-ambrozije> 1

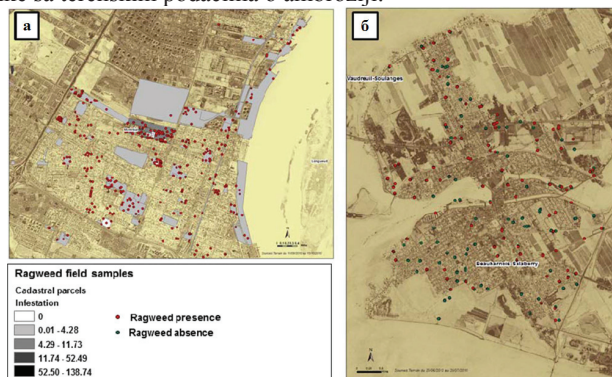
Nakon izvršene klasifikacije snimaka potrebno je izvršiti korekciju dobijenih rezultata klasifikacije. Ona se sprovodi pomoću vizuelne interpretacije, koja zavisi od poznavanja područja koje je snimljeno. Potrebno je dobro poznavati izgled određenih površina na snimku snimljenom u zadanom vremenskom trenutku kako bi se provela korekcija klasifikacije. Površine na kojima je utvrđeno da postoji prisutvo ambrozije označavaju se poligonima. Da bi se potvrdili rezultati klasifikacije definisane lokacije se obilaze na terenu.

Krajnji rezultat klasifikacije u vidu karte sa izdvojenim područjima polja zaraženih ambrozijom prikazan je na slici 3.



Slika 3: Karta ambrozije, Izvor: <https://www.pestrid.hr/daljinska-detekcija-i-mapiranje-ambrozije> 1

Dva su osnovna razloga korišćenja senzora sa različitim prostornim i spektralnim karakteristikama prilikom istraživanja. Prvi, primena tada relativno novih talasnih dužina u analizi urbane vegetacije, koja se ogleda kroz upotrebu Red edge spektralnog opsega (kanala) (705 – 745 nm) i bliskog infracrvenog 2 (eng. Near Infrared 2) (860 – 1040 nm) kanala. Drugi, uticaj prostorne rezolucije na tačnost kartiranja. Slika 4 prikazuje satelitske snimke sa terenskim podacima o ambroziji.



Slika 4: World-view 2 snimak Montreala sa terenskim podacima o ambroziji (a); Rapid Eye snimak Valejfielda sa terenskim podacima o ambroziji (b) (Plaščak i dr., 2018)

3. POBOLJŠANJE KVALITETA DIGITALNIH SNIMAKA

Proces poboljšanja snimka (eng. Image enhancement) vrši se isticanjem finih, teško uočljivih elemenata snimka. Poboljšanjem snimka postiže se mnogo bolja analiza i interpretacija sadržaja snimaka, što je od izuzetne važnosti u daljinskim istraživanjima.

Postupci poboljšanja kvaliteta snimaka zasnivaju se na primeni skupa matematičkih operacija u okviru programskih paketa i softvera, koje imaju za cilj poboljšanje uočljivosti objekata na snimcima, povećavanje ili smanjivanje kontrasta, geometrijsku korekciju, kombinovanje snimaka dobijenih različitim sensorima i sl.

Poboljšanje kvaliteta digitalnih snimaka najčešće se izvodi kroz radiometrijsko poboljšanje (eng. radiometric enhancement), prostorno poboljšanje (eng. spatial enhancement) i spektralno poboljšanje (Regodić 2008).

Najveću primenu u obradi digitalnih snimaka ima programski paket MATLAB. MATLAB se koristi za niz aplikacija, uključujući i obrade signala i komunikacija, slike i video obradi, sistema kontrole, ispitivanja i merenja i sl.

Prostornim poboljšanjem snimka, koje se često naziva i prostorno filtriranje, povećava se kvalitet njegove vizuelne prezentacije i naglašavaju traženi podaci.

Za prostorno poboljšanje koriste se smoothing filteri. Reč smoothing znači zagladiti, ispeglati, umanjiti neravnine. Stoga se ovi filteri koriste za redukciju šuma ili za segmentaciju.

Za filtriranje slike u MATLAB-u se koristi sljedeća funkcija:

```
b = imfilter(a,h,način_filtriranja,rubne_opcije,...opcije_veličine);
```

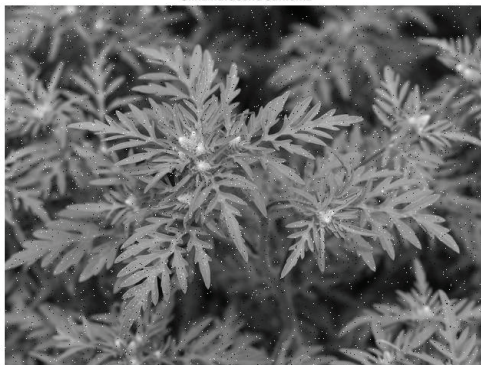
gde je a - slika koja se filtrira, h maska filtera, način_filtriranja specificira da li se izračunava korelacija ili konvolucija, rubne_opcije način rješavanja problema rubnih piksela, a opcije_veličine određuje da li će biti vraćen cijeli rezultat konvolucije ili samo slika čija je veličina jednaka veličini polazne slike.

Poboljšanje kvaliteta digitalnih snimaka koji su opterećeni šumom, moguće je primjenom različitih filtera. Postoje razne vrste šumova: salt & pepper, speckle, poisson, localvar i gaussian. Da bi se dodao impulsni 'salt & pepper' šum potrebno je da slika bude sačuvana u klasi double. Elementi matrice treba da budu u opsegu [0, 1]. Narušavanje piksela vrši se preko sledeće sintakse:

```
b=imnoise(a,'salt & pepper',D);
```

gdje je D - intenzitet dodatog impulsnog šuma (ako se izostavi podrazumijeva se 0.05). Izgled snimka narušenog šumom predstavljen je na slici 5.

Slika narušena šumom



Slika 5: Snimak sa prisutnim šumom 'salt & pepper'

Kako se filtriranjem mogu otkloniti razni šumovi, sada na izvornu sliku narušenu šumom 'salt & pepper' potrebno primijeniti odgovarajuće filtere. Najbolje rezultate popravljavanja kvaliteta snimka daje Median filter. Sintaksa za Median filter:

```
>>e = medfilt2(c, [3 3]);
```

Median filter



Slika 6: Uklanjanje šuma 'salt & pepper' Median filterom

Za izdvajanje ivica koristi se funkcija edge, koja uzima intenzitet slike kao ulaznu veličinu, i vraća crno belu sliku iste veličine kao ulazna, sa jedinicama na mestima gde funkcija edge nađe ivice i sa nulama na ostalim mestima. Funkcija edge podržava šest različitih metoda za detekciju ivica. Sintaksa za Canny metodu:

```
>>e_canny=edge(b,'canny');
```

Canny metoda



Slika 7: Izdvajanje ivica pomoću funkcije edge i metode Canny

Canny filter najbolje izdovi detekciju ivica sa snimaka, jer daje najverniji prikaz koji je i suština edge filtriranja.

4. ZAKLJUČAK

Daljinska detekcija, kao metod prikupljanja i obrade podataka, može se uspješno primjenjivati u praćenju stanja vegetacije, gde najveću primenu ima u oblasti poljoprivrede i šumarstva. U okviru poljoprivrede daljinska istraživanja mogu se koristiti za dobijanje informacija o vrsti poljoprivrednih kultura i njihovom stanju. U šumarstvu tehnike daljinskih istraživanja koriste se kod praćenja stanja šuma, njihovog razvoja, kod procjene rizika od šumskih požara i sl.

U praćenju stanja vegetacije se primjenjuje značajan broj satelita, poput LANDSAT, SPOT, Sentinel misija, kao i sateliti misije DigitalGlobe. Snimci koje sateliti obezbeđuju su najefikasniji i najekonomičniji način da se dođe do informacija o velikom području za kratko vrijeme.

Nakon pribavljanja daljinskih snimaka određenog područja postupak detektovanja vegetacije započinje sa proračunima različitih spektralnih indeksa, gdje je na osnovu spektralnih popisa biljaka i odgovarajućih vegetacionih indeksa (NDVI, GNDVI, EVI i dr.) moguće pratiti stanje vegetacije.

Detekciju ambrozije je moguće izvršiti na osnovu snimaka nastalih tehnikama daljinskih istraživanja. Za sprovođenje postupka klasifikacije potrebno je definisati reprezentativne uzorke i svrstati ih u jednu klasu, a nakon toga izabrati metod klasifikacije sa najvećom verovatnoćom (eng. Maximum Likelihood). Nakon dobijanja informacija iz klasifikacije o prisustvu ambrozije na snimljenom području, moguće je sprovesti mere za uništavanje i spriječavanje širenja ambrozije.

Postupak poboljšanja kvaliteta snimaka primenom programskog paketa MATLAB u potpunosti zadovoljava potrebe za obradom snimka. MATLAB uz primenu logične sintakse i brzog procesiranja iste, omogućuje izvođenje radiometrijskog, prostornog i spektralnog poboljšanja kvaliteta digitalnih snimaka.

LITERATURA

- [1] Grgić, S. (2014). Morfološka obilježja i značaj roda *Ambrosia* u Republici Hrvatskoj, Poljoprivredni fakultet Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek
- [2] Plaščak, I., Jurišić, M., Šiljeg, A., Jeftić, L., Zimmer, D., Barač, Ž. (2018). Remote sensing of ragweed (*Ambrosia Artemisiifolia* L.), Technical Journal
- [3] Regodić, M. (2008). Primena satelitskih snimaka za dopunu sadržaja topografskih karata, Vojnotehnički glasnik, Beograd
- [4] Tegeltija, S., Tejić, B., Đukić, N., Ostojić, G., Lazarević, M. (2017). Merenje spektralnih refleksija biljaka, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, Novi Sad
- [5] Shobairi, S. (2018). Remotely sensed data and vegetation coverage detection, LAT LAMBERT Academic Publishing
- [6] <http://www.zzjkzz.hr/dokumenti/ambrozija-clanak.pdf>
- [7] <https://www.pestrid.hr/daljinska-detekcija-i-mapiranje-ambrozije> 1



IZRADA DIGITALNOG MODELA POVRŠI NA OSNOVU SNIMAKA BESPILOTNOM LETELICOM

MAKING A DIGITAL SURFACE MODEL BASED ON IMAGES, COLLECTED FROM UNMANNED AERIAL VEHICLES

MIODRAG REGODIĆ¹, LJUBOMIR GIGOVIĆ², MIROSLAV VUJASINOVIĆ², GORAN KLJEČANIN²

¹Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, miodrag.regodic@aggf.unibl.org, miroslav.vujasinovic@aggf.unibl.org, goran.kljecanin96@yahoo.com

²Univerzitet odbrane, Vojna akademija, Beograd, gigoviclj@gmail.com

Rezime: Razvoj bespilotnih letelica je omogućio otkrivanje, snimanje i praćenje mnogih nepristupačnih objekata i pojava u realnom vremenu, u gotovo svim vremenskim uslovima. Snimci načinjeni pomoću senzora iz bespilotnih letelica, pored korišćenja u mnogim oblastima, mogu uspešno da se primene i u oblasti fotogrametrije. Ovako dobijeni digitalni snimci, uz primenu odgovarajućih softverskih paketa, mogu uspešno da se koriste kod izrade raznih digitalnih 3D modela i geodetskih podloga, koje su polazna osnova u mnogim naučnim oblastima. U radu su predstavljeni postupci izrade digitalnog modela površi dela katastarske opštine, na osnovu snimaka bespilotnom letelicom. Obradivani su kvalitetniji digitalni snimci visoke prostorne rezolucije, što je omogućilo dobijanje kvalitetnih slikovnih prikaza.

Cljučne reči: *Bespilotna letelica, Plan leta, Digitalni snimak, Digitalni modeli površi.*

Abstract: The development of unmanned aerial vehicles has enabled the detection, recording and monitoring of many inaccessible objects and phenomena in real time, in almost all weather conditions. Images made from drones, in addition to their use in many areas, can be successfully applied in photogrammetry. The digital images obtained, with the application of appropriate software packages, can be successfully used in the creation of various 3D digital models and geodetic maps, which are the starting point in many scientific fields. The paper presents the procedures for creating a digital model of a part of a cadastral municipality, based on the images of an unmanned aerial vehicle. High-resolution digital images were processed, which made it possible to get quality views of terrain.

Keywords: *Unmanned aerial vehicles, Flight plan, Digital image, Digital surface model.*

1. UVOD

Primena bespilotnih letelica u oblasti geodezije još uvek nije na nivou na kojem bi trebala biti, s obzirom na mogućnosti koje bespilotne letelice pružaju. Jedna od najčešći primena bespilotnih letelica u geodeziji jeste u oblasti fotogrametrije, odnosno za izradu raznih 3D modela objekata, ali i reljefa zemljišta, digitalnog modela terena, digitalnog modela visina, digitalnih ortofotoa. Geodetske podloge kao rezultat geodetskog mjerenja imaju primenu u raznim naukama, pa samim tim i primena bespilotnih letelica u geodeziji može da ima primenu i u drugim naučnim oblastima kao što je: šumarstvo, poljoprivreda, rudarstvo, geologija i dr.

Za projektovanje i izradu idejnih rešenja budućih objekata neophodno je koristiti podloge koje sadrže dovoljan broj informacija. Upravo takve informacije mogu pružiti podloge koje su dobijene na osnovu snimaka bespilotnom letelicom. Prednosti tih geodetskih podloga (sve vrste terena i razni modeli) se ogledaju u brzini izrade same podloge ali i u ažurnosti podataka i na kraju krajeva ekonomska isplativost.

Proizvodi kao što su digitalni model terena i digitalni ortofoto mogu pružiti različite geodetske podloge, kako u vektorskom tako i u rasterskom obliku.

Razvojem GNSS i INS, digitalnih kamera i bespilotnih letelica, te sve veće ekonomske opravdanosti, izbor mikro i mini kategorija bespilotnih letelica postaje zanimljiv za fotogrametrijske potrebe. Osnovni zahtevi koje bespilotne letelice moraju zadovoljavati da bi se mogle koristiti za fotogrametrijsko snimanje su [2]:

- Mogućnost izvođenja projektovanog plana leta s visokom tačnošću,
- Mogućnost nosivosti opreme za snimanje i navigaciju,

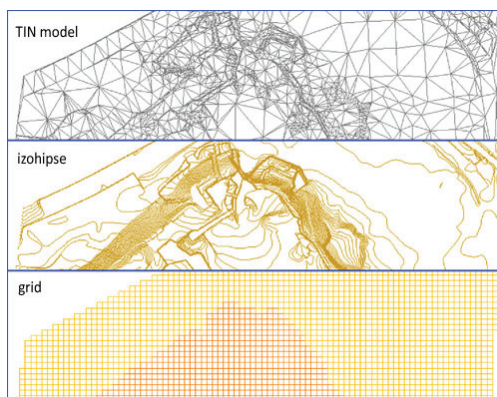
- Autonomija leta letelice,
- Smanjenje vibracija i ostalih spoljašnjih uticaja tokom leta. U slučaju nemogućnosti korišćenja šablona i ikona, potrebno je pratiti uputstvo dato u daljem tekstu.

2. DIGITALNI MODEL TERENA

Digitalni model terena predstavlja standardni način za predstavljanje površi terena u digitalnom obliku. Površ terena se predstavlja matematičkim modelom koji podrazumeva upotrebu pravilne mreže visina (GRID) ili upotrebu mreže nepravilnih trouglova (TIN). Ovi modeli nastaju na osnovu poznatih vrednosti pozicija i visina tačaka i karakterističnih linija površi terena.

U zavisnosti od načina na koji je izvršen izbor tačaka i načina na koji su ti podaci organizovani, definišu se sledeći tipovi DMT (slika 1):

- GRID – sistem baziran na podacima uređenim u pravilnu mrežu tačaka,
- TIN – sistem baziran na podacima u obliku mreže nepravilnih trouglova, gdje su tačke sa poznatim visinama temena trouglova,
- Hibridni model.



Slika 1: Tipovi DMT [4]

Digitalni model terena je koristan kod svih vrsta prostornih analiza i kod izrade i realizacije projekata izgradnje različitih objekata na površi terena kao što su:

- Analiza dogledanja,
- 3D vizualizacija,
- Procena erozije,
- Zemljani radovi,
- Računanje kubatura i dr.

Digitalni model terena je koristan kod svih vrsta prostornih analiza i kod izrade i realizacije projekata izgradnje različitih objekata na površi terena.

Podaci o površi terena se korisnicima mogu isporučiti u digitalnom obliku u vidu obrađenih prikupljenih podataka (tačke i linije terena, izohipse), ali se češće isporučuju u obliku GRID ili TIN DMT modela podataka. Formati za isporuku ovih podataka su standardni CAD i vektorski GIS formati za tačke, linije terena i TIN, ili to mogu biti rasterski GIS formati za DMT u GRID formi [6, 7].

Digitalni model terena - DMT (Digital Terrain Model - DTM) predstavlja mnogo složeniji i sveobuhvatniji koncept, koji uključuje ne samo visine tačaka već i druge karakteristike terena (prekidne i strukturne linije terena, karakteristične tačke, i sl.), takođe, može sadržati i neke izvedene informacije, kao što su nagibi, aspekti, vidljivost i dr [1].

U užem smislu, digitalni model terena predstavlja reljef terena, dok u širem smislu on može da obuhvati pored samog reljefa i objekte i pojave koji se nalaze na površi terena.

Digitalni model terena je numerička i matematička predstava terena dobijena korišćenjem odgovarajućih visinskih i položajnih merenja, kompatibilnih u gustini i rasporedu sa terenom, tako da visina bilo koje tačke na obuhvaćenom terenu može automatski da se dobije interpolacijom uz odgovarajuću tačnost. Kao što sam naziv kaže, DMT je model, tj. najbolja aproksimacija Zemljinog reljefa, odnosno njegovog manjeg dela u digitalnom obliku te zbog toga ima široko područje primene. Digitalni model terena, je najjednostavnije

rečeno, statistički prikaz kontinuiranih površi reljefa (u vektorskom ili rasterskom obliku) sa nizom poznatih x , y i z koordinata unutar proizvoljno izabranog koordinatnog sistema [3].

U zavisnosti od naučne discipline ili države, koriste se sledeći nazivi: digitalni model terena (reljefa) (digital terrain model); digitalni elevacijski model (digital elevation model); digitalni model visina (digital height model); digitalni osnovni model (digital ground model); digitalni model visina reljefa (digital terrain elevation model) i digitalni model površina (digital surface model) [5].

U radu je opisana izrada digitalnog modela terena K.O. Česma 4 na osnovu snimaka bespilotnom letelicom MAVIC PRO (slika 2), kompanije DJI.

U pitanju je najmanja leteća kamera kompanije DJI koja poseduje potpuno stabilizovanu kameru, senzore koji omogućavaju izbegavanje prepreka unutar revolucionarnog sklopivog dizajna. Kamera snima 4K video zapise i fotografije od 12 megapiksela. MAVIC PRO se može pohvaliti maksimalnom brzinom leta od 40 km/h i maksimalnim vremenom leta od 27 minuta.



Slika 2: Bespilotna letelica DJI MAVIC PRO

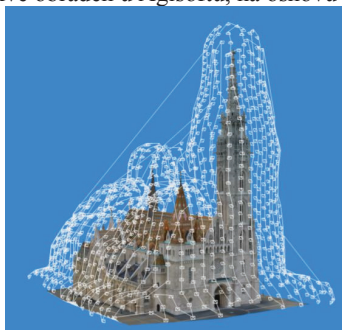
PIX4D je android mobilna aplikacija koja je korištena za planiranje leta i podešavanje parametara plana leta letelicom MAVIC PRO. Softver se može iskoristiti i za obradu snimaka i izradu modela terena, ortofotoa, izradu različitih simulacija terena i dr.

Softver omogućava obradu slika iz RGB ili multispektralnih kamera, uključujući sisteme sa više kamera, u prostorne informacije velike vrednosti u obliku gustih oblaka tačaka, teksturiranih poligonalnih modela, georeferenciranih pravih ortomozaika i DMP/DMT.

Naknadna obrada omogućava da se uklone senke i artefakti tekstone iz modela, izračunaju indeksi vegetacije i izdvoje informacije za mape delovanja poljoprivredne opreme, dok se klasifikacija oblaka tačaka vrši automatski [8].

Na osnovu najsavremenije tehnologije koju je razvio Agisoft, Metashape omogućava veoma brzu obradu, pružajući istovremeno dosledne i visoko tačne rezultate i za fotografije iz vazduha i iz blizine (do 3 cm za vazduh i do 1 mm za bliskopredmetne fotografije). Agisoft Metashape je sposoban za obradu 50 000+ fotografija preko lokalnog klastera, zahvaljujući distribuiranoj funkcionalnosti obrade [8].

Na slici 3 prikazan je 3D model crkve obrađen u Agisoftu, na osnovu snimaka bespilotnom letelicom.



Slika 3: 3D model crkve [7]

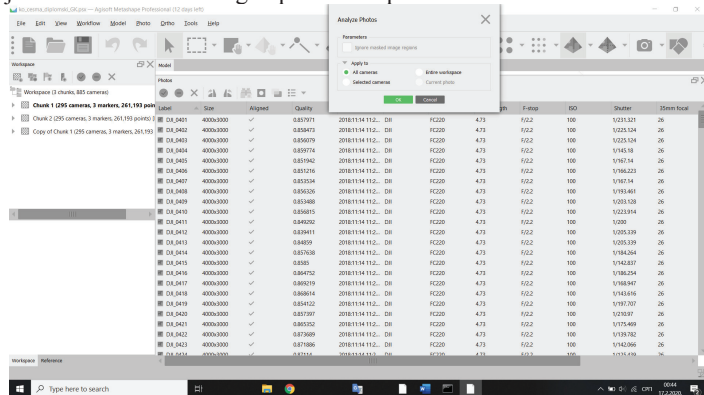
Metashape omogućava automatski izračunavanje optimalnih planova misije za objekte složene geometrije, poput mnogih zgrada kulturne baštine, zasnovanih na jednostavnom nadzemnom letu. Generisani plan misije može se učitati u aplikaciju za kontrolu bespilotnih letelica kako bi se automatski obavila sesija

ispitivanja za detaljnu rekonstrukciju modela. Funkcija smanjenja preklapanja napravljena je za analizu prekomernih skupova slika da bi se odredilo koje su slike korisne, a koje suvišne.

Ovo pomaže da se održi ravnoteža između vremena obrade i kvaliteta modela, kao i da se dobiju smernice za buduće anketne misije i objekte sličnog tipa [8].

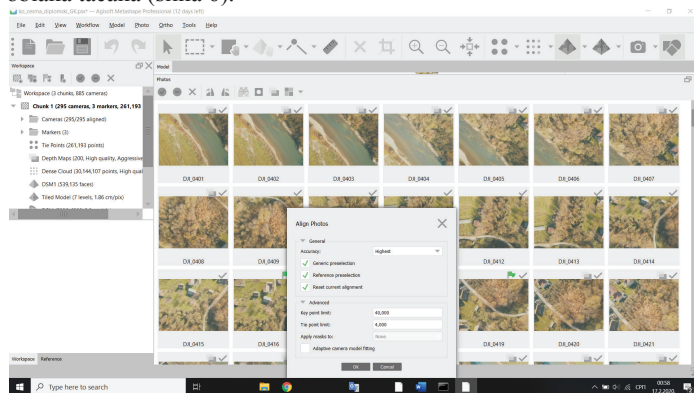
4. DIGITALNI MODEL POVRŠI NA OSNOVU SNIMAKA BESPILOTNOM LETJELICOM

Prvi korak nakon učitavanja snimaka u softverski paket AGISOFT predstavlja analiza snimaka (slika 4). Nakon izvršene analize svih snimaka dobijaju se informacije o kvalitetu snimaka i u zavisnosti od tih informacija odlučuje se da li se snimci mogu upotrebiti u planirane svrhe.



Slika 4: Analiza snimaka

Nakon analize snimaka, slede postupci poravnanja (slika 5) i georeferenciranja snimaka, koji su neophodni za izradu oblaka tačaka (slika 6).

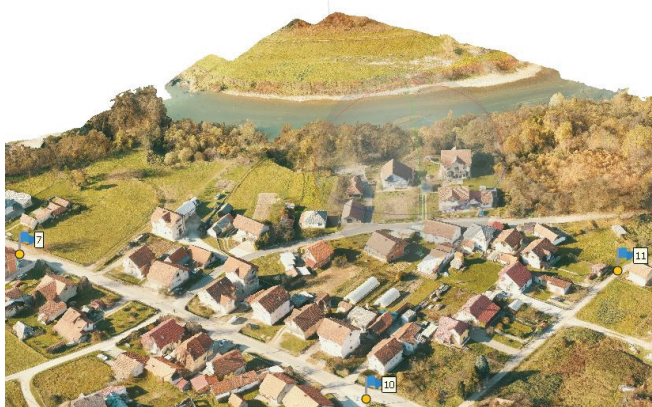


Slika 5: Poravnanje i povezivanje snimaka



Slika 6: Oblak tačaka

Nakon uspešno završene izrade oblaka tačaka sledi izrada digitalnog modela površi. Za izradu digitalnog modela površi korišten je „high“ kvalitet. Postupak izrade digitalnog modela površi može potrajati od nekoliko sati do čak nekoliko dana. Postupak je dugotrajan i zavisi od broja snimaka i kvaliteta izrade oblaka tačaka do kvaliteta samog modela površi, između ostalog svaki vid grafičke obrade podrazumeva izuzetne specifikacije računara kao što su model procesora, grafička karta, radna memorija. Na slici 7 prikazan je digitalni model površi dela K.O. Česma.



Slika 7: Digitalni model površi dela K.O. Česma

Nakon izrade digitalnog modela površi urađen je digitalni model visina, slika 8.



Slika 8: Digitalni model visina dela K.O. Česma

Rezolucija digitalnog modela visina kao što je prikazano na slici iznosi 7,36 cm po pikselu, dok gustina tačaka iznosi 184 tačke po metru kvadratnom. Nakon digitalnog modela visina urađen je i digitalni ortofoto K.O. Česma, slika 9.



Slika 9: Digitalni ortofoto dela K.O. Česma

5. ZAKLJUČAK

Prednost upotrebe bespilotnih letelica u odnosu na klasične metode premera je zaista vidljiv i to se najbolje može prikazati na primeru jedne katastarske opštine, u ovom slučaju primer K.O. Česma 4. Postupak merenja odnosno snimanja područja katastarske opštine je trajao ukupno 17 minuta, što u poređenju sa klasičnim geodetskim metodama snimanja jasno govori o uštedi vremena ali i ekonomskoj isplativosti.

Takođe, bespilotne letelice imaju i prednost u odnosu na upotrebu aviona i helikoptera kada su predmet snimanja područja manje površine, a prednost se ogleda u uštedi vremena ali i vrednosti samog projekta snimanja. Upotreba aviona i helikoptera zahteva dosta strožiju pripremu i strožije uslove u pogledu zakonske regulative.

Proces obrade snimaka i izrade digitalnog modela terena, digitalnog modela visina, digitalnog modela površi i digitalnog ortofotoa je urađen u softverskom paketu AGISOFT. Dužina obrade snimaka direktno zavisi od veličine područja odnosno broja snimaka i od zahtevane tačnosti. Tačnost završne obrade snimaka, odnosno konačnog proizvoda modela terena, između ostalog zavisi od izabranog nivoa obrade. Za potrebe eksperimenta u ovom radu, u softverskom paketu AGISOFT, korišćen je „medium” nivo obrade, a pored tog nivoa još su ponuđene opcije very lowest, lowest, medium i ultra high nivo rezolucije. Razlika između ovih ponuđenih opcija se ogleda u pogledu izrade gustine oblaka tačaka. Ultra high nivo ima tri puta veći oblak tačaka u odnosu na high nivo i takav odnos važi za sve nivoe rezolucije. Svaka kompleksnija obrada snimaka u AGISOFT zahteva veoma dobre specifikacije računara, po pitanju procesora, grafičke karte i radne memorije.

Primena savremenih tehnologija, kao što su bespilotne letelice i softverski paketi za obradu snimaka, sve više se koriste u oblasti geodezije i sa daljim razvojem tehnologije zamenice klasične metode premera.

LITERATURA

- [1] Cvijetinović, Ž.(2008). Digitalno modeliranje terena, Beograd
- [2] Kolarek, M. (2010). Bespilotne letelice za potrebe fotogrametrije, Ekscentar, br.12, str.70-73
- [3] Miller, C. (1951). The theory and application of digital terrain model, Massachusetts institute of technology
- [4] Manić, M. (2014). Metodologija izrade digitalnog modela terena opštine Babušnica, master rad, Univerzitet u Nišu
- [5] Šiljeg, A. (2013). Digitalni model reljefa u analizi geomorfometrijskih parametara-primer PP Vransko jezero, doktorska disertacija, Univerzitet u Zagrebu, PMF
- [6] URL: Digitalni modeli terena, <https://www.mapsoft.rs/>
- [7] Gigović, L.J. (2010). Digitalni modeli visina i njihova primena u vojnoj analizi terena, Vojnotehnički glasnik, Beograd, str. 165-178
- [8] URL: Agisoft Metashape, <https://www.agisoft.com/>



GEOKODIRANJE SAOBRAĆAJNIH NEZGODA SA PROGRAMSKIM JEZIKOM R

GEOCODING TRAFFIC ACCIDENTS BY PROGRAMMING LANGUAGE R

NEMANJA DERETIĆ¹, PAVLE GLADOVIĆ², DRAGAN STANIMIROVIĆ³

¹ Beogradska akademija poslovnih i umetničkih strukovnih studija, Beograd, nemanja.deretic@bpa.edu.rs

² Univerzitet u Novom Sadu – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, anaipavle@gmail.com

³ Panevropski univerzitet Apeiron – Saobraćajni fakultet, Banja Luka, draganstanimirovic@yahoo.com

Rezime: Saobraćajne nezgode imaju značajan uticaj na živote ljudi i na ekonomski razvoj svake zemlje. U radu, korišćeni su podaci o saobraćajnim nezgodama za jednu godinu (2019) koji su preuzeti sa Portala otvorenih podataka, Kancelarije za informacione tehnologije i elektronsku upravu Republike Srbije. Kao rezultat ovog istraživanja, dat je prikaz mape lokacija saobraćajnih nezgoda po vrsti za jednu opštinu, na teritoriji grada Beograda. Za prikaz mape i analizu skupa podataka korišćen je programski jezik R i razvojno okruženje RStudio.

Cljučne reči: Saobraćajne nezgode, Lokacije, Programski jezik R, Prostorna analiza.

Abstract: Road traffic accidents have significant influence on human lives and economic development of every country. Road traffic accident data for one year were downloaded in the paper from the Portal of open data, Office of Information Technology and Electronic Administration, Republic of Serbia. As a result of this research, a map of traffic accidents locations by type is given for one municipality, from the territory of the city of Belgrade. The R programming language and the RStudio development environment were used for display of map and analysis of the data set.

Keywords: Traffic accidents, Locations, Programming language R, Spatial analysis.

1. UVOD

Saobraćajne nezgode u drumskom saobraćaju su jedan od ozbiljnih problema na globalnom nivou koji rezultuje povredama ili gubitkom života i ekonomskom štetom. Prema procenama (World Health Organization, 2020), otprilike 1,35 miliona ljudi svake godine premine od posledica saobraćajnih nezgoda u drumskom saobraćaju. Prema istom izvoru, između 20 i 50 miliona ljudi pretrpi povredu, pri čemu mnogi ljudi steknu neku vrstu invalidnosti, kao posledice povreda u saobraćajnoj nezgodi.

Brojni autori širom sveta su koristili tehnologiju geografskih informacionih sistema (GIS) za utvrđivanje prostornih i vremenskih obrazaca identifikacije saobraćajnih nezgoda u drumskom saobraćaju. U poslednjih nekoliko godina je publikovan veći broj radova iz oblasti geokodiranja saobraćajnih nezgoda u drumskom saobraćaju.

Glavni cilj ovog rada je analiza opasnih mesta na teritoriji opštine Palilula u gradu Beogradu na osnovu koordinata saobraćajnih nezgoda. Statistička analiza otvorenih podataka u vezi saobraćajnih nezgoda je data u drugim radovima (Gladović and Deretić 2017, Gladović and Deretić 2018), ali u navedenim istraživanjima nisu korišćene koordinate saobraćajnih nezgoda.

2. METODOLOGIJA

2.1. Opis područja istraživanja

Opština Palilula je gradska opština Grada Beograda. Prema podacima Republičkog zavoda za statistiku (2018), ova opština zauzima površinu od 451 km² i obuhvata 7 naselja. U njoj živi 181.414 stanovnika, odnosno 402 stanovnika na 1 km². Prema istom izvoru, u kome se poziva na podatke Ministarstva unutrašnjih poslova iz 2017. godine, na opštini Palilula je registrovano 1721 mopeda, 1006 motocikala, 57.349 putničkih automobila, 46 autobusa, 8563 teretna vozila, 102 radna vozila i 1514 priključna vozila.

2.2. Podaci u istraživanju

Prema Zakonu o elektronskoj upravi (2018), otvoreni podaci su podaci koji su dostupni za ponovnu upotrebu, zajedno sa metapodacima, u mašinski čitljivom i otvorenom obliku. Prema istom izvoru, podaci se mogu ponovno upotrebiti od strane fizičkih ili pravnih lica za komercijalne i nekomercijalne svrhe drugačije od prvobitne za koju su bili izrađeni.

Na *web* adresi *data.gov.rs* se nalazi Portal otvorenih podataka, koji predstavlja mesto na kome se objavljuju skupovi otvorenih podataka u posedu državnih organa Republike Srbije. U skupovima podataka, nalazi se određen broj skupova podataka koji se odnosi na saobraćajne nezgode u drumskom saobraćaju u okviru teme javna bezbednost. U slučajevima primene se navodi istraživanje „Analiza podataka o saobraćajnim nezgodama u programskom jeziku R“, koje je uradila organizacija *Data Science Srbija*, koje je urađeno na skupu podataka o saobraćajnim nezgodama iz 2015. godine na teritoriji grada Beograda. Pretragom skupova podataka vezanih saobraćajne nezgode u drumskom saobraćaju, mogu se uočiti dve vrste skupova podataka:

- Podaci o saobraćajnim nezgodama za teritoriju grada Beograda (Portal otvorenih podataka, 2020a);
- Podaci o saobraćajnim nezgodama po policijskim upravama i opštinama (Portal otvorenih podataka, 2020b).

U oba navedena skupa podataka, podaci su predstavljeni tabelom. Sledeći parametri su dati u posebnim kolonama:

- jedinstveni ID broj nezgode,
- datum i vreme saobraćajne nezgode,
- geolokacija mesta saobraćajne nezgode,
- vrsta saobraćajne nezgode (materijalna šteta, povređeni, poginuli),
- naziv-tip saobraćajne nezgode,
- broj vozila - učesnika u saobraćajnoj nezgodi,
- status lica koja su učestvovala (povređeni, poginuli), kao i
- detaljni opis saobraćajne nezgode.

U drugom skupu podataka se dodatno nalaze podaci o policijskoj upravi i opštini. Prvi skupovi podataka su dostupni u datotekama sa ekstenzijom *.ods* (engl. *OpenDocument Spreadsheet*) za period od 2015. do 2019. godine. Drugi skupovi podataka su dostupni u datotekama sa ekstenzijom *.xlsx* za period od 2015. do 2020. godine. U 2020. godini, podaci su prikazani zaključno sa 31.05.2020. Ekstenzija *.xlsx* se odnosi na program *Microsoft Excel*, koja se u navedenom programu koristi od verzije *Microsoft Excel 2007*.

Ako se posmatraju skupovi podataka iz datoteka sa ekstenzijom *.ods*, u posmatranom uzorku za period od 2015. do 2019. godine ima ukupno 69.005 redova. Svaki red predstavlja informacije o jednoj saobraćajnoj nezgodi. Kada se podaci sortiraju od najstarijeg datuma do najnovijeg datuma onda se primećuju greške u uzorku prilikom prikupljanja podataka, jer postoji jedna saobraćajna nezgoda kod koje je datum iz 2013. godine i 5 saobraćajnih nezgoda sa datumom iz 2014. godine. Greške su uočene u uzorku saobraćajnih nezgoda iz 2015. godine.

2.3. Metod za analizu otvorenih podataka

Prema (r-project, 2020), *R* je programski jezik i programsko okruženje za statističke proračune i grafički prikaz rezultata. Deo je *GNU* projekta, koji je sličan programskom jeziku *S* i okruženju koje je razvila *Bell Laboratories* (nekada *AT&T*, sada *Lucent Technologies*) od strane *John Chambers* i drugih.

Programski jezik *R* pruža širok spektar statističkih tehnika (linearno i nelinearno modeliranje, klasični statistički testovi, analiza vremenskih serija, klasifikacija, klastere i dr.) i grafičkih tehnika i vrlo je proširiv. Programski jezik *R* je dostupan kao slobodan softver pod uslovima *Free Software Foundation's GNU General Public License* u obliku izvornog kôda.

2.4. Osnovni podaci o uzorku

Kako je u radu vršena analiza na opštini Palilula, u gradu Beogradu, onda je izabran skup podataka iz druge grupe, odnosno iz podataka o saobraćajnim nezgodama po policijskim upravama i opštinama (Portal otvorenih podataka, 2020b). Ovi podaci su uneti u datoteku sa ekstenzijom *.xlsx*, koja odgovara programu *Microsoft Excel*.

Za analizu je odabrana 2019. godina, pa je iz skupa podataka izvučen traženi skup metodama sortiranja i filtriranja. Posle primene navedenih tehnika, onda se može videti da se u 2019. godini na teritoriji beogradske opštine Palilula dogodila 1891 saobraćajna nezgoda. Kolone sa podacima o saobraćajnim nezgodama su prikazane u tabeli 1. Prva opština za koju su prikazani podaci je beogradska opština Barajevo.

Tabela 1: Prikaz kolona koje sadrži skup podataka o saobraćajnim nezgodama po opštinama, 2019.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	1241358	BEOGRAD BARAJEVO	02.01.2019,04:30	20.30349	44.59267	Sa mat.ste\$N SA JED	Nezgoda sa jednim vozilom – silazak udesno sa kolovoza na pravcu								
2	1241066	BEOGRAD BARAJEVO	03.01.2019,09:15	20.41623	44.58236	Sa mat.ste\$N SA NAJ	Ostale nezgode sa najmanje dva vozila – suprotni smerovi bez skretanja								

Prva kolona u uzorku se odnosi na jedinstveni ID broj nezgode, koji predstavlja broj od sedam cifara.

U drugoj i trećoj koloni se nalaze podaci o policijskim upravama, odnosno opštinama na kojima su se desile saobraćajne nezgode.

Četvrta kolona sadrži podatke o vremenu nastanka saobraćajne nezgode u formatu *dd.mm.yyyy, hh:mm*. Prvi deo *dd.mm.yyyy* se odnosi na datum, mesec i godinu, a drugi deo *hh:mm* na čas i minut. Prema uzorku, prva saobraćajna nezgoda se na teritoriji opštine Palilula dogodila 01.01.2019, u 05:30, a poslednja 31.12.2019, u 08:00. Na osnovu navedenog se može zaključiti da su u bazu unete saobraćajne nezgode za svih 12 meseci.

U petoj i šestoj koloni se nalaze koordinate saobraćajne nezgode, koje će poslužiti za geokodiranje mesta saobraćajnih nezgoda na mapi Beograda, odnosno na opštini Palilula. Peta kolona sadrži koordinatu geografske dužine, a šesta kolona koordinatu geografske širine.

Sedma kolona se odnosi na vrstu saobraćajne nezgode. U navedenoj koloni su saobraćajne nezgode klasifikovane na (Tabela 2): saobraćajne nezgode sa materijalnom štetom, saobraćajne nezgode sa povređenim licima i saobraćajne nezgode sa poginulim licima.

Tabela 2: Broj saobraćajnih nezgoda po vrsti na opštini Palilula, grad Beograd

Vrsta	Broj	%
Sa materijalnom štetom	1358	71,8139
Sa povređenim licima	522	27,6044
Sa poginulim licima	11	0,5817
Ukupno	1891	100

U osmoj koloni se nalaze informacije o tipu saobraćajne nezgode, prema kome se saobraćajne nezgode klasifikuju na 5 osnovnih tipova (Tabela 3):

- saobraćajne nezgode sa jednim vozilom (tip 1),
- saobraćajne nezgode sa najmanje dva vozila – bez skretanja (tip 2),
- saobraćajne nezgode sa najmanje dva vozila – skretanje ili prelazak (tip 3),
- saobraćajne nezgode sa parkiranim vozilima (tip 4) i
- saobraćajne nezgode sa pešacima (tip 5).

Tabela 3: Broj saobraćajnih nezgoda po vrsti i tipu na opštini Palilula, grad Beograd

Vrsta	Broj	%	Tip	Broj	%
Sa materijalnom štetom	1358	71,8139	1	195	14,36
			2	530	39,03
			3	323	23,78
			4	310	22,83
			5	0	0
Sa povređenim licima	522	27,6044	1	65	12,46
			2	206	39,46
			3	135	25,86
			4	7	1,34
			5	109	20,88
Sa poginulim licima	11	0,5817	1	4	36,37
			2	2	18,18
			3	2	18,18
			4	0	0
			5	3	27,27
Ukupno	1891	100	Ukupno	1891	

U devetoj koloni su navedeni detaljniji opisi saobraćajnih nezgoda:

- saobraćajne nezgode sa jednim vozilom – 10 različitih slučajeva,
- saobraćajne nezgode sa najmanje dva vozila – 9 različitih slučajeva,
- saobraćajne nezgode sa najmanje dva vozila – 17 različitih slučajeva,
- saobraćajne nezgode sa parkiranim vozilima – 5 različitih slučajeva i
- saobraćajne nezgode sa pešacima – 20 različitih slučajeva.

Iz devete kolone se vidi da je velika pažnja posvećena unosu detalja o saobraćajnim nezgodama.

3. KÔD U PROGRAMSKOM JEZIKU R

Na početku rada je potrebno postaviti radni direktorijum, za šta su potrebne komande `setwd()` i `getwd()`, a rezultat komande `getwd()` je prikazan u (1):

```
> getwd()
[1] "E : /rstudio / Analiza" (1)
```

Za obradu podataka, potrebno je prebaciti potrebne podatke u format prilagođen za programski jezik R. Jedan od jednostavnijih načina je učitavanje vrednosti iz formata kao što je `csv` (engl. *comma-separated values*), što su u prevodu vrednosti odvojene zarezom. Za unos vrednosti se koristi funkcija `read.csv()`.

Za potrebe grafičkog predstavljanja napravljeno je nekoliko promenljivih:

- `long` – koordinate geografske dužine (kolona 5),
- `lat` – koordinate geografske širine (kolona 6),
- `vrsta` – vrsta saobraćajne nezgode (kolona 7, vrednosti: "MAT", "POV" i "POG").

Za tri promenljive (`long`, `lat` i `vrsta`) su napravljene posebne `.csv` datoteke (2, 3, 4), radi lakšeg učitavanja u programsko okruženje `RStudio`.

```
long <- read.csv(file = "long.csv", header = TRUE) (2)
```

```
lat <- read.csv(file = "lat.csv", header = TRUE) (3)
```

```
vrsta <- read.csv(file = "vrsta.csv", header = TRUE) (4)
```

Prema (OSGL 2020), najčešće korišćena klasa podataka u R-u je `data.frame`. Objekat tipa `data.frame` se može posmatrati kao pravougaona tabela, gde svaka kolona može biti međusobno različitog tipa, ali sve kolone su iste dužine. Unutar svake kolone pojedinačno su podaci istog tipa, jer je praktično jedna kolona jedan vektor. Ova struktura podataka najviše podseća na tabelu iz baze podataka. Formiranje `data.frame`, od tri vektora `vrsta`, `long` i `lat` je dato u (5). Prikaz `data.frame` sa prvih 10 podataka svakog vektora je dato u (6):

```
vrsta.data <- data.frame(vrsta, long, lat) (5)
```

```
> vrsta.data
  d.zVrsta   Long   Lat
1 "MAT" 20.45267 44.88239
2 "POV" 20.47709 44.81611
3 "MAT" 20.49517 44.81784
4 "MAT" 20.46692 44.84735
5 "MAT" 20.46072 44.88756
6 "MAT" 20.48936 44.84418
7 "MAT" 20.52008 44.81688
8 "POV" 20.45783 44.87820
9 "MAT" 20.51810 44.80459
10 "POV" 20.49217 44.82897 (6)
```

U skladu sa (Wickham *et al* 2019), biblioteka `tidyverse` predstavlja kolekciju R biblioteka koje su namenjene pre svega za čišćenje, manipulaciju i vizualizaciju podataka. Pozivanje biblioteke `tidyverse` je dato u (7):

```
library(tidyverse) (7)
```

Za prikaz podataka se koristi malo bogatija struktura od `dataframe`-a za tabelarne podatke, a takva struktura se naziva `tibble`. Podaci se u `tibble` transformišu na sledeći način (8):

```
nezgode <- as_tibble(vrsta.data) (8)
```

4. GRAFIČKI PRIKAZI REZULTATA ISTRAŽIVANJA

Kako se navodi u (Sadler 2017), jedan od načina da se proveri da li je geokodiranje pravilno izvršeno je mapiranje lokacija sa paketom *mapview*. Upotreba paketa *mapview* zahteva konverziju lokacija iz strukture *tibble* u drugi format. Za konverziju se koristi biblioteka *sf*. Kako se navodi u (Pebesma 2018), biblioteka *Simple Features for R*, odnosno *sf* se koristi kao standardizovani način za kodiranje prostornih vektorskih podataka. Pozivanje biblioteka *sf* (Pebesma 2018) i *mapview* (Appelhans *et al.*) je dato u (9), odnosno (10):

```
library(sf) (9)
```

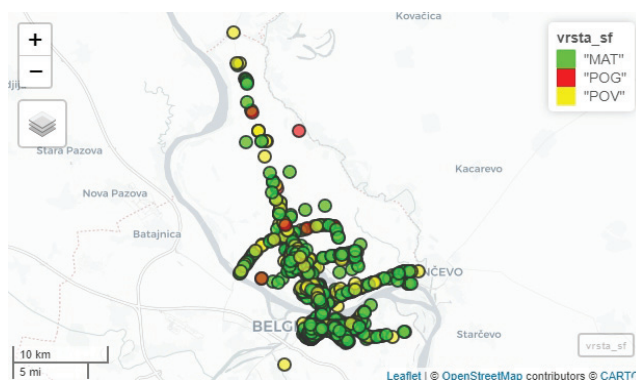
```
library(mapview) (10)
```

Prema (Sadler 2017), *European Petroleum Survey Group* (EPSG) 4326 je projekcija koju koriste *web* mape kao što je *Google Maps* za prikaz koordinata, a što je prikazano u (11):

```
vrsta_sf <- st_as_sf(nezgone, coords = c("Long", "Lat"), crs = 4326) (11)
```

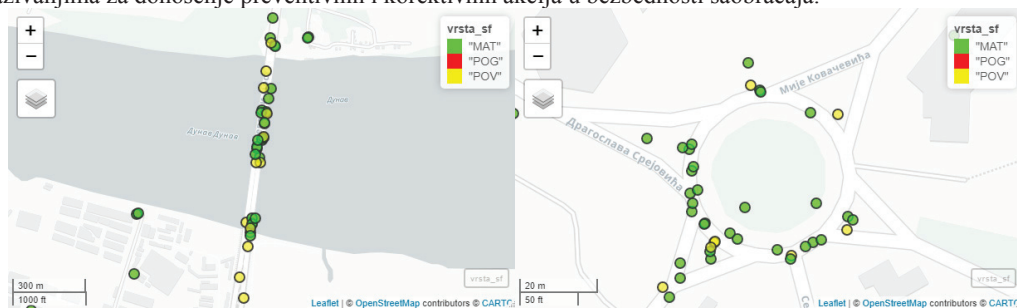
Prikaz podataka preko funkcije *mapview* je dato u (12), a grafički prikaz lokacija gde su se dogodile saobraćajne nezgode na opštini Palilula je predstavljen na slici 1:

```
mapview(vrsta_sf, col.regions = c("green", "red", "yellow")) (12)
```



Slika 1: Prikaz lokacija saobraćajnih nezgoda na opštini Palilula prema vrsti

Na slici 2, dat je prikaz odabranih mesta (poteza i raskrsnica), koja mogu da posluže u kasnijim istraživanjima za donošenje preventivnih i korektivnih akcija u bezbednosti saobraćaja.



Slika 2: Prikaz lokacija saobraćajnih nezgoda na Pančevačkom mostu i kružnom toku kod Bogoslovije

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu je razmatrana upotreba koordinata saobraćajnih nezgoda. Za ovu studiju slučaja je izabrana beogradska opština Palilula. U istraživanju su korišćeni otvoreni podaci sa Portala otvorenih podataka za 2019. godinu. U radu je prikazano korišćenje programskog jezika R i njegovog razvojnog okruženja RStudio kako bi se dobio grafički prikaz koordinata saobraćajnih nezgoda. Pravac daljih istraživanja bi bio okrenut ka identifikovanju i analizi opasnih lokacija, a sve u cilju povećanja bezbednosti saobraćaja.

Ograničenje ovog rada je što su korišćeni podaci iz samo jedne godine i što su korišćeni podaci samo iz kolone koja predstavlja podelu po vrsti saobraćajnih nezgoda. Međutim, manjim modifikacijama modela prikazanog u ovom radu, mogu se koristiti i druge kolone iz korišćenog skupa podataka. Potencijalne praktične primene u poboljšanju bezbednosti saobraćaja na osnovu otvorenih podataka mogu imati Saveti za bezbednost saobraćaja pri opštinama grada Beograda i nevladine organizacije koje se bave bezbednošću saobraćaja na lokalnom nivou. Pravci budućih istraživanja su okrenuti ka upotrebi podataka o tipu i detaljima saobraćajnih nezgoda sa ciljem da se utvrdi koliki broj saobraćajnih nezgoda se dešava se na određenom manjem području (ulica, stambeni blok, okruženje škole, itd.) u dužem vremenskom periodu (2015-2019). Takođe, može se videti rezultat sprovedenih mera za povećanje bezbednosti saobraćaja na određenom području. Širom sveta, brojne državne agencije i privatne kompanije otvaraju svoje podatke kako bi istraživači mogli da ih koriste i da razvojem svojih modela daju doprinos rešavanju problema.

LITERATURA

- [1] Appelhans, T., Detsch, F., Reudenbach, C., & Woellauer, S., (2020). mapview: Interactive Viewing of Spatial Data in R. R package version 2.7.8. <https://CRAN.R-project.org/package=mapview>
- [2] De Vries, A., & Meys, J. (2015). R for Dummies. John Wiley & Sons.
- [3] Gladović P., & Deretić N., (2017). Uloga otvorenih podataka i alata poslovne inteligencije: primer saobraćajnih nezgoda u Beogradu. Savetovanje sa međunarodnim učesćem na temu Saobraćajne nezgode, Zlatibor, Republika Srbija, ISBN 978-85-86931-14-6, 18-20. maj 2017., 430-438.
- [4] Gladović, P. V., & Deretić, N. N. (2018). Open data and databases in analysis of traffic accidents in Belgrade. Tehnika, 73(2), 247-253.
- [5] OSGL. (2020). Geovizualizacija u R jeziku. <http://osgl.grf.bg.ac.rs/books/gvvk/geovizualizacija-u-r-jeziku.html>
- [6] Pebesma, E. (2018). Simple Features for R: Standardized Support for Spatial Vector Data. The R Journal, 10(1), 439–446. doi: 10.32614/RJ-2018-009, <https://doi.org/10.32614/RJ-2018-009>.
- [7] Portal otvorenih podataka. (2020a). Podaci o saobraćajnim nezgodama za teritoriju Grada Beograda. <https://data.gov.rs/sr/datasets/podatsi-o-saobratshajnim-nezgodama-za-teritoriju-grada-beograda/>
- [8] Portal otvorenih podataka. (2020b). Podaci o saobraćajnim nezgodama po policijskim upravama i opštinama. <https://data.gov.rs/sr/datasets/podatsi-o-saobratshajnim-nezgodama-po-politsijskim-upravama-i-opshtinama/>
- [9] Republički zavod za statistiku. (2018). Opštine i regioni u Republici Srbiji. <https://publikacije.stat.gov.rs/G2018/Pdf/G201813045.pdf>
- [10] r-project. (2020). What is R? <https://www.r-project.org/about.html>
- [11] Sadler, J. (2017, October 13). Geocoding with R, Using gmap to geocode and map historical data. <https://www.jessesadler.com/post/geocoding-with-r/>
- [12] Zakon o elektronskoj upravi. (2018). "Sl. glasnik RS", br. 27/2018. <https://www.paragraf.rs/propisi/zakon-o-elektronskoj-upravi-republika-srbija.html>
- [13] Wickham et al., (2019). Welcome to the tidyverse. Journal of Open Source Software, 4(43), 1686, <https://doi.org/10.21105/joss.01686>
- [14] WHO. (2020, February 7). Road traffic injuries. World Health Organization. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>

OCENA KVALITETA DIGITALNIH TOPOGRAFSKIH KARATA U OKRUŽENJU PROSTORNE BAZE PODATAKA

QUALITY ASSESSMENT OF DIGITAL TOPOGRAPHIC MAPS IN SPATIAL DATABASE ENVIRONMENT

SINIŠA DROBNJAK¹, DRAGOLJUB SEKULOVIĆ², MARKO STOJANOVIĆ³.

¹ Vojnogeoграфski institut „General Stevan Bošković”, Beograd, Srbija, sinisa.drobnjak@vs.rs

² Fakultet za informacione tehnologije i inženjerstvo, Beograd, Srbija, dragoljub.sekulovic@fpss.edu.rs

³ Vojnogeoграфski institut „General Stevan Bošković”, Beograd, Srbija, marko.stojanovic@vs.rs

Rezime: Ocena kvaliteta digitalnih topografskih karata (DTK) u okruženju prostornih baza podataka primenjuje se u različitim etapama proizvodnog procesa prostornih podataka DTK i u svakoj etapi ima različite ciljeve. Zbog svoje vizualnosti, jednostavnosti i sažetosti korišćenja, DTK imaju velike prednosti nad drugim skupovima prostornih podataka i zbog toga u potpunosti su opravdani zahtevi za razradu sistema utvrđivanja, vrednovanja i saopštavanja njihovog kvaliteta. Osnovni cilj rada je da prikaže sistem upravljanja ocenom kvalitetom u tehnološkom procesu izrade istih.

Ključne reči: Ocena kvaliteta, tehnološki proces, digitalne topografske karte.

Abstract: Quality assessment of digital topographic maps (DTK) in spatial database environment is applied in different stages of the production process of spatial data DTK and has different goals in each stage. Due to their visuality, simplicity and conciseness of use, DTK have great advantages over other sets of spatial data and therefore the requirements for the development of systems for determining, evaluating and communicating their quality are fully justified. The main goal of the paper is to present the quality assessment management system in the technological process of their production.

Keywords: Quality assessment, technological process, digital topographic maps.

1. UVOD

Kontrola kvaliteta odnosi se na monitoring nad proizvodnim procesom tokom njegovog odvijanja, a u cilju zadovoljavanja normi. To je širi pojam od kontrolisanja koje se po ISO 9000:2005 definiše kao vrednovanje usaglašenosti posmatranjem i procenivanjem, uz merenje, ispitivanje ili procenjivanje primenom obrazaca. Dakle, kontrolisanje se odnosi na ispitivanje kvaliteta po određenoj karakteristici (merenje odstupanja, poređenje s etalomom, vizuelna identifikacija grešaka). S pojavom normi ISO 9000, došlo je do evolucije pojma „kontrola kvaliteta” u pojam „osiguranje ili obezbeđenje kvaliteta”. Kasnije uveden je pojam upravljanje kvalitetom, da bi se na kraju došlo do trenutno najvišeg nivoa integracije poslova vazenih za kvalitet, do menadžmenta kvalitetom [ISO 19158, 2012].

Međunarodna organizacija za standardizaciju ISO, kvalitet definiše kao skup karakteristika nekog proizvoda ili usluge koje odražavaju sposobnost tog proizvoda ili usluge da ispuni određene, unapred formulisane zahteve i/ili zahteve koji se podrazumevaju [ISO 9000, 2005]. Sve definicije kvaliteta možemo svrstati u dve osnovne grupe [Devillers and Jeansoulin 2006, Van Oort 2006]: *unutrašnji kvalitet* (proizvodi koji su oslobođeni grešaka), i *spoljašnji kvalitet* (proizvod zadovoljava potrebe korisnika).

Pristupi implementaciji i unapređenju sistema upravljanja kvalitetom, koji su dati u poreklu standarda ISO 9000, ali i u poznatim modelima organizacione izvrsnosti (nacionalne nagrade za kvalitet), zasnovani su na zajedničkim principima sistema upravljanja i treba da: *sadrže odredbe za vrednovanje prema generičkim modelima; omogućće organizacionim sistemima da identifikuje svoje snage i slabosti; daju odredbe za eksterno priznavanje, sertifikaciju i daju osnov za stalna poboljšavanja.*

Koncept kvaliteta prostornih podataka podrazumeva da proizvedeni prostorni podaci nisu savršeni, da se razlikuju od podataka kakvi bi trebalo da budu proizvedeni i da u određenoj meri zadovoljavaju potrebe korisnika. Kada se govori o kvalitetu prostornih podataka većina ljudi misli uglavnom na prostornu tačnost podataka (element kvaliteta koji je uključen u unutrašnji kvalitet podataka). Međutim, više zvaničnih

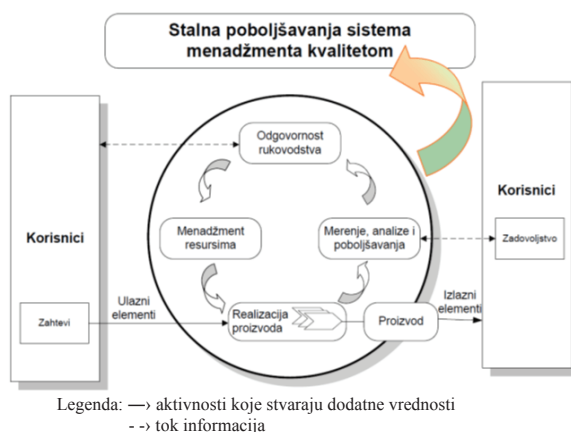
definicija kvaliteta, na primer definicija ISO organizacije, odgovaraju spoljašnjem kvalitetu. Činjenica je, da je ova dvojnost čest izvor konfuzije u literaturi [Devillers and Jeansoulin 2006].

2. KONCEPT SPOLJAŠNJEG KVALITETA

Koncept spoljašnjeg kvaliteta odgovara nivou saglasnosti koja postoji između proizvoda i potreba korisnika. U datom kontekstu, koncept spoljašnjeg kvaliteta zbog toga možemo povezati sa pridevom „bolji“ kao što se obično koristi.

Koncept spoljašnjeg kvaliteta podrazumeva da kvalitet nije apsolutan i da isti proizvod može biti različitog kvaliteta za različite korisnike. Koncept spoljašnjeg kvaliteta je uopšteno prepoznat kao definicija kvaliteta u širem smislu reči [Devillers & Jeansoulin, 2006]. ISO 9000 definiše kvalitet kao skup karakteristika nekog proizvoda ili usluga koje odražavaju sposobnost tog proizvoda ili usluge da ispune određene, unapred definisane zahteve i zahteve koji to podrazumevaju [ISO 9000, 2005]. Dakle, kvalitet je skup karakteristika proizvoda koje se zasnivaju na njegovoj sposobnosti da ispuni navedene i novonastale zahteve. Spoljašnji kvalitet često se definiše pojmovima „pogodnost za upotrebu“ i „pogodnost nameni“.

Pri oceni spoljašnjeg kvaliteta kriterijumi za ocenu mogu sadržati i elemente unutrašnjeg kvaliteta [Goodchild, 1993]. Na primer, pri oceni da li skup podataka zadovoljava naše potrebe, možemo videti da li podaci obuhvataju potrebnu teritoriju u određenom vremenskom intervalu, uključujući neophodne objekte i njihove attribute, ali često i da li podaci imaju odgovarajuću položajnu tačnost, potpunost koji predstavljaju elemente unutrašnjeg kvaliteta (Harding 2006, Sekulović and Drobnjak 2018]. Osnovu sistema upravljanja kvalitetom obuhvaćenog ovim standardom čini model prikazan na slici 1.



Slika1: Model sistema upravljanja kvalitetom

Danas je istraživanje skladištenja i integracije prostornih podataka važan element koji revitalizuje istraživanje kvaliteta podataka. Koherentna slika prostora u kome radimo uključuje geometrijska i semantička razmatranja koja će uticati na kvalitet podataka i obezbediti pouzdanost procesa obrade kojim se upravlja. Paralelno sa povećanjem zahteva za kvalitetom podataka, potreba za razumljivim informacijama se povećava. Tako se u geoinformatici i GIS pažnja posvećuje logičkoj koherenciji, jer se u procesu brojanja grešaka prednost daje logičkoj koherenciji, jer se „mere semantičke preciznosti i potpunosti vrše samo na logički koherentnim objektima“ [David and Fasquel 1997]. Stvarnost koju je vrlo teško modelovati, jer su poteškoće brojne: raznolikost gledišta, mnoštvo objekata, preklapanje opisa, ponekad beskorisni detalji, višestruke interakcije između elemenata, multiformni prikazi, kao i nejasne granice [Souris 2002].

Za prostorne podatke predlažu se karakteristike koje definišu spoljašnji kvalitet skupa prostornih podataka [Bédard and Valliere 1995, Devillers *et al.* 2007, Sekulović and Drobnjak 2018], i to: 1) *Definicija* – za ocenu da li je tačna priroda prostornih podataka i objekata kojom su opisani, to jest „šta“ odgovara potrebama korisnika (semantičke, prostorne, vremenske definicije); 2) *Pokrivenost* – za ocenu da li prostor i vremenski period za koje postoje podaci, odnosno „gde“ i „kada“ odgovara potrebama korisnika; 3) *Poreklo* – da saznamo izvore podataka, cilj njihovog prikupljanja, metode prikupljanja, odnosno „kako“ i „zašto“ i da vidimo da li podaci zadovoljavaju potrebe korisnika; 4) *Preciznost* – za ocenu koliko podaci vrede i da li su prihvatljivi za izražene potrebe korisnika (tematska, vremenska, položajna preciznost objekata i njihovih atributa); 5) *Legitimitet* – za ocenu zvaničnog priznanja i pravnog okvira podataka, i da li podaci

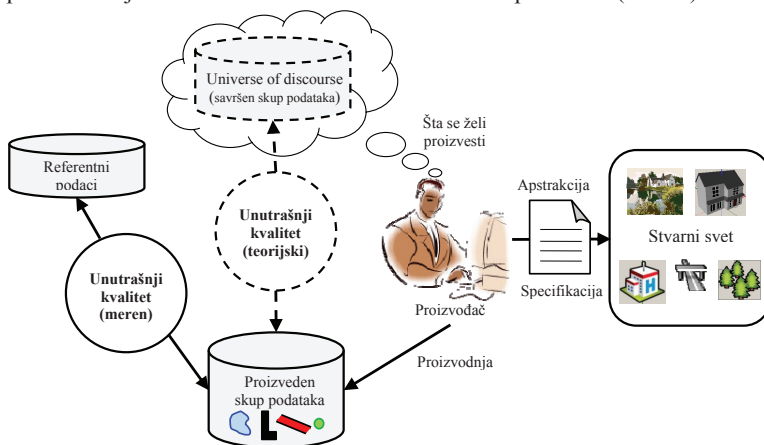
zadovoljavaju zahteve *de facto* standarda, poštovanja priznatih standarda, da li podaci imaju pravno ili administrativno priznanje od zvaničnih organa, ili zakonsku garanciju od proizvođača i 6) *Pristupačnost* – za ocenu lakoće kojom korisnici mogu dobiti analizirane podatke (troškovi, vremenski okvir, format, stepen tajnosti, autorska prava).

Stoga, pitanje „kako okarakterisati neprecizni prostor?“ jedan je od prvih problema koji su naučnici identifikovali zbog upravljanja prostorom. Od idejnog modela do struktura skladištenja podataka u bazi podataka, kodiranje informacija mora biti što vernije.

3. KONCEPT UNUTRAŠNJEG KVALITETA

Unutrašnji kvalitet predstavlja nivo saglasnosti koji postoji između proizvedenih podataka i „savršenih podataka“ koji bi trebalo da su proizvedeni (to jest proizvedenih podataka bez grešaka). Navedeni „savršeni“ podaci u literaturi se nazivaju „universe of discourse“ ili „terrain nominal“, što prevodimo kao pojam „oblast od značaja“ koja predstavlja sliku stvarnosti, u određenom vremenskom trenutku, posmatranu kroz filter definisan specifikacijom proizvoda. Specifikacija proizvoda definiše se kao dokument koji propisuje koje zahteve treba da zadovoljava proizvod, u ovom slučaju digitalna topografska karta, odnosno specifikacija proizvoda predstavlja skup pravila i zahteva koji definišu put prelaska od realnog sveta do prostornih podataka digitalnih topografskih karata. Specifikacija sadrži, na primer, definicije objekata koji trebaju biti prikazani na topografskim kartama, geometriju koja se koristi za prikazivanje svakog tipa objekta (na primer, tačka, linija, poligon), atribute koje ih opisuju, kao i moguće vrednosti za navedene atribute. U Vojnogeografskom institutu (VGI) u Beogradu, specifikaciju proizvoda predstavljaju *uputstva* za izradu digitalnih topografskih karata za svaku razmeru pojedinačno, gde su na sveobuhvatan način definisane hijerarhijska, logička i fizička struktura *Centralne geoprostorne baze podataka* (CGPB) u pojedinačnim razmerama respektivno [Sekulović and Drobnjak 2018].

U praksi, pri oceni unutrašnjeg kvaliteta ne koristimo oblast od značaja (universe of discourse) koja nema stvarnu fizičku egzistenciju, jer je „idealni“ skup podataka, već koristimo podatke veće tačnosti od proizvedenih podataka koje nazivamo referentnim ili kontrolnim podacima (slika 2).



Slika 2: Koncept unutrašnjeg kvaliteta [Drobnjak 2016]

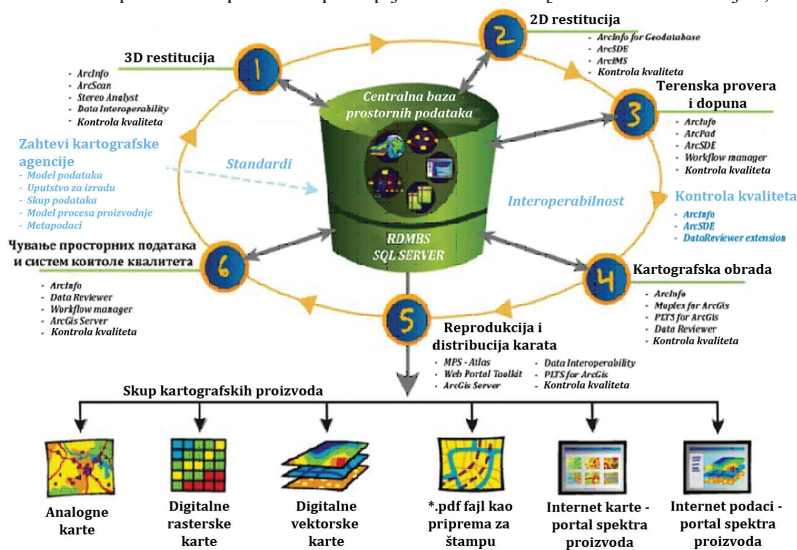
Kod ocene unutrašnjeg kvaliteta razlikujemo dva dela ocene kvaliteta [Devillers & Jeansoulin, 2006]:

- eksterni (spoljašnji) deo koji se zasniva na upoređivanju sa referentnim podacima,
- interni (unutašnji) deo koji se zasniva na međusobnoj analizi podataka u zavisnosti koji se element kvaliteta ocenjuje.

Na primer, ocena položajne tačnosti predstavlja *eksterni deo*, dok ocena logičke doslednosti predstavlja *interni deo* ocene unutrašnjeg kvaliteta.

4. TEHNOLOŠKI PROCES IZRADE DIGITALNIH TOPOGRAFSKIH KARATA I KONTROLA KVALITETA U VGI-U

Praćenjem razvoja standarda u oblasti prikupljanja, organizacije, obrade i prezentacije prostornih podataka u Vojnogeoграфskom institutu, prostorni podaci organizovani su u Centralnoj GBP. Početkom 2012. godine izrađena je Centralna GBP s definisanim konceptualnim, logičkim i fizičkim modelima i nakon toga pristupilo se prikupljanju prostornih podataka i njihovom skladištenju direktno u CGBP. Definisanjem proizvodnog procesa izrade CGBP (slika 3), predviđeno je da se prikupljanje prostornih podataka obavlja primenom metoda digitalne fotogrametrijske restitucije, direktnim kartiranjem sa savremene fotogrametrijske podloge kao što je digitalni ortofoto i kartografskom obradom istog u GIS okruženju uz korišćenje referentnih alfanumeričkih podataka i podataka prikupljenih na terenu [Sekulović i Drobnjak, 2013].

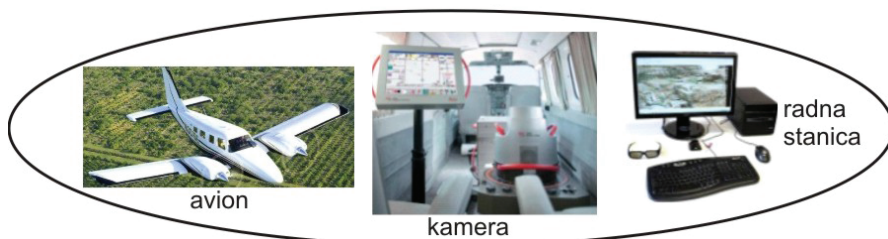


Slika 3: Proizvodni proces izrade Centralne GBP u radnom okruženju ArcGis softvera i mogućnosti distribucije podataka [Drobnjak 2016]

U okviru definisanog proizvodnog procesa izrade Centralne GBP (slika 3), težišni aspekt je stavljen na krajnjeg korisnika, koji u ovom slučaju predstavlja korisnike u okviru Vojske Srbije, privredne subjekte, kao i fizička lica. Specifične potrebe korisnika obuhvaćene su prostornom bazom podataka koja se može vizuelizovati u štampanom obliku prema potrebi odnosno zahtevima korisnika. Sam proizvodni sistem je otvoren, odnosno fleksibilan i podložan izmenama, što omogućuje dalji napredak u postizanju kvaliteta prema krajnjem korisniku. Iz šeme proizvodnog procesa izrade digitalnih topografskih karata u okruženju Centralne GBP, može se uočiti da je u upravljanju kvalitetom težište stavljeno na proizvodna odeljenja VGI čija je odgovornost jasno definisana redosledom operacija neophodnim za postizanje kvaliteta digitalnih topografskih karata, kao i povezanošću faza u proizvodnom procesu [Sekulović and Drobnjak 2018].

Izradom modela i kreiranjem procedura za generalisanje od osnovnog topografskog modela u razmeri 1:25 000 izvedeni su ostali topografski modeli celokupnog razmernog niza digitalnih topografskih karata koje se proizvode u VGI-u. Na taj način je zaokružen proces izrade celokupnog razmernog niza digitalnih topografskih karata.

Osnovni izvor za prikupljanje prostornih podataka Centralne GBP predstavljaju podaci dobijeni pomoću digitalne tehnološke linije za aerofotogrametrijsko snimanje (AFS) u VGI-u. Digitalnu tehnološku liniju za AFS u VGI-u čine avion modela Piper Seneca V, digitalna aerofotogrametrijska kamera Leica ADS80 sa pratećom opremom i fotogrametrijske radne stanice sa instaliranim softverom za 3D restituciju. Digitalna tehnološka linija za AFS u VGI-u prikazana je na slici 4. Podaci prikupljeni AFS, pomoću digitalne aerofotogrametrijske kamere, obrađuju se na fotogrametrijskim radnim stanicama i korišćenjem instaliranog softvera za 3D restituciju, direktno se prikupljaju u Centralnu GBP. Postupkom ortorektifikacije, aerofotogrametrijski snimci se pomoću prikupljenih 3D prostornih podataka i orijentacionih tačaka (OT), prevode iz centralne u ortogonalnu projekciju i na taj način dobijamo digitalni ortofoto (DOF) [Sekulović and Drobnjak 2018].



Slika 4: Tehnološka linija za AFS VGI [Drobnjak *et al.* 2014]

Pomoćne izvore u procesu prikupljanja prostornih podataka Centralne GBP čine satelitski snimci misija GeoEye (prostorne rezolucije 50 cm) – godina akvizicije 2009, ImageSat (prostorna rezolucija 50 cm) – godina akvizicije 2011. i SPOT (prostorna rezolucija 2,5 m) – godina akvizicije 2008, stari listovi topografskih karata transformisani u UTM/WGS84 projekciju, dostupni alfanumerički podaci i podaci prikupljeni na terenu prilikom terenske provere i dopune sadržaja Centralne GBP.

Ocena kvaliteta digitalnih topografskih karata (DTK) primenjuje se u različitim etapama proizvodnog procesa prostornih podataka DTK i ima različite ciljeve u svakoj etapi. U etapama proizvodnog procesa digitalnih topografskih karata, sistem kontrole kvaliteta se analizira pomoću sledećih faza kontrole kvaliteta [ISO 19157, 2013 and Drobnjak 2016]:

- Razvoj specifikacije proizvoda ili zahteva korisnika – U procesu razvoja specifikacije proizvoda ili definisanja zahteva korisnika možemo koristiti procedure ocenjivanja kvaliteta radi uspostavljanja potrebnog nivoa usaglašenosti kvaliteta koje treba da ispuni finalni proizvod, u ovom slučaju DTK. Specifikacija proizvoda ili korisnički zahtevi mogu sadržati potreban nivo usaglašenosti kvaliteta podataka i informacije o primenjenim procedurama ocenjivanja kvaliteta koje se primenjuju u toku prikupljanja i ažuriranja prostornih podataka. Ova faza kontrole kvaliteta se odvija zajedno sa definisanjem konceptualnog modela podataka i arhitekture prostorne baze podataka. Razvojem uputstva za izradu DTK u okruženju Centralne GBP VGI, u kojoj su definisane logička i fizička struktura podataka, definisana su pravila za prikupljanje prostornih podataka i određena ograničenja, odnosno definisano je šta se, kada i na koji način prikuplja.
- Kontrola kvaliteta u toku prikupljanja prostornih podataka – U fazi prikupljanja prostornih podataka, proizvođač može primeniti procedure ocene kvaliteta, koje su eksplicitno ustanovljene u specifikaciji proizvoda. U slučajevima kada procedure ocene kvaliteta nisu sadržane u specifikaciji proizvoda, one su najčešće definisane kao delovi procesa kontrole kvaliteta. Prikupljanje prostornih podataka sadržaja Centralne GBP obavlja se korišćenjem 3D i 2D restitucije. U ovoj fazi se analizira i proverava da li su ispoštovana pravila definisana specifikacijom proizvoda. Opis primenjenih procedura koje se koriste za ocenu kvaliteta prikupljenih prostornih podataka može se izveštavati pomoću nekvantitativnog elementa kvaliteta poreklo (eng: lineage) u sklopu metapodatka, gde se opisuju primenjena procedura ocene kvaliteta, uspostavljen nivo usaglašenosti kvaliteta i rezultati ocene kvaliteta.
- Kontrola kvaliteta u postupku provere, dopune i ažuriranja prostornih podataka – Procedure ocenjivanja kvaliteta primenjuju se i na operaciju ažuriranja prostornih podataka, i odnose se na ocenu pojedinačnih objekata koji se ažuriraju, a takođe i za sveobuhvatnu uporednu ocenu kvaliteta celokupnog skupa podataka nakon ažuriranja.
- Ocena nivoa usaglašenosti prostornih podataka sa specifikacijom proizvoda – Po završetku procesa proizvodnje prostornih podataka, osnovni cilj primenjenih procedura ocene kvaliteta je kreiranje rezultata ocene kvaliteta i izveštavanje o kvalitetu prostornih podataka. Navedeni rezultati ocene kvaliteta mogu se koristiti za utvrđivanje da li je skup podataka u skladu sa specifikacijom proizvoda ili ne. Ako skup podataka prolazi kroz kontrolu (koja se sastoji od skupa procedura za ocenu kvaliteta), onda se skup podataka smatra da je podesan za upotrebu. Ishod kontrole će biti, prihvatanje ili odbijanje skupa podataka. Ako skup podataka nije prihvaćen, nakon korekcije navedenog skupa podataka, potrebno je izvršiti novu kontrolu da bi se moglo smatrati da je taj skup podataka u skladu sa specifikacijom proizvoda. Ova fza sistema kontrole kvaliteta predstavlja najobimniji deo ocene kvaliteta prostornih podataka DTK u Vojnogografskom institutu.
- Ocena nivoa usaglašenosti prostornih podataka sa potrebama korisnika – Procedure ocene kvaliteta mogu se koristiti za utvrđivanje da li skup podataka zadovoljava nivo usaglašenosti kvaliteta naveden

u zahtevima korisnika. Za analizu nivoa usaglašenosti kvaliteta sa zahtevima korisnika mogu se koristiti direktne i indirektno metode ocene kvaliteta.

5. ZAKLJUČAK

Primena informacionih tehnologija uvećala je tržište prostornim podacima do velikih razmera i neprekidno ga uvećava. U tim okolnostima, raste i značaj poznavanja kvaliteta prostornih podataka, kao i potreba da se pokazatelji kvaliteta utvrđuju i saopštavaju na standardizovan način, kako bi korisnici prostornih podataka mogli odabrati optimalne podatke koji će sigurno zadovoljiti njihove potrebe.

Vojnogeografski institut, kao proizvođač DTK u Srbiji, posvećuje veliku pažnju menadžmentu kvaliteta i preduzima odgovarajuće mere radi potpune primene kontrole kvaliteta svojih kartografskih i topografskih publikacija. Osnovni cilj istraživanja u radu bila je razrada sistema upravljanja kvalitetom u tehnološkom procesu izrade DTK izdanja VGI-a. S aspekta korišćenja digitalnih topografskih materijala i njihove upotrebne vrednosti, opisan je sistem upravljanja kvalitetom u procesu izrade digitalnih kartografskih proizvoda Vojnogeografskog instituta, uvažavajući kako postojeće uslove, tako i dostignuta rešenja u oblasti kvaliteta prostornih podataka.

LITERATURA

- [1] Bédard Y. & Valliere D., (1995). *Qualité des données à référence spatiale dans un contexte gouvernemental*, technical report, Quebec City, Laval University, Canada.
- [2] David, B. et Fasquel, P. (1997). *Qualité d'une base de données géographique : concepts et terminologie*. Rapport technique, IGN France, 5-24.
- [3] Devillers, R., Bédard, Y., Jeansoulin, R., & Moulin, B. (2007). *Towards spatial data quality information analysis tools for experts assessing the fitness for use of spatial data*. *International Journal of Geographical Information Science*, 21(3), 261–282.
- [4] Devillers, R. & Jeansoulin, R., (2006). *Spatial Data Quality: Concepts*, In *Fundamentals of Spatial Data Quality*, edited by R. Devillers and R. Jeansoulin. London: ISTE, 31-42.
- [5] Drobñjak, S. M., Radojčić, S. M., & Božić, B. S. (2014). *Primena ISO 19157 standarda u tehnološkom procesu izrade digitalnih topografskih karata*. *Tehnika*, 69(6), 931-937.
- [6] Drobñjak, S., (2016). *Ocena kvaliteta digitalnih topografskih karata*, Doktorska disertacija, Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
- [7] Goodchild, M. F., (1993). *Data Models and Data Quality: Problems and Prospects*, In: MF Goodchild, BO Parks, LT Steyaert (eds.) *Environmental Modeling with GIS*, Oxford, New York, 94-103.
- [8] Harding, J., (2006). *Vector Data Quality: A Data Provider's Perspective*, In *Fundamentals of Spatial Data Quality*, edited by R. Devillers and R. Jeansoulin. London: ISTE, 141-158.
- [9] ISO 9000, (2005). *Quality management systems - Fundamentals and vocabulary*, International Standardization Organization, Geneva, ISO.
- [10] ISO 19157, (2013). *Geographic information — Data quality*, International Standardization Organization, Geneva, ISO.
- [11] ISO 19158, (2012). *Geographic information — Quality assurance of data supply*, International Standardization Organization, Geneva, ISO.
- [12] Sekulović, D. and Drobñjak, S., (2013). *Sastavljanje i reprodukcija karata*, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci, Banja Luka.
- [13] Sekulović, D. and Drobñjak, S. (2018). *Upravljanje kvalitetom u tehnološkom procesu izrade digitalnih topografskih karata, Šesta međunarodna konferencija „Primena novih tehnologija u menadžmentu i ekonomiji“ – ANTiM 2018*, Fakultet za informacione tehnologije i inženjerstvo, Fakultet za poslovne studije i pravo, Univerziteta „Union – Nikola Tesla“ u Beogradu, Zbornik radova, Beograd, 505-521.
- [14] Souris, M. (2002). *La construction d'un système d'information géographique: principes et algorithmes du système Savane*. Thèse de doctorat, Université de la Rochelle, France, 7- 86.
- [15] Van Oort, P. (2006). *Spatial data quality: From description to application*, PhD Thesis, Wageningen University, The Netherlands.



PRIMENA DIGITALNIH MODELA TERENA U POSTUPKU AUTOMATSKE KLASIFIKACIJE ZEMLJIŠNIH OBLIKA U GIS OKRUŽENJU

APPLICATION OF GIS BASED DIGITAL TERRAIN MODELS IN THE PROCEDURE OF AUTOMATIC CLASSIFICATION OF LANDFORMS

STANISLAVA BOSIOČIĆ¹, NEBOJŠA BOSIOČIĆ², DUŠAN PETKOVIĆ³, MIODRAG KOSTIĆ⁴

¹ Visoka građevinsko-geodetska škola strukovnih studija, Beograd, stanislava98@gmail.com

² nebojsa057@gmail.com

³ Građevinski fakultet, Beograd, dpetkovic@grf.bg.ac.rs

⁴ Vojska Srbije, Beograd, kmiodrag@ikomline.net

Rezime: Sa razvojem računara i softvera za obradu rasterskih slika zemljine površi, danas sve više dobijaju na značaju postupci automatske klasifikacije zemljišnih oblika. U radu su upoređeni rezultati automatske i TPI klasifikacije zemljišnih oblika u GIS okruženju. Danas se automatska klasifikacija često koristi u analizi reljefnih formi područja od interesa. Metoda se bazira na digitalnom modelu terena (DMT) i geomorfološkim parametrima koji se mogu izvesti iz matematičkog modela površi. U ovom radu opisana je metoda automatske klasifikacije zemljišnih oblika (unsupervised landform classification) i puluautomatske klasifikacije zemljišnih oblika (supervised landform classification). Za primenu metode osim DMT u radu su korišćeni parametri: nagib zemljišta, planarna i profilna zakrivljenost i topografski pozicioni indeks (TPI) sa modelima susedstva. Rezultati su pokazali da se na području od interesa nalaze različite morfografske kategorije reljefa. Rezultati klasifikacije rađeni za test područje dela opštine Novi Pazar potvrđuju da se automatske metode mogu koristiti u postupku klasifikacije reljefa.

Ključne reči: Geografski informacioni sistemi (GIS), DMT, geomorfometrijski parametri, klasifikacija reljefa.

Abstract: With the development of computers and software for processing raster images of the earth's surface, the procedures of automatic classification of landforms are becoming more and more important today. The paper compares the results of GIS based automatic and TPI classification of landforms. Today, automatic classification is often used in the analysis of relief forms of areas of interest. The method is based on a digital terrain model (DMT) and geomorphological parameters that can be derived from a mathematical surface model. This paper describes the method of automatic landform classification and supervised landform classification. For the application of the method, apart from DMT, the following parameters were used: slope, planar and profile curvature and topographic position index (TPI) with neighborhood models. The results showed that there are different morphographic categories of relief in the area of interest. The classification results made for the test area of the part of the municipality of Novi Pazar confirm that automatic methods can be used in the relief classification procedure.

Keywords: Geographical Information Systems (GIS), DMT, geomorphometric parameters, relief classification.

1. UVOD

U radu su obrađeni automatizovani modeli za klasifikaciju zemljišnih oblika. Zemljišni oblici su strukturne kategorije koje se mogu uočiti u trodimenzionalnoj geometriji Zemljine površine. To su pre svega poznati oblici reljefa: doline, kanjoni, brda, grebeni, brežuljci, visoravni itd. Uprkos poznavanju zemljišnih oblika, njihovo mapiranje geomorfolozima predstavlja vrlo kompleksan i složen zadatak.

Primenom automatizovanog mapiranja zemljišta se: uklanjaju subjektivnosti iz procesa klasifikacije, identifikuju ispravne granične tačke zemljišnih oblika, određuju geomorfološke raznolikosti Zemljine površine, automatizuju složeni procesi praktične upotrebe u planiranju uređenja zemljišta i zaštite životne sredine, nadoknađuje nedostatak objektivnog standarda na osnovu kojeg bi se validirale mape oblika ili način klasifikacije geomorfoloških oblika.

U praksi klasifikovanje zemljišnih oblika se pored uobičajenih primena geomorfometrijskih varijabli (prostorne analize za potrebe geologije, arheologije, antropologije, geomorfologije, biologije, ekologije i drugih istraživanja) primenjuje i u oblasti: planiranja korišćenja zemljišta, kartiranja zemljišta osetljivih na klizišta, precizne poljoprivrede, modeliranja stanja zemljišta, upravljanja šumama, mapiranja ekoloških jedinica i staništa.

Oblici zemljišta čine sastavni deo reljefa, oni odražavaju uticaj geoloških i klimatskih faktora na regionalnom i širem nivou. Kombinacija oblika zemljišta i klimatskih činilaca, utiče na razvoj sastava tla koji zatim utiču na rasprostranjenost i obim biljnog i životinjskog sveta. Značaj poznavanja zemljišnih oblika je u razumevanju potencijala i ograničenja zemljine površi u svrhu zadovoljenja različitih potreba korišćenja i upravljanja zemljištem. Danas sa sve intenzivnijom pojavom klimatskih promena i njenim izraženim delovanjem na zemljišne oblike (poplave, klizišta, odroni, uragani, suše, šumski požari i dr.) oblast izučavanja zemljišnih oblika dobija na značaju. U geomorfometriji kao nauci, razvijen je novi pravac, nastao razvojem računara, računarske grafike i nastankom softvera za digitalnu analizu slike i 3D prostornu analizu. To je upravo automatska i poluautomatska klasifikacija zemljišnih oblika. Njen cilj je da smanji troškove izlaska na teren u cilju geomorfološkog prikupljanja podataka o prostoru i da na neki način automatizuje i uniformiše procedure dobijanja informacija o postojećim zemljišnim oblicima.

U radu je obrađena automatska klasifikacija manjeg dela zemljine površi (3km x 5km), na zemljištu sa topografijom srednjeg intenziteta izmene zemljišnih oblika. U pitanju je zaravnjena visoravan Raške oblasti, konkretno, deo naselja grada Novog Pazara. Novi Pazar je lociran u zvezdastoj dolini reka Jošanice, Raške, Deževske i Ljudske, na nadmorskoj visini od 496m. Okružen je visokim planinama Golijom i Rogoznom i Peštarskom visoravni. Kraj je bogat prirodnim resursima. To je prostrana planinska teritorija, na kojoj se optimalno smenjuju blagi i oštri usponi, rečni useci i doline, visoravni, veliki kompleksi četinarskih šuma, prostrane livade i pašnjaci, a prostor ima izuzetno bogatu floru i faunu, obilje čiste vode, termalnih i mineralnih izvora.



Slika 1: Panoramska slika geomorfoloških oblika (brdo Vojniće zapadno od samog mesta Novog Pazara)

2. AUTOMATSKA KLASIFIKACIJA ZEMLJIŠNIH OBLIKA

Automatska klasifikacija zemljišnih oblika počinje sa kreiranjem digitalnog modela terena (DMT). U zavisnosti od tačnosti ulaznih podataka i odabrane metode interpolacije, dobija se DMT određene veličine piksela. Pritom DMT predstavlja matematičku funkciju koja aproksimira reljef, a geomorfometrijski parametri se primenom određenih matematičkih formula izračunavaju na osnovu DMT (Bosiočić *et al.* 2018). Za izdvajanje zemljišnih oblika primenjene su metode: nadgledane klasifikacije koja koristi obučavajuće skupove, nenadgledane klasifikacije i klasifikacije uz korišćenje topografskog pozicionog indeksa (TPI klasifikacija).

2.1. Nadgledana klasifikacija (supervised classification)

U nadgledanoj klasifikaciji biraju se reprezentativni uzorci (training samples) za svaku klasu zemljišta. Zatim se ovi „obučavajući skupovi“ primenjuju na celokupnu ulaznu sliku (raster) da bi se izdvojili pikseli pojedinih klasa sličnih karakteristika. U radu je korišćena interaktivna nadgledana klasifikacija.

2.2. Nenadgledana klasifikacija (unsupervised classification)

Ova klasifikacija se naziva i klasterovanje. Dva najčešće korišćena algoritma za nenadgledanu klasifikaciju su K-srednja vrednost i algoritam klasterovanja ISODATA (Iterative Self Organizing Data Analysis

Technique). Oba ova algoritma su iterativni postupci. Oba prvo dodeljuju proizvoljni početni klaster vektor. Drugi korak klasifikuje svaki piksel u najbliži klaster. U trećem koraku izračunavaju se novi srednji vektori klastera na osnovu svih piksela u jednom klasteru. Drugi i treći korak se ponavljaju sve dok „promena“ između iteracije nije mala. "Promena" se može definisati na nekoliko različitih načina, bilo merenjem udaljenosti srednjeg vektora klastera, koji se menjao iz jedne iteracije u drugu, ili s procentom piksela koji su se promenili između iteracija.

Algoritam ISODATA se može dodatno usavršiti postupkom razdvajanja i spajanja klastera. Klasteri se spajaju ako je ili broj članova (piksela) u klasteru manji od određenog praga ili ako su centri dva klastera bliži određenom pragu. Klaster se deli na dva nova klastera ako standardno odstupanje klastera, prelazi unapred definisanu vrednost i broj članova (piksela) je dvostruko veći od minimalnog broja članova. Razlika između rezultata dobijenih iz ova dva algoritma je taj da su u ISODATA klasifikaciji pikseli dodeljeni samo jednoj grupi, dok u fuzzy k-mean klasifikaciji svaki podatak može imati delimično članstvo u nekoliko grupa (Wieczorek, 2014). U radu je korišćena ISODATA klaster analiza.

2.3. TPI klasifikacija

Korišćenje topografskog pozicionog indeksa (TPI) za izdvajanje morfoloških kategorija reljefa razvijeno je kao metod od strane Endrju Vejasa (Weiss, 2001), a kasnije je metod dopunjen u vidu računarske ekstenzije za ArcGIS od strane Džefa Dženesa (Jenness, 2013). Poluautomatska metoda klasifikacije zemljišnih oblika, koja koristi TPI parametre zajedno sa parametrom nagiba, pruža jednostavno sredstvo za klasifikaciju prostora u različite morfološke klase.

Ovom metodom u svrhu geomorfometrijske analize i izdvajanja morfoloških kategorija reljefa na poučavanom području, obrađena su dva parametra: nagib reljefa (slope) i topografski pozicioni indeks (topographic position index - TPI), na osnovu kojih je sproveden postupak klasifikacije zemljišnih oblika. Za dobijanje relevantnih rezultata analize od ključnog je značaja izbor veličine i oblik susedstva, koji treba da su u razmeri sa veličinom reljefnog oblika koji se analizira. Najčešće korišćeni oblik susedstva je kružni oblik. Za klasifikaciju malih oblika, kao što su mali vodotoci ili mala uzvišenja, koristi se malo kružno susedstvo, a za klasifikaciju većih kanjona, dolina i planinskih visoravni koristi se veliko kružno susedstvo. Izbor veličine „ispravnog“ susedstva je proces u kome se isprobava nekoliko opcija dok se ne odabere najkorisnija veličina (Golijanin, 2015).

Rezultati ove metode klasifikacije, opis reljefnih klasa (tabela 1), zasnovani su na ekspertskom mišljenju, pa će u ovom radu biti usvojeni kao metoda za poređenje rezultata automatske klasifikacije (ekspertska klasifikacija). Za opis reljefnih klasa za klasifikaciju u 10 klasa videti Weiss 2001, Bosiočić 2018.

Tabela 1: Opis reljefnih klasa za klasifikaciju u 4 i 6 klasa (Weiss, 2001)

Klasifikacija pomoću parametara TPI i nagiba u 4 klase	Klasifikacija pomoću parametara TPI i nagiba u 6 klasa
Neighborhood = Circle [Radius = 50m]	Neighborhood = Circle [Radius = 50m]
Class 1: TPI <= -1 Class 2: -1 < TPI <= 1, Slope <= 6° Class 3: -1 < TPI <= 1, Slope > 6° Class 4: TPI > 1	Class 1: TPI <= -1 Class 2: -1 < TPI <= -0.5 Class 3: -0.5 < TPI <= 0.5, Slope <= 6° Class 4: -0.5 < TPI <= 0.5, Slope > 6° Class 5: 0.5 < TPI <= 1 Class 6: TPI > 1

3. EKSPERIMENT

Najčešći korišćeni format GIS podataka za potrebe geomorfometrije je raster. Rezolucija DMT zavisi od veličine područja i veličine oblika zemljišta koji će se otkriti. Takođe, to zavisi i od samog izvora podataka. Dikau (1989) je tvrdio da se tačna morfometrijska klasifikacija može izvesti koristeći četiri osnovna morfometrijska parametra dobijena iz DMT (nagib, aspekt, planarna i profilna zakrivljenost). Ovaj se osnovni skup može proširiti, tako da izbor parametara zavisi od specifičnosti potrebne prostorne analize (geomorfološka, hidrološka, pedološka i drugo). Morfometrijski parametar ugao nagiba (aspekt) sa njegovom usmerenom prirodom je teško kombinovati sa drugim varijablama u višedimenzionalnom modeliranju. Stoga se aspekt može posredno razmatrati preko parametra solarne radijacije (Wieczorek, 2014).

Prvi korak u geomorfometrijskoj analizi je kreiranje digitalnog modela terena (DMT). Za test područje, odabran je deo naselja Novi Pazar sa okolinom. Za ulazne podatke bio je na raspolaganju grid veličine 25m x 25m. Korišćenjem interpolacione metode kriging kreiran je DMT sa veličinom piksela 14,1m x 14,1m. Iz

DMT kao izvedene veličine u programu ArcGIS sračunati su osnovni morfometrijski parametri: nagib zemljišta, planarna i profilna zakrivljenost i topografski pozicioni indeks (Bosiočić, 2018). Eksperiment je podeljen na A, B i C eksperimente. Opisi eksperimenata u zavisnosti od broja klasa, kao i rezultata klasifikacije dati su u tabeli 2. Geomorfološki opisi klasa uzeti su iz TPI metode klasifikacije, videti Weiss, 2001.

Tabela 2: Opisi eksperimenata A,B i C u zavisnosti od broja klasa kao rezultata klasifikacije

Klase	Eksperiment A (4 klase)	Eksperiment B (6 klasa)	Eksperiment C (10 klasa)
Klasa 1	kanjoni i kanjonske doline	kanjoni i kanjonske doline	kanjoni i kanjonske doline
Klasa 2	nagnut teren	blago nagnut teren	gornji tokovi, brazde i potoci
Klasa 3	znatno nagnut teren	nagnut teren	konveksne doline
Klasa 4	vrhovi i grebeni	znatno nagnut teren	konkavne doline
Klasa 5		veoma strme padine	zaravni
Klasa 6		vrhovi i grebeni	otvorene padine (nagib>6°]
Klasa 7			padine na uzvišenjima
Klasa 8			lokalni grebeni, manja uzvišenja u dolinama
Klasa 9			sekundarni grebeni i uzvišenja u zaravnima
Klasa 10			planinski vrhovi i grebeni

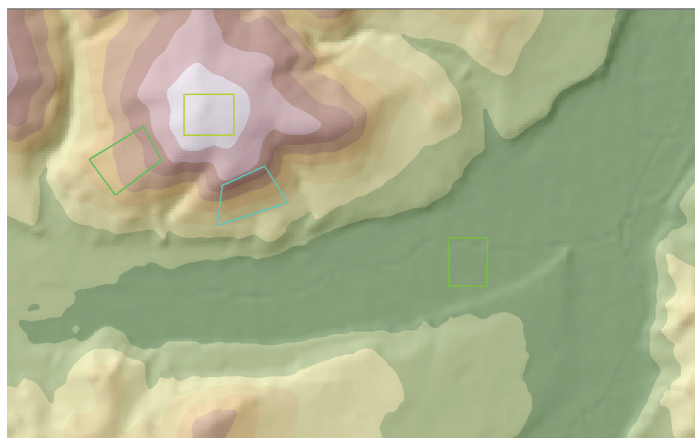
3.1. Klasifikacija na osnovu TPI parametra

Za klasifikaciju zemljišnih formi i izdvajanje morfoloških oblika reljefa, u ovoj metodi korišćena je kombinacija TPI parametara i nagiba. Prilikom primene metode, nije se posebno radila klasifikacija za malo susedstvo i veliko susedstvo. Prilikom odabira kriterijuma malog susedstva (vrednost 50m) uzeta je u obzir veličina test područja, veličina piksela i pretpostavka o postojanju manjih zemljišnih oblika na odabranom test području. Metodom klasifikacije, zemljište je podeljeno u 4 klase, 6 klasa, a zatim i u 10 klasa. Opis reljefnih klasa prikazan je u tabeli 1.

3.2. Interaktivna nadgledana klasifikacija

Za klasifikaciju zemljišnih formi i izdvajanje morfoloških oblika reljefa, u ovoj metodi korišćena je kombinacija morfometrijskih parametara: nagiba, planarne i profilne zakrivljenosti.

Na test području odabrani su obučavajući skupove (training samples) za A eksperiment 4 poligona i za B eksperiment 6 poligona. Odabrani obučavajući skupovi su oblika poligona i pravougaonika, veličine 250 do 1000 piksela (slika 2). Metodom klasifikacije, zemljište je podeljeno u 4 klase (A eksperiment) i 6 klasa (B eksperiment). Rezultat klasifikacije u 4 klase i 6 klasa i poređenje sa TPI klasifikacijom prikazan je na slici 3 i slici 4.



Slika 2: Prikaz odabrana 4 obučavajuća skupa za test područje Novi Pazar



Slika 3: Poređenje rezultata nadgledane i TPI klasifikacije u 4 klase



Slika 4: Poređenje rezultata nadgledane i TPI klasifikacije u 6 klasa

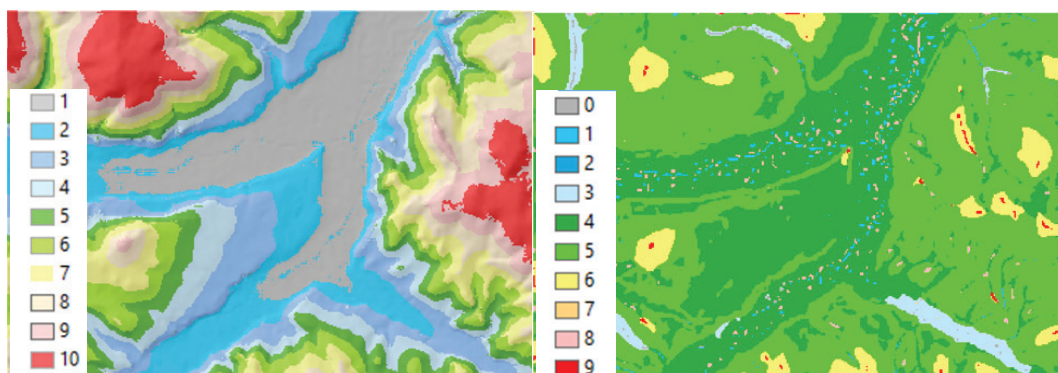
3.3. ISO data klasifikacija

Za klasifikaciju zemljišnih formi i izdvajanje morfoloških oblika reljefa, u ovoj metodi korišćena je kombinacija morfometrijskih parametara: nagiba, planarne i profilne zakrivljenosti.

Metodom klasifikacije, zemljište je podeljeno u 6 klasa (B eksperiment), a zatim i u 10 klasa (C eksperiment). Rezultat klasifikacije u 6 klasa i poređenje sa TPI klasifikacijom prikazan je na slici 5.



Slika 5: Poređenje rezultata ISO klaster i TPI klasifikacije u 6 klasa



Slika 6: Poređenje rezultata ISO klaster i TPI klasifikacije u 10 klasa

4. ANALIZA REZULTATA

Analizirajući rezultate klasifikacije u 4 klase i 6 klasa, nameće se zaključak da automatske metode klasifikacije mogu da izdvoje veće zemljišne oblike. Sa povećavanjem broja zemljišnih klasa, automatske metode pokazuju nedostatke u izdvajanju manjih zemljišnih oblika, kao što su na primer kanjoni manjih reka ili izdvojeni vrhovi.

Klasifikacija zemljišnih formi i izdvajanje geomorfometrijskih oblika reljefa u 10 klasa, putem TPI metode, gde se koristila kombinacija TPI parametra malog susedstva, velikog susedstva i nagiba (slika 6) uspešno je otkrila manje planinske vrhove i grebene (klasa 9, prikazana crvenom bojom), kao i zemljišnu formu manjeg kanjona, gde protiče potok (klasa 1, prikazana svetlo plavom bojom, isprekidana linija). Po ovoj metodi tačke sa pozitivnom vrednošću TPI u malom susedstvu i negativnom vrednošću TPI u velikom susedstvu verovatno predstavljaju manje brdo ili greben u većoj dolini. Nasuprot tome tačke sa negativnom vrednošću TPI u malom susedstvu i pozitivnom vrednošću TPI u velikom susedstvu verovatno predstavljaju malu dolinu (zaravan) na većem vrhu uzvišenja (Golijanin, 2015).

Kod klasifikacije u 10 klasa ISO klaster metodom, pokazao se dominantnim morfometrijski parametar nagiba u odnosu na zakrivljenost, zbog velikih vrednosti nagiba u odnosu na vrednosti zakrivljenosti. Na odabranom test području zakrivljenost je u rasponu od -5 do 5, u zavisnosti da li je više ili manje nagnut teren, dok ugao nagiba ima vrednosti od 0 do 55 (izražen u stepenima). Ova klasifikacije nije dala zadovoljavajuće rezultate.

5. ZAKLJUČAK

Nameće se zaključak da je automatskim metodama klasifikacije moguće izdvojiti osnovne reljefne oblike, što pokazuje analiza poređenja rezultata klasifikacije sa TPI klasifikacijom, ali da su one sa određenim nedostacima i još nedovoljno softverski praćene, da mogu u svim segmentima i potpunosti zameniti ekspertska klasifikaciju. Ovde je TPI metoda korišćena u nedostatku ekspertske klasifikacije.

Predlog je da se pokuša poboljšanje nadgledane klasifikacija tako što će u odabir obučavajućih skupova uključiti eksperti sa terenskim iskustvom. U postupku ISO data klasifikacije potrebno je da se eksperti uključe u fazi spajanja klasa, odabira broja klasa ili da se u analizu uključe još neki geomorfometrijski parametri. Veća rezolucija DMT bi takođe doprinela poboljšanju rezultata automatske klasifikacije.

LITERATURA

- [1] Bosiočić, S., Bosiočić N., Kostić M.(2018). Digitalni modeli terena kao podloga za geomorfometrijsku analizu u gis okruženju, Zbornik radova „SYM-OP-IS-2018“
- [2] Golijanin, J. (2015). Geoekološka evaluacija prirodnih potencijala ravne planine i paljanske kotline u funkciji održivog razvoja. Doktorska disertacija, Geografski fakultet, Univerziteta u Beogradu.
- [3] Jenness, J., Brost, B., & Beier, P. (2013). MANUAL: Land Facet Corridor Designer. corridor-design.org.
- [4] Wiczorek, M. & Migoń, P. (2014). Automatic relief classification versus expert and field based landform classification for the medium-altitude mountain range, the Sudetes, SW Poland, *Geomorphology* 206, 133–146
- [5] Weiss, A. (2001). Topographic position and landforms analysis, in: Poster Presentation, ESRI User Conference, San Diego, CA. pp. 227–245.

Grafovi i mreže

Graphs and networks



MEŠOVITA METRIČKA DIMENZIJA KOMPLETNO RAZDVOJENIH GRAFOVA MIXED METRIC DIMENSION OF COMPLETE SPLIT GRAPHS

MILICA MILIVOJEVIĆ DANAS¹, ZORAN MAKSIMOVIĆ², JOZEF KRATICA³, ALEKSANDAR SAVIĆ⁴

¹ University of Kragujevac – Faculty of Science and Mathematics, Kragujevac, Serbia, milica.milivojevic@kg.ac.rs

² University of Defence - Military academy, Belgrade, Serbia, zoran.maksimovic@gmail.com

³ Mathematical Institute, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, Serbia, jkratica@mi.sanu.ac.rs

⁴ University of Belgrade - Faculty of Mathematics, Belgrade, Serbia, asavic@matf.bg.ac.rs

Abstract: In this paper we study the mixed metric dimension which is recently introduced graph invariant. The properties of the mixed metric basis and the mixed metric dimension of a class of graphs, named complete split graphs $K_{k,n-k}^*$, is studied in this paper. It is stated and proved formula for the exact value of mixed metric dimension for $K_{k,n-k}^*$. In a general situation, the exact value of mixed metric dimension for $K_{k,n-k}^*$ is equal to its order.

Keywords: mixed metric dimension, complete split graph, graph theory, discrete mathematics

1. INTRODUCTION

The metric dimension is introduced independently by Slater in [1] and Harary and Melter in [2]. The metric dimension and resolving sets are applied in different fields of science. The navigation of robots in networks were studied in [3], some application in chemistry in ([4],[5]), etc.

Let $G = (V, E)$ be a finite, simple and connected graph, where V is the set of vertices, and E is the set of edges of a given graph G . For arbitrary two vertices u and v from a graph G , the distance $d(u, v)$ is the length of a shortest path $u - v$ in G . A vertex $w \in V$ resolves vertices u and v if $d(u, w) \neq d(v, w)$. Let $S = \{w_1, w_2, \dots, w_k\}$ be an ordered set of vertices from V and $v \in V$. The metric coordinates of the vertex v with respect to S is defined as $(d(v, w_1), d(v, w_2), \dots, d(v, w_k))$ and denoted as $r(v, S)$. The set S is called resolving set if for arbitrary $u, v \in V$ where $u \neq v$ it holds $r(u, S) \neq r(v, S)$. A resolving set with minimal cardinality is called the metric basis and its cardinality is called the metric dimension of a graph G . The metric dimension is denoted by $\beta(G)$.

The edge metric dimension was introduced by Kelenc et al. in [6], where its relationship with metric dimension is discussed. It was shown that resolving sets and edge resolving sets of a given graph G can be the same, but they can differ in a general case. For $w \in V$ and $uv \in E$ the distance between w and uv is defined as $d(uv, w) = \min\{d(u, w), d(v, w)\}$. We say that vertex w edge resolves a pair of edges $e, f \in E$ if $d(e, w) \neq d(f, w)$. Again, let $S = \{w_1, w_2, \dots, w_k\}$ be an ordered set of vertices from V and $v \in V$. The metric coordinates of an edge e with respect to S is defined as $(d(e, w_1), d(e, w_2), \dots, d(e, w_k))$ and denoted as $r(e, S)$. The set S is called edge resolving set if for arbitrary $e, f \in E$ where $e \neq f$ it holds $r(e, S) \neq r(f, S)$. An edge resolving set with minimal cardinality is called the edge metric basis and its cardinality is called the edge metric dimension of a graph G . The edge metric dimension is denoted by β_E .

The mixed metric dimension was introduced by Kelenc et al. in [7] and its properties were investigated in a general case, as well as, for certain classes of graphs such as paths, cycles, trees, grids and complete bipartite graphs. In the same article, the authors proved that computing mixed metric dimension is NP-hard in general case. Next two papers give exact value for several other classes of graphs. Raza et al. in [8] investigated the mixed metric dimension for prism, anti-prism and graph of convex polytopes R_n . Milivojević-Danas in [9], provided the exact results for two other important well-known classes of graphs: flower snarks and wheels.

Let the set of items be $V \cup E$. The vertex v mixed resolves a pair of items a and b if $d(a, v) \neq d(b, v)$. The mixed metric coordinates of the item a with respect to an ordered set of vertices S is defined as $(d(a, w_1), d(a, w_2), \dots, d(a, w_k))$ and denoted as $r(a, S)$. The set S is called mixed resolving set if for arbitrary items a and b where $a \neq b$ it holds $r(a, S) \neq r(b, S)$. A mixed resolving set with minimal cardinality is called the mixed metric basis and its cardinality is called the mixed metric dimension of a graph G . The mixed metric dimension is denoted by $\beta_M(G)$.

Next it will be presented some theoretical properties of mixed metric dimension known in literature, which is used in the next section.

► **Theorem 1.** ([7]) Let G be any graph of order n . Then $\beta_M(G) = 2$ if and only if G is a path.

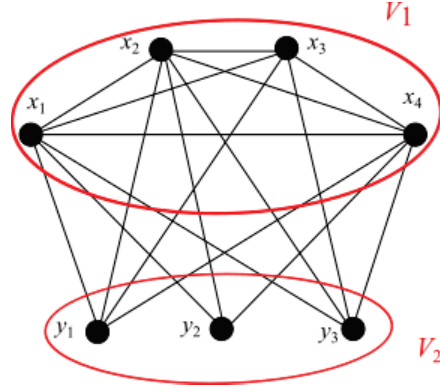


Figure 1 Complete split graph $K_{4,3}^*$

► **Definition 2.** ([7]) Let v be a vertex of a graph G . A vertex $u \in N(v)$ is said to be a maximal neighbour of the vertex v , if all neighbours of v (including v) are also in the closed neighbourhood of u .

► **Theorem 3.** ([7]) Let G be a graph of order n . Then $\beta_M(G) = n$ if and only if every vertex of the graph G has a maximal neighbour.

► **Corollary 4.** ([7]) For complete graph K_n , it holds $\beta_M(K_n) = n$.

► **Theorem 5.** ([7]) For any tree T with $l(T)$ leaves, $\beta_M(T) = l(T)$.

2. Mixed metric dimension of complete split graphs

In this paper the mixed metric dimension of an arbitrary complete split graph will be discussed. The complete split graph $K_{k,n-k}^* = (V, E)$ has n vertices. Vertex set is $V = \{x_i | 1 \leq i \leq k\} \cup \{y_i | 1 \leq i \leq n-k\}$ while edge set is defined as $E = \{x_i x_j | 1 \leq i < j \leq k\} \cup \{x_i y_j | 1 \leq i \leq k, 1 \leq j \leq n-k\}$. It should be noted that complete split graph $K_{k,n-k}^*$ can be viewed as a join of a complete graph K_k and a graph without edges \bar{K}_{n-k} . Throughout the paper we will assume that $V_1 = \{x_i | 1 \leq i \leq k\}$ and $V_2 = \{y_i | 1 \leq i \leq n-k\}$. In the Figure 1 the complete split graph $K_{4,3}^*$ is presented.

It is easy to see, by a total enumeration that mixed metric dimension of the complete split graph $K_{4,3}^*$ is equal to its order 7, i.e. V is mixed metric basis. All item metric coordinates are presented in Table 1:

By a total enumeration also it can be seen that $\beta(K_{4,3}^*) = 5$ and $\beta_E(K_{4,3}^*) = 6$. One metric basis of $K_{4,3}^*$ is set $\{x_1, x_2, x_3, y_1, y_2\}$, while one edge metric basis is $\{x_1, x_2, x_3, x_4, y_1, y_2\}$.

In the Theorem 6 we will find and prove mixed metric dimension of any complete split graph $K_{k,n-k}^*$. It should be noted that, not only for $k = 4$ and $n-k = 3$, but for all $k \geq 2 \vee (k = 1 \wedge n = 2)$ mixed metric dimension of any complete split graph $K_{k,n-k}^*$ is equal to its order n .

► **Theorem 6.** $\beta_M(K_{k,n-k}^*) = \begin{cases} n-1, & k = 1 \wedge n \geq 3 \\ n, & \text{otherwise} \end{cases}$

Proof. First, it should be discussed several special situations:

- $k = 1 \wedge n = 2$. It is easy to see that $K_{1,1}^* \cong P_2$, so by Theorem 1 from [7], $\beta_M(K_{1,1}^*) = \beta_M(P_2) = 2$;
- $k = 1 \wedge n \geq 3$. Because $K_{1,n-1}^*$ is a tree with $n-1$ leaves, then by Theorem 5 from [7], $\beta_M(K_{1,n-1}^*) = n-1$;
- $n-k = 1 \wedge k \geq 2$. Since $K_{n-1,1}^* \cong K_n$, then by Corollary 4 from [7], $\beta_M(K_{n-1,1}^*) = \beta_M(K_n) = n$.

Now, we give a proof for a general situation when $k \geq 2$ and $n-k \geq 2$.

As $|V| = n$ it holds that $\beta_M(K_{k,n-k}^*) \leq n$. Therefore, it is sufficient to prove that all vertices must belong to a mixed resolving set. Suppose the opposite, so that exists mixed resolving set S of graph $K_{k,n-k}^*$ that holds $S \neq V$, i.e. $(\exists u) u \in V \setminus S$. Next, we have two cases:

Case 1. $(\exists u)(u \in V_1 \wedge u \notin S)$.

From $k \geq 2$ it follows $(\exists w)(w \neq u \wedge w \in V_1)$. It is easy to see that

$$(\forall v \in V_1 \setminus \{u, w\}) d(u, v) = d(w, v) = d(uw, v) = 1 \quad (1)$$

Table 1: Item metric coordinates of $K_{4,3}^*$ with respect to V

Type	Item	Metric coordinates
vertex	x_1	(0, 1, 1, 1, 1, 1, 1)
	x_2	(1, 0, 1, 1, 1, 1, 1)
	x_3	(1, 1, 0, 1, 1, 1, 1)
	x_4	(1, 1, 1, 0, 1, 1, 1)
	y_1	(1, 1, 1, 1, 0, 2, 2)
	y_2	(1, 1, 1, 1, 2, 0, 2)
	y_3	(1, 1, 1, 1, 2, 2, 0)
edge	x_1x_2	(0, 0, 1, 1, 1, 1, 1)
	x_1x_3	(0, 1, 0, 1, 1, 1, 1)
	x_1x_4	(0, 1, 1, 0, 1, 1, 1)
	x_2x_3	(1, 0, 0, 1, 1, 1, 1)
	x_2x_4	(1, 0, 1, 0, 1, 1, 1)
	x_3x_4	(1, 1, 0, 0, 1, 1, 1)
	x_1y_1	(0, 1, 1, 1, 0, 1, 1)
	x_1y_2	(0, 1, 1, 1, 1, 0, 1)
	x_1y_3	(0, 1, 1, 1, 1, 1, 0)
	x_2y_1	(1, 0, 1, 1, 0, 1, 1)
	x_2y_2	(1, 0, 1, 1, 1, 0, 1)
	x_2y_3	(1, 0, 1, 1, 1, 1, 0)
	x_3y_1	(1, 1, 0, 1, 0, 1, 1)
	x_3y_2	(1, 1, 0, 1, 1, 0, 1)
	x_3y_3	(1, 1, 0, 1, 1, 1, 0)
	x_4y_1	(1, 1, 1, 0, 0, 1, 1)
	x_4y_2	(1, 1, 1, 0, 1, 0, 1)
	x_4y_3	(1, 1, 1, 0, 1, 1, 0)

$$\begin{aligned}
 d(w, w) &= d(uw, w) = 0 \\
 (\forall v \in V_2) \quad d(u, v) &= d(w, v) = d(uw, v) = 1
 \end{aligned} \tag{2}$$

Therefore, all metric coordinates, with respect to $V \setminus \{u\}$, of vertex w is equal to ones of edge uw , i.e. $r(w, V \setminus \{u\}) = r(uw, V \setminus \{u\})$. Since $S \subseteq V \setminus \{u\}$, then $r(w, S) = r(uw, S)$, implying that S is not the mixed resolving set.

Case 2. $(\exists u)(u \in V_2 \wedge u \notin S)$.

Let w be an arbitrary vertex from V_1 . Then, it is easy to see that

$$\begin{aligned}
 (\forall v \in V_1 \setminus \{w\}) \quad d(u, v) &= d(w, v) = d(uw, v) = 1 \\
 d(w, w) &= d(uw, w) = 0 \\
 (\forall v \in V_2 \setminus \{u\}) \quad d(u, v) &= 2, d(w, v) = d(uw, v) = 1
 \end{aligned} \tag{3}$$

Therefore, $r(w, V \setminus \{u\}) = r(uw, V \setminus \{u\})$. Again since $S \subseteq V \setminus \{u\}$, then $r(w, S) = r(uw, S)$, implying that S is not the mixed resolving set.

Since S is not mixed resolving set in all two cases, it is in contradiction with starting assumption, so $\beta_M(K_{k,n-k}^*) = n$ for general situation when $k \geq 2 \wedge n - k \geq 2$. Having in mind that special situations are proved previously, the proof of theorem is completed. \blacktriangleleft

The proof presented above is a direct proof of a Theorem 6. It should be noted that proof of a general situation in Theorem 6, can be also performed alternatively by Theorem 3 and analysis of maximal neighbours in $K_{k,n-k}^*$, as they are defined in Definition 2.

3. CONCLUSIONS

In this paper the exact value of mixed metric dimension of the complete split graphs is stated and proved. For all $k \geq 2 \vee (k = 1 \wedge n = 2)$ mixed metric dimension of each complete split graph $K_{k,n-k}^*$ is equal to its order n . In other cases, it is equal to $n - 1$.

Future work could be directed to several areas. One of them is to find metric dimension and/or edge metric dimension of complete split graphs. The other one could be to determine the exact value of mixed metric dimension of some related graphs.

REFERENCES

- [1] Slater, P.J. (1975). Proc. 6th Southeastern Conf. on Combinatorics, Graph Theory, and Computing, in Congr. Numer., 14:549–559.
- [2] Harary, F. & Melter R. (1976). On the metric dimension of a graph. *Ars Combinatoria* 2, 191–195.
- [3] Khuller, S., Raghavachari, B., & Rosenfeld, A. (1996). Landmarks in graphs. *Discrete applied mathematics*, 70(3), 217–229.
- [4] Johnson, M. (1993). Structure-activity maps for visualizing the graph variables arising in drug design. *Journal of Biopharmaceutical Statistics*, 3(2), 203–236.
- [5] Chartrand, G., Poisson, C., & Zhang, P. (2000). Resolvability and the upper dimension of graphs. *Computers & Mathematics with Applications*, 39(12), 19–28.
- [6] Kelenc, A., Tratnik, N., & Yero, I. G. (2018). Uniquely identifying the edges of a graph: the edge metric dimension. *Discrete Applied Mathematics*, 251, 204–220.
- [7] Kelenc, A., Kuziak, D., Taranenko, A. & Yero, I.G. (2017). Mixed metric dimension of graphs. *Applied Mathematics and Computation* 314, 429–438.
- [8] Raza, H., Liu, J. B., & Qu, S. (2019). On Mixed Metric Dimension of Rotationally Symmetric Graphs. *IEEE Access*, 8, 11560–11569.
- [9] Milivojević-Danas M. (2020), Mixed metric dimension of flower snarks and wheels. Arxiv preprint 2001.09333. <http://arxiv.org/abs/2001.09333>

CORONAVIRUSES AND CORONA OF GRAPHS

DRAGOŠ CVETKOVIĆ¹

¹ Mathematical Institute SANU, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, Serbia, ecvetkod@etf.bg.ac.rs

Abstract: Coronaviruses are named for the crown-like spikes on their surface. Corona of graphs as a binary operation was defined some fifty years ago. We define corona of graphs as a unary graph operation. Some corona graphs look like coronaviruses. This is the case, for example, in coronas of graphs of regular polyhedra. We study some properties of corona graphs in general and, in particular, of the icosahedron corona.

Keywords: coronavirus, corona of graphs, icosahedron corona, spectra of graphs

1. INTRODUCTION

Coronaviruses are named for the crown-like spikes on their surface (see Fig. 1).



Figure 1 : A coronavirus

The corona of graphs was defined in [6] as a *binary* operation on graphs.

Definition. Given two graphs G_1 , with vertices $1, 2, \dots, n$ and G_2 , the corona $G_1 \circ G_2$ of G_1 and G_2 is defined as the graph obtained by taking n copies of G_2 and for each vertex i of G_1 , introducing edges between vertex i and each vertex of the i -copy of G_2 .

We shall remind the reader to some definitions from graph theory and from the theory of graph spectra.

A *complete* graph on n vertices is denoted by K_n . An edge is called *pendant* if it is incident to a vertex of degree 1. A graph is *regular* if all vertices have the same degree. If they are of degree r , the graph is called regular of degree r . A set of vertices in a graph is called an *independence set* if no edge connects vertices from the set. The *line graph* of a graph is the graph whose vertices correspond to the edges of the starting graph and two vertices are adjacent if the corresponding edges are incident. A graph is called *planar* if it can be imbedded into a plane in such a way that two edges have a common point only if they have a common vertex.

Let G be a graph on n vertices (or of order n), and *adjacency matrix* A . The characteristic polynomial $P_G(A)$ of A (equal to $\det(xI - A)$) is also called the *characteristic polynomial* of G . The eigenvalues and the spectrum of A (which consists of n eigenvalues) are called the *eigenvalues* and the *spectrum* of G , respectively. Since A is real and symmetric, its eigenvalues are real. The eigenvalues of G (in non-increasing order) are usually denoted by $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$. In particular, λ_1 , as the largest eigenvalue of G , will be called the *spectral radius* (or *index*) of G . In a regular graph the index is equal to the degree of the graph. For general information on spectra of graphs see, for example, [3].

As well known, there are exactly five regular polyhedra. These are related to classical Platonic solids: 1. tetrahedron, 2. cube, 3. octahedron, 4. dodecahedron and 5. icosahedron (see Fig. 2). We shall consider the

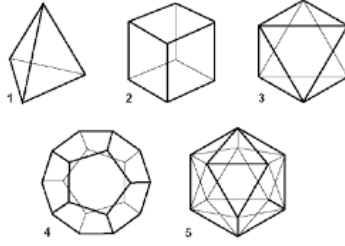


Figure 2 : Five Platonic solids

corresponding graphs whose vertices and edges correspond to vertices and edges of the solids. These graphs will be called *regular polyhedral graphs*.

The quoted regular polyhedral graphs have 4, 8, 6, 20 and 12 vertices respectively, and 6, 12, 12, 30 and 30 edges respectively. They are regular of degree 3, 3, 4, 3 and 5 respectively.

The tetrahedron is isomorphic to the complete graph K_4 , the cube is isomorphic to $K_2 + K_2 + K_2$, where $+$ denotes the (Cartesian) sum of graphs (cf., e.g., [3], p. 65), while the octahedron is isomorphic to the line graph of K_4 .

2. SPECTRA OF CORONA GRAPHS

The following theorem has been proved in [4].

Theorem 1. *Let G be a graph on n vertices and let H be a regular graph of degree r on m vertices. Then*

$$P_{G \circ H}(\lambda) = P_G\left(\lambda - \frac{m}{\lambda - r}\right)(P_H(\lambda))^n. \quad (1)$$

The special case of this result for $r = 0$ was derived in [3], p. 60. In this case we have $H = pK_1$ for a non-negative integer p , i.e. H consists of p isolated vertices. Further, we have $P_H(\lambda) = \lambda^p$ and formula from Theorem 1 is reduced to

$$P_{G \circ H}(\lambda) = \lambda^{pm} P_G\left(\lambda - \frac{p}{\lambda}\right), \quad (2)$$

as given in [3], p. 60. These facts are explained also in [2], p. 50.

Theorem 1 has been repeated in [1] without mentioning [4]. On the other hand, the paper [1] does give some new results on corona of graphs (for example, Laplacian spectra of these graphs).

Here we are specially interested in the case $p = 1$, i.e. $H = K_1$. We shall now write $G \circ H = G'$ and we get

$$P_{G'}(\lambda) = \lambda^n P_G\left(\lambda - \frac{1}{\lambda}\right). \quad (3)$$

The graph G' will be called the *corona* of graph G . Here corona is a *unary* graph operation.

If $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ are eigenvalues of G , then

$$P_{G'}(\lambda) = (\lambda^2 - \lambda_1\lambda - 1)(\lambda^2 - \lambda_2\lambda - 1) \cdots (\lambda^2 - \lambda_n\lambda - 1). \quad (4)$$

and eigenvalues of G' are

$$\frac{1}{2}(\lambda_i \pm \sqrt{\lambda_i^2 + 4}), i = 1, 2, \dots, n. \quad (5)$$

Thus we have proved the following theorem.

Theorem 2. If $\lambda \neq 0$ is an eigenvalue of the corona G' of a graph G , then $-\frac{1}{\lambda}$ is also an eigenvalue. No eigenvalue is equal to 0.

Let p_+, p_0 and p_- be the number of eigenvalues of a graph which are greater, equal and smaller than 0, respectively.

Corollary. For the corona of any graph we have $p_+ = p_-$ and $p_0 = 0$, i.e. the number of positive is equal to the number of negative eigenvalues and no eigenvalue is equal to 0.

There is a well-known result in spectral graph theory (see [3], pp. 88-89) saying that the cardinality of any independence set in a graph is at most equal to $p_0 + \min(p_-, p_+)$. According to [5], the graphs for which the cardinality of a maximal independence set is equal to $p_0 + p_+$ ($p_0 + p_-$) are called *heliotropic* (resp. *geotropic*) plants.

Hence we have the following theorem.

Theorem 3. Corona graphs G' are both heliotropic and geotropic plants.

Proof. If the graph G has n vertices, then for the corona graph G' we have $p_0 + \min(p_-, p_+) = n$ and an independence set has at most n vertices. However, the unique maximal independence set has really n vertices and it consists of the vertices of degree 1.

3. SPECTRA OF REGULAR POLYHEDRAL GRAPHS AND THEIR CORONAS

The corona G' of a graph G is obtained from G by adding a pendant edge to each vertex of G . The pendant edges resemble spikes in real coronaviruses so that such coronas can be imagined as some kind of “models” of coronaviruses where the starting graph should represent the body of the virus. It is perhaps suitable to present bodies of viruses as regular polyhedral graphs. Of course, such mathematical constructions have nothing to do with real coronaviruses.

The spectra of regular polyhedral graphs are known and can be found in the book [3] (p. 308 for dodecahedron and p. 310 for icosahedron). All these spectra are reproduced here. Multiplicities of eigenvalues are indicated by superscripts.

tetrahedron	$3, -1^3,$
cube	$3, 1^2, -1^2, -3,$
octahedron	$4, 0^3, -2^2,$
dodecahedron	$3, \pm\sqrt{5}^3, 1^5, 0^4, -2^4,$
icosahedron	$5, \pm\sqrt{5}^3, -1^5.$

Eigenvalues of corresponding corona graphs can be found using formula (5). For example, positive eigenvalues of the icosahedron corona graph read

$$\frac{1}{2}(5 + \sqrt{29}), \frac{1}{2}(3 \pm \sqrt{5})^3, \frac{1}{2}(-1 + \sqrt{5})^5. \quad (6)$$

The icosahedron corona graph is presented in Fig. 3. by a characteristic subgraph. In fact, it is assumed here that icosahedron is a solid and that the part behind the solid is not visible. Note that the icosahedron corona graph has 24 vertices, 12 of them being of degree 1.

Remark. All five regular polyhedral graphs are planar. For example, a planar representation of the icosahedron graph is given in Fig 4. (This representation appears on the front cover of the book [3] as suggested by my wife Nevenka Cvetković).

4. CONCLUSION

Motivated by the actual situation with coronaviruses, we have defined the corona of graphs and studied its mathematical properties. We have derived spectra of these graphs and have proved that they are both heliotropic and geotropic plants. Special attention is paid to coronas of regular polyhedral graphs with an emphasis on the icosahedron corona graph.

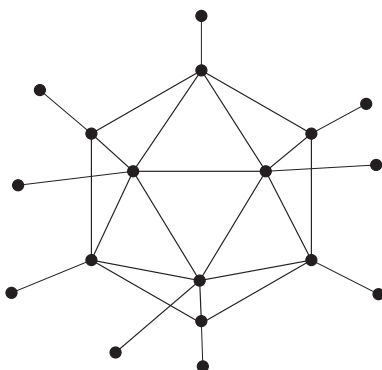


Figure 3 : Icosahedron corona graph

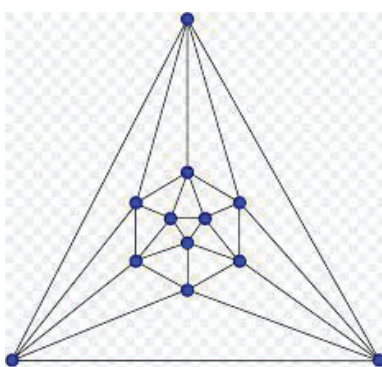


Figure 4 : Icosahedron graph, planar presentation

Acknowledgments. The work on this paper was supported by the project F-159. I am grateful to Tatjana Davidović, Dragan Aćimović and Zorica Dražić for technical help in preparing the manuscript.

REFERENCES

- [1] Barik, S., Pati, S., & Sarma, B. K. (2007). The spectrum of the corona of two graphs. *SIAM Journal on Discrete Mathematics*, 21(1), 47-56.
- [2] Cvetković, D., Doob, M., Gutman, I., & Torgašev, A. (1988). *Recent results in the theory of graph spectra*. North Holland, Amsterdam.
- [3] Cvetković, D., Doob, M., & Sachs, H. (1995). *Spectra of Graphs: Theory and Applications*, 3rd edition. Johann Ambrosius Barth Verlag, Heidelberg-Leipzig.
- [4] Cvetković, D., Gutman, I., & Simić, S. (1978). On self pseudo-inverse graphs. *Univ. Beograd. Publ. Elektrotehn. Fak. Ser. Mat. Fiz.* (602/633), 111-117.
- [5] Fajtlowicz, S. (1990). On conjectures of Graffiti, IV. *Proc. Twentieth Southeastern Conf. Combinatorics, Graph Theory, Computing*, Boca Raton, FL, 1989, Congr. Numer. 70, 231-240.
- [6] Harary, F. (1969). *Graph theory*. Addison-Wesley, Reading, MA, USA.

Heuristike

Heuristics



METODA PROMENLJIVIH OKOLINA ZA P-SLEDEĆI CENTAR PROBLEM

VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH METHOD FOR THE P-NEXT CENTER PROBLEM

DALIBOR RISTIĆ¹, DRAGAN UROŠEVIĆ^{1,2}, RACA TODOSIJEVIĆ³, NENAD MLADENOVIĆ⁴

¹ Univerzitet Union – Računarski fakultet, Beograd, dristic@raf.rs

² Matematički Institut, Beograd, durosevic@mi.sanu.ac.rs

³ Univerzitet u Valensijenu, Valensijen, racatodosijevic@gmail.com

⁴ Khalifa Univerzitet, UAE, nenadmladenovic12@gmail.com

Rezime: Problem p -centra je već dugo predmet interesovanja operacionih istraživanja. Poznat je još od sredine prošlog veka, a u poslednjoj dekadi je predstavljeno i proširenje problema poznato kao problem p -sledećeg centra. Motiv za uvođenje problema p -sledećeg centra je odgovor na eventualne otkaze centra bilo usled preopterećenja ili onesposobljenja. Postoji mali broj članaka i algoritama koji se bave pomenutim problemom i stoga predstavljamo novi algoritam, baziran na Metodi promenljivih okolina, koji rešava p -sledeći centar problem. Predloženi algoritam je testiran na u literaturi već poznatom skupu test instanci i rezultati pokazuju da u vremenski prihvatljivom okviru vraća optimalno ili približno-optimalno rešenje problema. U poređenju sa postojećim algoritmima, pokazalo se da predloženi algoritam uspešno pronalazi najbolja poznata rešenja.

Ključne reči: Metod promenljivih okolina, Problem p -sledećeg centra, Kombinatorna optimizacija

Abstract: P -center problem has been the object of interest in the field of operational research for a long time. It has been well-known since the middle of the previous century. During the last decade, an extension of the problem, known as the p -next center problem, has been defined in order to handle unexpected incidents that can disable the centers. There are only a few papers and algorithms on the aforementioned problem and therefore we introduce a new algorithm for solving the p -next center problem based on the Variable Neighborhood Search meta-heuristic. The algorithm is able to return an optimal or at least near-optimal solution in a reasonable amount of time, and compared to the other known algorithms it finds the state-of-the-art solutions.

Keywords: Variable Neighborhood Search, P -Next Center, Combinatorial Optimization

1. UVOD

Problem p -centra je predstavljen još 1965. (Hakimi 1965) i od tada je predmet mnogih istraživanja. P -centar je diskretan optimizacioni problem koji predstavlja identifikaciju p funkcionalnih centara i njihovu dodelu odgovarajućim korisnicima, a u cilju minimizacije najveće težine određene parom (centar, korisnik). Primera radi, ovim problemom se može modelovati određivanje lokacija p ambulanti (centara) koje će opsluživati n naselja (korisnika) sa ciljem da rastojanje najudaljenijeg naselja od njemu dodeljene ambulante bude minimalno. Problem p -centra može modelovati i problem minimizacije najvećeg rastojanja među svim naseljima do najbliže od p vatrogasnih stanica, prihvatnih izbegličkih centara ili domova kulture.

Iako je pokazano da je p -centar NP-težak (Kariv i Hakimi 1979) problem, vremenom su publikovani mnogi modeli celobrojnog programiranja ili heuristički algoritmi koji su uspešno rešili problem. I pored toga, naročito u uslovima humanitarnih katastrofa ili teških vremenskih nepogoda, ispostavilo se da se praktično pojavljuje problem ograničenih kapaciteta ili urušenja centara što dovodi do nesposobnosti istih da opsluže sve predviđene korisnike. Kao odgovor pojavili su se i drugi problemi, kao što su „fault tolerant“ ili „capacitated p -center“ problemi. Upravo su Albareda-Sambola i sar. (2015) predstavili jedno logističko rešenje problema eventualnih katastrofa nazvano problem p -sledećeg centra. Problem p -sledećeg centra je izveden iz problema p -centra, ali je mogućnost onesposobljenja centra rešena uvođenjem zamenskog centra. Korisniku dodeljeni centri su dobili svoje nazive, reference i backup centar, a sam problem p -sledećeg centra je definisan kao problem minimizacije maksimalnog rastojanja, među svim korisnicima, do najbližeg (reference) centra plus rastojanje do njemu najbližeg (backup) centra.

U cilju definisanja problema, uvodi se sledeća notacija problem, neka je $G = (V, E)$ neusmeren težinski graf gde su težine grana određene rastojanjem između svojih krajeva, V skup svih čvorova, a E skup grana grafa. Centri, kao i ostali korisnici predstavljaju čvorove grafa, a $d(i, j)$ je najkraće rastojanje između čvorova i i j , izračunato kao rezultat algoritma određivanja najkraćih rastojanja u grafu G . Rešenje problema p -sledećeg centra je skup čvorova $P \subset V$, kardinalnosti p , koji sadrži centre tako da je, uzevši sve korisnike u obzir, maksimalna udaljenost do backup centra preko reference centra minimizovana:

$$f(P) = \min_{P \subset V, |P|=p} \max_{i \in V} \left\{ \min_{j \in P} d(i, j) + \min_{k \in P, k \neq j} d(j, k) \right\} \quad (1)$$

Trebalo bi napomenuti da je u definiciji (1) rešenje $P = \{j_1, j_2, \dots, j_p\}$ određeno tako da je, uzevši u obzir sve elemente skupa $V = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$, suma rastojanja čvora $i \in V$ sa maksimalnom sumom rastojanja od čvora i do najbližeg čvora $j \in P$ i rastojanja od čvora j do njemu najbližeg čvora $k \in P, k \neq j$, minimalna. Ukoliko postoji više čvorova $j \in P$ na jednakom minimalnom rastojanju od nekog čvora $i \in V$, u obzir se uzima onaj sa najbližim sledećim centrom iz rešenja P .

Zajedno sa definicijom problema, u članku Albareda-Sambola i sar. (2015) je dat i formalni dokaz da je problem p -sledećeg centra NP-težak. U istom radu je predstavljeno nekoliko matematičkih modela koji tačno rešavaju manje instance problema. Sem ovih rešenja u literaturi se mogu naći i heuristički algoritmi predstavljeni u Lopez-Sanchez i sar. (2018). Ponuđeni su GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure), VNS (Variable Neighborhood Search) kao i hibridna verzija ovih algoritama. Algoritmi su testirani nad istim test setom kao i rešenja iz Albareda-Sambola i sar. (2015) i ispostavilo se da hibridna verzija vraća dosta bolja rešenja od ostalih, ali da takođe i zahteva mnogo više procesorskog vremena. GRASP i VNS algoritmi su dali rezultate približno istog kvaliteta.

Ovaj članak uvodi novi heuristički VNS algoritam, uporediv sa do sada najuspešnijim, tj. hibridnim algoritmom iz rada Lopez-Sanchez i sar. (2018), koji rešava problem p -sledećeg centra. U tom cilju, u narednom poglavlju kroz pseudo-kod predstavljamo algoritam, dok u trećem poglavlju tabelarno prezentujemo dobijene rezultate u poređenju sa pomenutim hibridnim algoritmom. Rad završavamo kratkim rezimeom i najavom budućeg rada.

2. ALGORITAM

Algoritam koji predlažemo kao novo rešenje problema p -sledećeg centra je izgrađen na Metodi promenljivih okolina (u ostatku teksta VNS). VNS je prvi put predstavljen od strane Mladenovic i Hansen (1997) kao generički okvir za izgradnju algoritama pretrage koji garantuje sistematično strukturiranu posetu susednih rešenja. Algoritam polazi od proizvoljnog rešenja koje se iterativno unapređuje naizmeničnim izvršenjem lokalne pretrage i promene okolina. Primera radi, neka je $P = \{1, 2, 3\}$ trenutno rešenje problema p -sledećeg centra za $p = 3$ i $V = \{1, 2, 3, 4, \dots, n\}$ korisnika. Okolina $N_1(P) = \{\{1, 2, 4\}, \{1, 2, 5\}, \dots, \{1, 2, n\}, \{1, 4, 3\}, \dots, \{n, 2, 3\}\}$ se definiše kao skup skupova koji se dobijaju zamenom tačno jednog centra iz rešenja P čvorom van tekućeg rešenja. Slično, $N_k(P)$ okolina, gde je $1 \leq k \leq |P|$, je skup rešenja koja se dobijaju zamenom k centara iz rešenja P čvorovima koji nisu u tekućem rešenju P . Formalno:

$$N_k(P) = \{P \setminus \{u_1, u_2, \dots, u_k\} \cup \{v_1, v_2, \dots, v_k\} \mid u_1, u_2, \dots, u_k \in P, v_1, v_2, \dots, v_k \in (V \setminus P), u_i \neq u_j, v_i \neq v_j, 1 \leq i < j \leq k\} \quad (2)$$

Za izračunavanje vrednosti funkcije problema p -sledećeg centra (objective function value) f_{value} , koriste se pomoćne funkcije $f(P, u)$ i $f(P, u, c_{\text{in}}, c_{\text{out}})$ koje respektivno vraćaju vrednost rastojanja korisnika u do najbližeg (reference) centra plus rastojanje do njemu najbližeg (backup) centra u tekućem rešenju P , odnosno u slučaju da je c_{out} centar rešenja P zamenjen novim c_{in} centrom ($c_{\text{in}} \in V \setminus P$). Takođe, funkcija $\text{reference}(P, u)$ pronalazi reference centar korisnika u u rešenju P . U slučaju da je više centara iz P na istom minimalnom rastojanju od u kao reference centar bira se onaj koji ima sebi najbliži centar među ostalim elementima rešenja P , odnosno bilo koji od onih koji imaju sledeći centar na istom minimalnom rastojanju. U najgorem slučaju, ove funkcije obilaze sve tekuće centre tako da je vremenska složenost $O(p)$.

Sledi pseudo-kod predloženog algoritma:

Algoritam 1: VNS($G = (V, E)$, P , k_{max} , t_{max})

1: $k = 1$; $f_{\text{value}} = \infty$

2: Do

Razmrdavanje u okolini N_k :

3: $P' = \text{Shake}(P, k)$

Određivanje vrednosti funkcije cilja za rešenje P'

4: $f^* = 0$

```

5:   For-Each  $u \in V$ 
6:     If  $f(P', u) > f^*$ 
7:        $f^* = f(P', u)$ ;  $c_u' = u$ 
8:     End If
9:   End For-Each
Lokalna pretraga:
10:  Main loop: While(True)
11:     $f'' = \infty$ 
12:    For-Each  $c_{in} \in V \setminus P'$ 
      NULL označava da se ne izbacuje niti jedan centar
13:      If  $f^* > f(P', c_u', c_{in}, \text{NULL})$  or  $f^* > f(P', c_u', c_{in}, \text{reference}(P', c_u'))$ 
14:        For-Each  $c_{out} \in P'$ 
15:           $f_{cur} = 0$ 
16:          For-Each  $u \in V$ 
17:            If  $f_{cur} < f(P', u, c_{in}, c_{out})$ 
18:               $f_{cur} = f(P', u, c_{in}, c_{out})$ ;  $u_{cur} = u$ 
19:            End If
20:          End For-Each
21:          If  $f'' > f_{cur}$ 
22:             $f'' = f_{cur}$ ;  $in = c_{in}$ ;  $out = c_{out}$ ;  $c_u'' = u_{cur}$ 
23:          End If
24:        End For-Each
25:      End If
26:    End For-Each
27:    If  $f'' < f^*$ 
28:       $f^* = f''$ ;  $c_u' = c_u''$ ;  $P' = P' \cup \{in\} \setminus \{out\}$ 
29:    Else
30:      Break Main loop
31:    End If
32:  End Main loop
Promena okoline:
33:  If  $f_{value} \geq f^*$ 
34:     $f_{value} = f^*$ ;  $P = P'$ 
35:     $k = 1$ 
36:  Else
37:     $k = k + 1$ 
38:  End If
39:  While  $k \leq k_{max}$  and  $\text{CPU\_Time}() \leq t_{max}$ 
40:  Return  $f_{value}, P$ 

```

Počev od $k = 1$ i predefinisano rešenja P , pretraga se nastavlja u slučajno izabranom novom rešenju P' iz $N_k(P)$ okoline (linija 3). Nakon inicijalizacije vrednosti funkcije rešenja P' i identifikacije kritičnog korisnika c_u' (linije 4 - 9), tj. korisnika čija je udaljenost do backup preko reference centra najveća, započinje faza lokalne pretrage (linije 10 - 32). U obzir se uzimaju samo c_{in} centri koji potencijalno smanjuju rastojanje vezano za kritičnog korisnika c_u' (linija 13). Traži se par (c_{in}, c_{out}) centara, gde $c_{out} \in P'$ i $c_{in} \in V \setminus P'$, čijom se razmenom dobija novo $N_1(P')$ rešenje sa najmanjom vrednošću funkcije. Pretraga se nastavlja dokle god je moguće pronaći bar jedan ovakav par centara.

Ukoliko se tokom lokalne pretrage pronađe bolje ili isto rešenje, novo rešenje postaje tekuće i pretraga se resetuje na $k = 1$ (linije 33 - 35); u suprotnom novo rešenje se odbacuje i pretraga se nastavlja skokom u $k + 1$ okolinu (linija 37). Pretraga se završava kada se dostigne k_{max} vrednost ili vremensko ograničenje t_{max} .

3. REZULTATI

Algoritam je implementiran u programskom jeziku C++, a sva testiranja su izvršena na Intel Core i7-8700K (3.7GHz) CPU sa 32 GB RAM konfiguraciji. Test primeri su preuzeti iz rada Lopez-Sanchez i sar. (2018), a dobijeni rezultati upoređeni sa hibridnim algoritmom, kao najboljom verzijom algoritama predloženih u pomenutom radu.

Test instance su podeljene u dve grupe: manje do 50 i veće do 200 čvorova. Algoritam je izvršen 20 puta na svakoj instanci sa vrednostima $k_{max} = p$ i $t_{max} = 2n$ sekundi gde je n ukupan broj čvorova (korisnika) u datoj test instanci. Rezultati su predstavljeni u Tabelama 1-3.

Tabela 1: Rezultati algoritma primenjenog na manje instance u poređenju sa rezultatima Hibrid algoritma

	P	N	Opt.	Hbr. 1	CPU (s)	Wrst.	AVG	Best	# B s t	Gap (%)	Gap Worst vs. Hybrid ²	Gap AVG vs. Hybrid ²	Gap Best vs. Hybrid ²
pmed1	5	10	84	84	0.002	84	84.00	84	20	0	0	0	0
pmed1	5	20	120	120	0.034	120	120.0	120	20	0	0	0	0
pmed1	10	20	95	95	0.029	95	95.00	95	20	0	0	0	0
pmed1	5	30	126	126	0.032	148	131.5	126	15	0	17.46	4.37	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...³
pmed1	10	50	110	111	6.656	115	112.3	110	2	0	3.60	1.17	-0.90
pmed1	20	50	89	89	26.83	91	89.10	89	19	0	2.25	0.11	0
pmed2	5	10	121	128	0.003	128	124.2	121	11	0	0	-3.01	-5.47
pmed2	5	20	147	147	0.014	166	153.6	147	13	0	12.93	4.52	0
pmed2	10	20	99	99	0.150	99	99.00	99	20	0	0	0	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...³
pmed3	5	10	77	77	0.002	77	77.00	77	20	0	0	0	0
pmed3	5	20	145	145	0.033	167	149.6	145	14	0	15.17	3.17	0
pmed3	10	20	77	77	0.047	129	87.40	77	16	0	67.53	13.51	0
pmed3	5	30	157	157	0.094	167	159.0	157	16	0	6.37	1.27	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...³
pmed3	20	50	87	87	11.38	87	87.00	87	20	0	0	0	0
pmed4	5	10	126	126	0.003	126	126.0	126	20	0	0	0	0
pmed4	5	20	139	139	0.023	179	145.0	139	17	0	28.78	4.32	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...³
pmed4	10	50	126	126	14.70	140	130.2	126	14	0	11.11	3.33	0
pmed4	20	50	91	91	12.59	92	91.70	91	6	0	1.10	0.77	0
AVG					3.388				16	0	6.83	1.56	-0.16

Indeksi u Tabeli 1 predstavljaju: ¹- rešenje dobijeno hibridnim algoritmom; ²-odstupanje u odnosu na (1); ³-neki redovi su izostavljeni.

Kolone Tabele 1 respektivno predstavljaju: naziv test instance, broj centara p, broj korisnika n, optimalnu vrednost rešenja, rešenje koje je dobijeno hibridnim algoritmom (Lopez-Sanchez i sar. 2018), prosečno vreme do pronalaska najboljeg rešenja, najgore rešenje među 20 izvršenja algoritma, srednje i najbolje dobijeno rešenje, koliko puta je dobijeno najbolje rešenje, gap u % između najboljeg dobijenog i optimalnog rešenja, gap najgoreg, srednjeg i najboljeg rešenja u odnosu na rešenje hibridnog algoritma. Ova tabela sadrži rezultate testiranja na manjim test instancama i pokazalo se da iz 20 izvršenja algoritam uspe da pronade optimalno rešenje. Srednje CPU vreme potrebno da se pronade najbolje rešenje je 3.388s, a u proseku 16 od 20 izvršenja identifikuje optimalno rešenje. Sa druge strane, u poređenju sa rezultatima dobijenim hibridnim algoritmom, zaključuje se da najgore a i srednje rešenje nije uvek u okvirima prihvatljivog. Primera radi instanca pmed3 za $p = 10$ i $n = 20$ rezultira gap-om od 67.53% i 13.51% u najgorem i srednjem slučaju u odnosu na rezultat hibridnog algoritma. Ipak, izvršenje nad tom instancom je u 16 slučajeva vratilo optimalno rešenje tako da se može zaključiti da algoritam primenjen na manje test primere daje prihvatljive rezultate. Najbolji rezultat u par primera i prevazilazi rešenje hibridnog algoritma, tj. vraća negativan gap.

Tabela 2: Rezultati algoritma primenjenog na veće instance u poređenju sa rezultatima Hibrid algoritma

	P	N	Hybrid	CPU (s)	Worst	AVG	Best	#Best	Gap Worst vs. Hybrid	Gap AVG vs. Hybrid	Gap Best vs. Hybrid
--	---	---	--------	---------	-------	-----	------	-------	-------------------------------	-----------------------------	------------------------------

pmed6	20	150	79	222.75	91	84.60	80	4	15.19	7.09	1.27
pmed6	30	150	71	250.42	85	78.65	74	1	19.72	10.77	4.23
pmed6	50	150	62	240.37	72	63.60	60	2	16.13	2.58	-3.23
pmed6	80	150	56	68.05	57	56.05	56	19	1.79	0.09	0
pmed6	20	200	79	224.10	94	87.20	81	3	18.99	10.38	2.53
pmed6	30	200	72	254.00	89	81.35	77	1	23.61	12.99	6.94
pmed6	50	200	68	139.42	82	76.30	70	1	20.59	12.21	2.94
pmed6	80	200	54	224.10	77	64.50	54	2	42.59	19.44	0
pmed7	20	150	69	226.25	79	71.70	68	1	14.49	3.91	-1.45
pmed7	30	150	62	254.15	70	66.65	63	2	12.90	7.50	1.61
pmed7	50	150	59	209.71	66	59.85	59	15	11.86	1.44	0
pmed7	80	150	59	17.47	59	59.00	59	20	0	0	0
pmed7	20	200	73	195.70	88	82.65	75	1	20.55	13.22	2.74
pmed7	30	200	68	222.79	86	76.05	67	1	26.47	11.84	-1.47
pmed7	50	200	63	211.34	70	68.05	63	1	11.11	8.02	0
pmed7	80	200	52	210.42	67	58.40	52	1	28.85	12.31	0
pmed8	20	150	74	244.01	83	78.75	74	2	12.16	6.42	0
pmed8	30	150	61	218.50	83	69.05	63	1	36.07	13.20	3.28
pmed8	50	150	58	263.65	61	58.35	58	16	5.17	0.60	0
pmed8	80	150	58	28.23	58	58.00	58	20	0	0	0
pmed8	20	200	84	222.01	94	91.10	88	5	11.90	8.45	4.76
pmed8	30	200	77	226.27	94	87.25	84	6	22.08	13.31	9.09
pmed8	50	200	68	247.91	88	77.40	68	2	29.41	13.82	0
pmed8	80	200	68	154.88	72	68.20	68	19	5.88	0.29	0
AVG				199.02				6.08	16.98	7.91	1.39

Kolone Tabele 2, sem kolona u vezi optimalnog rešenja, su identične kolonama Tabele 1. S obzirom da nismo raspolagali optimalnim rešenjima većih instanci, u Tabeli 2 su dati samo rezultati poređenja sa hibridnim algoritmom. Rezultati našeg algoritma nisu tako dobri kao za manje instance. Uočljivo je da se najbolje rešenje dobija u proseku samo za 6 od 20 izvršenja i da u većini slučajeva najgore i srednje rešenje daje značajan gap u odnosu na rešenje hibridnog algoritma. U tri slučaja, algoritam kao najbolje rešenje vraća bolje vrednosti (negativan gap u poslednjoj koloni) od hibridnog algoritma. Iako je prosečna vrednost gap-a 1.39%, očigledno da je hibridni algoritam u prednosti kada se posmatraju veće instance. Povećanjem vremenskog limita izvršenja t_{max} na $5n$, dobijaju se značajno bolji rezultati (Tabela 3) koji prevazilaze rezultate hibridnog algoritma, ali se u tom slučaju trajanje izvršenja povećava. Kako je prosečno vreme pronalaska najboljeg rešenja od 199.02s i u prethodno predstavljenim rezultatima veće od očekivanog, tj. od 141.65s koliko je u proseku bilo potrebno hibridnom algoritmu (skalirano na procesor koji smo koristili), neophodna je optimizacija da bi se algoritam mogao koristiti na većim instancama problema.

Tabela 3: Poređenje sa rezultatima Hibrid algoritma u slučaju povećanog vremenskog limita t_{max}

	P	N	Hybrid	CPU (s)	Worst	AVG	Best	#Best	Gap Worst vs. Hybrid	Gap AVG vs. Hybrid	Gap Best vs. Hybrid
pmed6	20	150	79	496.24	92	83.15	77	1	16.46	5.25	-2.53
pmed6	30	150	71	610.05	81	75.75	67	1	14.08	6.69	-5.63
pmed6	50	150	62	688.80	63	59.10	56	3	1.61	-4.68	-9.68
pmed6	80	150	56	59.43	56	56.00	56	20	0	0	0
pmed6	20	200	79	513.29	91	83.90	80	4	15.19	6.20	1.27
pmed6	30	200	72	428.45	81	79.25	72	1	12.50	10.07	0
pmed6	50	200	68	621.61	81	71.50	62	1	19.12	5.15	-8.82
pmed6	80	200	54	721.79	72	53.80	49	3	33.33	-0.37	-9.26

pmed7	20	150	69	658.24	78	69.85	68	6	13.04	1.23	-1.45
pmed7	30	150	62	602.54	69	65.55	61	1	11.29	5.73	-1.61
pmed7	50	150	59	212.89	63	59.20	59	19	6.78	0.34	0
pmed7	80	150	59	25.78	59	59.00	59	20	0	0	0
pmed7	20	200	73	507.34	84	79.85	70	1	15.07	9.38	-4.11
pmed7	30	200	68	659.96	84	71.95	67	1	23.53	5.81	-1.47
pmed7	50	200	63	594.09	71	65.85	58	1	12.70	4.52	-7.94
pmed7	80	200	52	584.48	63	55.55	48	1	21.15	6.83	-7.69
pmed8	20	150	74	527.45	84	78.35	74	3	13.51	5.88	0
pmed8	30	150	61	521.21	70	65.45	61	1	14.75	7.30	0
pmed8	50	150	58	301.59	61	58.20	58	18	5.17	0.34	0
pmed8	80	150	58	22.25	58	58.00	58	20	0	0	0
pmed8	20	200	84	556.46	93	89.00	84	2	10.71	5.95	0
pmed8	30	200	77	343.06	88	84.90	77	1	14.29	10.26	0
pmed8	50	200	68	754.32	84	72.10	68	4	23.53	6.03	0
pmed8	80	200	68	216.30	68	68.00	68	20	0	0	0
AVG				467.82				6.38	12.41	4.08	-2.46

Tabela 3 pokazuje da je, uz kompromis dužeg izvršenja, algoritam sposoban da vrati značajno bolje rezultate od hibridnog algoritma i za veće instance problema. U poslednjoj koloni tabele vidi se da je gap negativan u čak 11 od 24 slučajeva, a da hibridni algoritam samo za jednu instancu vraća bolji rezultat.

4. ZAKLJUČAK

U radu predlažemo novi VNS algoritam koji se bavi problemom p-sledećeg centra, tj. pronalazi optimalno ili približno-optimalno rešenje u smislu identifikacije p centara sa ciljem minimizacije maksimalnog rastojanja n korisnika do najbližeg centra plus rastojanje do njemu najbližeg centra. Potrebno je obezbediti što bliži backup centar sposoban da opsluži korisnika nakon onesposobljenja reference centra.

Rezultati predloženog algoritma su upoređeni sa Hibrid algoritmom iz Lopez-Sanchez i sar. (2018) kao najboljim poznatim heurističkim algoritmom koji se bavi istom problematikom. Ispostavilo se da je naš algoritam u gotovo svim slučajevima, uz uvećano vreme izvršenja za veće instance, vratio iste ili bolje rezultate, tako da se da zaključiti da novi algoritam uspešno reprodukuje state-of-the-art rezultate.

Test primeri na kojima smo testirali su u domenu malih problema, stoga je u planu primeniti algoritam i na test primere većih dimenzija za koje je izvesno da rešenja nije moguće dobiti egzaktnim metodama. Uzimajući u obzir dobijene rezultate za tako nešto je potrebna optimizacija vremena izvršenja. Algoritam je tako koncipiran da je jednostavno proširiti ga da uzima u obzir i više centara u slučaju da je i backup centar onesposobljen. Problem je svakako realan i bilo bi interesatno pokušati minimizirati maksimalno rastojanje i do drugog, trećeg ili svih ostalih backup centara.

LITERATURA

- [1] Albareda-Sambola, M., Hinojosa, Y., Marín, A., & Puerto, J. (2015). When centers can fail: a close second opportunity. *Comput. Operat. Res.* 62 (Supplement C), 145–156.
- [2] Hakimi, S.L. (1965). Optimum distribution of switching centers in a communication network and some related graph theoretic problems. *Oper Res* 13:462–475.
- [3] Kariv, O., & Hakimi, S.L. (1979). An algorithmic approach to network location problems. Part I: The p-Centers, *SIAM J Appl Math* 37, 513–538.
- [4] Lopez, A., Sánchez-Oro Calvo, J., & Hernández-Díaz, A. (2018). GRASP and VNS for solving the p-next center problem. *Computers & Operations Research*. 104. 10.1016/j.cor.2018.12.017.
- [5] Mladenovic, N., & Hansen, P. (1997). Variable neighborhood search. *Comput. Operat. Res.* 24 (11), 1097–1100.
- [6] Mladenovic, N., Labbé, M., & Hansen, P. (2003). Solving the p-center problem with tabu search and variable neighborhood search. *Networks* 42 (1), 48–64.

BEE COLONY OPTIMIZATION FOR DECISION MAKING PROBLEMS

TATJANA DAVIDOVIĆ¹

¹ Mathematical Institute of the Serbian Academy of Science and Arts, Kneza Mihaila 36, 11000 Belgrade, Serbia, tanjad@mi.sanu.ac.rs

Abstract: Artificial Intelligence (AI) is a modern field in computer science that involves automatic learning processes. It usually means that computers are programmed to make some decisions based on the input parameter values as well as on the previous experience. Decision making problems were usually not considered as optimization problems, however, recent trends in merging optimization and AI changed that perspective. Metaheuristics were successfully applied to many decision making problems, such as training of Artificial Neural Networks, medical therapy determination, clustering, feature selection, and satisfiability problems. Several recent papers, considering the application of Bee Colony Optimization (BCO) to the decision making problems, are reviewed here with an emphasis on the author's results.

Keywords: Artificial intelligence, Decision support systems, Optimization problems, Metaheuristics

1. INTRODUCTION

Many decision making problems can be formulated as packing, scheduling, clustering, location, etc. These are the well-known optimization problems that can be described as follows. Let $f : S \rightarrow \mathbb{R}$ be a real function defined on the domain S and let $X \subseteq S$ be a given set. An optimization problem is to find $\min f(x)$ under the constraint $x \in X$. $f(x)$ is called *objective function*. Domain S represents *solution space*, while X contains *feasible solutions*, the ones that satisfy given constraint. *Optimal solution* or *global optimum* is any solution $x^* \in X$ such that $f(x^*) \leq f(x)$ for all $x \in X$. All other feasible solutions are called *sub-optimal* or *approximate* ones.

Some of the well-known decision problems that can be considered as optimization ones are:

- Satisfiability problem (SAT, 3-SAT, MAX-SAT Reasoning under uncertainty, etc.). Applied in electronic circuit design, hardware and software verification, fault detection, product manufacturing, air-traffic control, cryptanalysis, bio-informatics, etc.
- Clustering - grouping object into similar classes. Applications: medicine, marketing, traffic control, document analysis, etc.
- Location - determining the most appropriate places for some facilities. Applications: Emergency services (ambulances, police offices, fire stations), hypermarkets, shopping malls, etc.
- Scheduling - matching two or more entities in space and time. Applications: Multiprocessor systems, aircraft crews, medical staff, production lines, etc.
- Routing: ships along the coast, buses on lines, etc.
- Allocation of resources to clients: clouds, berths in port to the incoming ships, power to machines, workers to tasks, etc.

The usual optimization methods can be classified as *exact*, *heuristic*, *approximation*, or *metaheuristic*. *Exact methods* are the ones that perform exhaustive search over X and find the optimal solution or prove that such a solution does not exist. Having in mind that the optimization problems are usually NP-hard, the application of exact methods is impractical. *Heuristic methods* are used to obtain sub-optimal solutions very fast. They are usually constructive procedures that apply *a priori* knowledge about the considered problem. In most of the cases, the quality of the obtained solution is impossible to estimate. However, for some problems there exists the class of *approximation algorithms*, the heuristic methods with guaranteed worst case relation between optimal solution and the estimation proposed by the algorithm. *Metaheuristics* [30] are optimization frameworks (general methods, recipes) to efficiently deal with NP-hard optimization problems. They are incomplete search methods, however, usually provide high-quality solutions within reasonable execution time. Metaheuristics represent iterative, stochastic algorithms that build or improve solutions until the stopping criterion is satisfied. One can distinguish between single-solution or population-based metaheuristics as well as between mathematically founded or nature-inspired methods.

Typical examples of metaheuristic methods are Simulated Annealing (SA), Genetic Algorithms (GA), Tabu Search (TS), Variable Neighborhood Search (VNS), Scatter Search (SS), Greedy Randomized Adaptive Search Procedures (GRASP), Differential Evolution (DE), Estimation of Distribution Algorithms (EDA), Ant Colony

Optimization (ACO), Artificial Bee Colony (ABC), Artificial Immune Systems (AIS), Bee Colony Optimization (BCO), Cooperative Coevolutionary Methods (CCM), Particle Swarm Optimization (PSO), and Memetic Algorithms (MA), known as hybrids between single-solution and population-based methods. Hybridization of two solution methods is very popular [3], especially for particularly hard problems, or in the case when solution space is extremely large, or when the objective function cannot be expressed in the analytical form.

The main goal of this paper is to review the application of BCO to decision making problems. BCO is a Swarm Intelligence (SI) metaheuristic method that was proposed by Lučić and Teodorović [24] and later developed by many researchers all over the world [7]. There are two main variants of BCO, constructive BCO (BCOc) and improvement-based BCO (BCOi) [7].

The paper is organized as follows. After the introduction, some of the well-known decision problems are presented in Section 2. A brief survey of papers considering the application of BCO to these problems and their specific variants is given in Section 3. The paper concludes with Section 4.

2. DECISION MAKING PROBLEMS

Here, the focus is to decision problems that can be formulated as satisfiability, clustering, location, and other well-known NP-hard optimization problems. Some of them are presented in the remainder of this section.

Satisfiability problem. Boolean satisfiability in the propositional logic (referred to as SAT problem) is one of the oldest decision problems. On the other hand, its significance and applicability ranges from integrated circuit design or noise prediction in telecommunication networks to fault diagnosis and safety analysis in modern systems of various kinds [25]. For a given propositional formula φ with n Boolean variables, SAT consists of determining if there exists an valuation (assignment of *true* or *false* value to the variables) such that the formula φ has value *true*. If such a valuation exists, the formula φ is called satisfiable. Otherwise, i.e., if the formula φ has value *false* for all possible valuations, it is unsatisfiable. Formula φ is usually given in the Conjunctive Normal Form (CNF) which means that it is represented by a conjunction of many disjunctions (called *clauses*). In order to prove satisfiability of the formula φ , one should prove that all clauses have value *true*. On the other hand, the clauses being disjunctions are *true* if at least one literal (Boolean variable or its negation) evaluates as *true*. There are various version of SAT problem, the most famous being 3-SAT and MAX-SAT. SAT is known as NP-hard optimization problem [10]. Therefore, exact solvers have to examine 2^n (n being the number of propositional variables) possible valuations to prove that formula is not satisfiable. For checking the satisfiability, the so called incomplete SAT solvers are widely used in the literature [17] and metaheuristics represent significant class of such solvers. ACO for SAT problems was proposed in [32], while in [4], TS, SS, GA and MA for MAX-SAT are studied. In [27] GA for the Probabilistic Satisfiability Problem was developed, while in [21] VNS was proposed for the same problem.

Clustering problems. One of the most important tasks in decision making process reduces to clustering problem [18]. It consists of grouping a set of m objects into K groups called *clusters*. Usually, K is a given input parameter, however, sometimes it is also necessary to determine the most appropriate value for K . The goal of clustering is to group together similar objects while at the same time different object are belonging to distinct groups. Objects are represented as points in n -dimensional space with coordinates called attributes. These attributes are defining various properties of each object. More precisely, an object o^j , $j = 1, 2, \dots, m$ is represented by $o^j = (a_1, a_2, \dots, a_n)$. Having in mind that clustering problem is known to be NP-hard [2], heuristic approaches dominate in the relevant literature. From the recent literature ([20]), it can be concluded that the nature-inspired methods (various evolutionary algorithms, GA, DE, ACO, PSO, ABC, AIS) are predominantly used for data clustering. Methods based on local search, such as primal-dual VNS [16] and TS [29], are also applied. An important feature of clustering is the definition of distance between objects [33]. The role of distance is to measure their similarity (or dissimilarity). The distances-based clustering methods are very popular due to their simplicity and applicability in many different cases. The special class of clustering problems include handling of incomplete data. It is a very common case in real application that some values of the attributes describing objects to be clustered are missing [12]. Most of the existing clustering algorithms assume that the objects to be classified are completely described. Therefore, prior to their application the data should be preprocessed in order to determine the values of missing data. Recently, some classification algorithms that do not require to resolve the problem of missing data were proposed. They include Rough Set Models [35], Bayesian Models [22] and Classifier Ensemble Models [34].

Feature selection. This problem consists of identifying and selecting a subset of relevant attributes (features), reducing the dimensionality of data, and therefore, making data processing more efficient [11, 15]. Feature selection problem can be described as follows: for a given original set A of n attributes, find a subset F consisting of p the most relevant features where $F \subset A$ and $p \ll n$. Relevancy for the subset of feature is defined by its

influence to the classification accuracy: the goal is to minimize p and losses in accuracy at the same time. Proper solution to the feature selection problem enables discarding remaining $(n - p)$ features and reducing the cost of future data processing with respect to time and space (storage) requirements. The complexity of feature selection problem is similar to the complexity of SAT: an exact selector should evaluate all subsets of features (2^n) and identify the best one. Heuristic approaches to feature selection problem usually involve computing the relative contribution of each attribute to the corresponding processing result. In addition, the correlation index between pairs of attributes is computed. Then attributes are ranked based on the relevance and non-correlated the most influential p of them are selected. Although Artificial Neural Network (ANN) is the most frequently used approach, in the recent literature, metaheuristics such as ABC, ACO, DE, GA, PSO can also be found [23].

The most remarkable example of combining metaheuristics and decision making is certainly the application of metaheuristics to ANN training. In this problem, the goal is to find the most suitable values for weights on synapses. To apply metaheuristics, weights are represented as a vector w and objective function is defined as the Root Mean Square Error (RMSE) measured between the labels from the training set elements and the outputs produced by ANN for a given w . Results obtained by the application of SA, TS, VNS, GRASP, EDA, GA, ACO, CCM, and MA are summarized in book [1]. An interesting example of decision support system designed to help researchers in graph theory is AutoGraphiX (AGX) [5]. The main purpose of AGX is to search for extremal graphs, i.e., graphs minimizing or maximizing a certain graph invariant (or a function of graph invariants). The properties of the generated extremal graphs are used to derive conjectures that can possibly be proved automatically or by humans (researchers). The basic component of this package is the VNS metaheuristic. Among numerous applications of AGX, an interesting one is described in [6] where spectral graph theory was used for reconstruction of a graph with given spectrum and for testing graph isomorphism. It would be interesting to extend results related to these two topics in the future research.

3. BEE COLONY OPTIMIZATION FOR DECISION MAKING

Dose planning in the treatment of thyroid cancer. One of the first papers applying BCO to decision making problem is [31]. The BCOi metaheuristic combined with Case-Based Reasoning (CBR) is proposed for radioiodine (I-131) dose planning in the treatment of thyroid cancer. Having historical records about previous experience (considered as a kind of memory), CBR uses the premise that similar problems have similar solutions and determines the solution for a new instance of the problem based on its similarity with already solved instances from the memory. Therefore, this problem can be considered as supervised clustering. When a physician makes the decision about the proper therapy, it takes into account various clinical parameters (such as primary diagnosis, the patient's age, the size of tumor, the existence of metastases, etc.). The BCOi proposed in [31] is running in two phases: learning and testing. In the first phase, the weights (importance) of clinical parameters are determined by analyzing patients that already underwent the treatment. During the second phase, the proper dose is calculated for newly arrived patients. Actually, the subset of patients is used in the learning phase, while the remaining ones are used for testing. In the learning phase, BCOi is implemented as described in [31]. Solutions are represented by the values of weights for all clinical parameters. The initial solutions are generated randomly, with the restrictions that all weights must be positive (or zero) and their sum for each bee must be equal to one. The objective function to be minimized is represented by the difference between the doses recommended by an artificial bee and the real dose (prescribed by the physician). Clearly, the goal is to make this difference as small as possible. The solution transformation process consists of reducing or increasing a randomly selected weight by 0.1. Obviously, in each forward pass, a pair of randomly chosen weights has to be changed in order to preserve the condition that the sum of weights must be equal to one. When a stopping condition is met, the learned weights are incorporated in CBR to determine radioiodine (I-131) dose for the new patients. To each new patient, the suggested dose matches the one prescribed to the most similar among all previously treated patients. The approach proposed in [31] is tested on data related to real patients treated in the Department of Nuclear Medicine, Clinical Center Kragujevac, Serbia. Comparison results show large similarity between real doses and the ones suggested by the implemented hybridization of BCOi and CBR.

BCOc for feature selection problem. The first application of BCOc to feature selection problem in classification is proposed in [9]. The solution consists of features selected by the corresponding bee. Actually, it is represented by a binary array of length n with 1 on position i indicating that feature a_i is selected and 0 marking that the corresponding feature should be discarded. In each forward pass, bee adds a pre-specified number of randomly selected features to its current partial solution. Each solution is characterized by the fitness defined as the percentage of correctly classified objects, i.e., the ratio between the number of correctly classified objects and the total number of objects multiplied by 100. Loyalty decision in [9] is determined in the following way. Only the bees that generated solutions with fitness value larger than some threshold r are supposed to be loyal.

After all fitness values are calculated, the average of the highest and the lowest fitness values is calculated and denoted by A . In each backward pass, the value for r is selected randomly from the interval $[A - 1, A)$. The recruitment of uncommitted bees is performed in standard way. An iteration of BCOc for feature selection is completed when each bee visits all features and decides which ones are to be selected. The authors of [26] proposed the modification of original BCOc for the feature selection problem. The main goal was to reduce the influence of randomness when deciding on loyalty and recruitment. For that purpose, some heuristic rules were introduced. The modified BCOc, called weighted BCOc (wBCO) uses weights during the backward pass to increase the exploitation rate. Two types of weights are proposed for the loyalty decision: global weights (measuring the popularity of given solutions in the current iteration) and local weights (indicating the potential of selected solution for further search). In addition, during the recruitment phase the so called filtering stepwise process (divided into two filtering steps) is used. The first filtering step is based on the similarity between the solutions, while the second one relies on the solution quality. The authors claim that the proposed approach is suitable for classification and regression type problems.

Clustering of incomplete data by BCOi. Clustering of incomplete data based on the p -median classification model was considered in [8]. To avoid data imputation, a new distance function proposed in [14] was used. It is based on Hamming distance and propositional logic formulae. This distance was incorporated into the BCOi metaheuristic and evaluated on standard UCI machine learning repository. Solutions were represented by sets of K cluster representatives, the so-called *centers*. They were actually real objects attracting the closest non-centers according to the selected distance. To improve the efficiency of the proposed BCOi, a pre-processing phase was performed enabling to transform each solution in the constant number of steps. The first initial population (in the first BCOi iteration) was determined randomly. For the remaining iterations, only a half of the population was determined randomly, while $B/2$ population members were assigned the global best solution obtained in one of the previous iterations. During the forward pass, the solution transformation was performed by each bee. The transformation was defined by replacing current centers with some randomly selected non-center objects. At the beginning of iterations, the closest objects were replacing centers, while towards the end all non-center objects were considered. It was possible to leave center unchanged by selecting 0 as an index of the new non-center object. To determine the value of the objective function, each non-center object had to be assigned to the cluster represented by the nearest center and the sum of distances between the objects and the corresponding centers calculated. At the end of each forward pass, best solution held by bees was used to update the global best solution. The backward pass was implemented in standard way [7]. Experimental evaluation showed that the proposed BCOi on average performed better with respect to clustering accuracy than several methods involving learning phases. The same problem was addressed by VNS in [13] and tested on a real-life problem of clustering patients organizing in the database of autoimmune diseases from the Clinical Center of Serbia.

BCOi for 3-SAT. 3-SAT problem is a special case of SAT where clauses of CNF consist only of 3 literals. In [19] an incomplete 3-SAT solver based on BCOi metaheuristic was developed. The main characteristic of the proposed BCOi is the lack of re-initialization of the solutions at the beginning of each iteration. The initial population was determined only once, at the beginning of the first iteration. Later on, final solutions from the previous iteration become initial solutions to the next one. Solution transformation was defined by flipping values of binary variables. A new parameter NCT was introduced to determine the allowed number of flips in one forward pass. Two types of transformations were explored: Random Walk type and Walk SAT type. The first transformation takes randomly one of the unsatisfied clause and flips one of the three variables. Walk SAT transformation is more sophisticated. For each variable x from an unsatisfied clause, first the $break(x)$ is determined as the number of clauses that depend on the current value of x . Then, a variable with minimal value of $break(x)$ is selected for flipping. The main goal in [19] was to perform fine tuning of all BCOi parameters, and therefore, comparisons were performed only with Random Walk and Walk SAT algorithms (obtained by setting $B = 1$ in BCOi). The obtained results show that BCOi is able to improve the performance of Random Walk by several orders of magnitude. On the other hand, basic implementation of more sophisticated Walk SAT rules in the BCOi algorithm provide solutions of similar quality as the stand alone Walk SAT solver.

Satisfiability Problem in Probabilistic Logic: BCOi approach. The satisfiability problem with approximate conditional probabilities (CPSAT- ϵ) was considered in [28]. This problem can be transformed to a system of linear inequalities over probabilities related to literals (atoms). The objective function was defined as the measure of solution infeasibility, and the goal when solving linear system is to annulate its value to zero in order to obtain an optimal solution. For the number of inequalities L and the number of variables n holds $L \ll n$. If the considered formula can be satisfied, the solution of CPSAT- ϵ can be represented as an array containing $L + 1$ atoms $x = [a_1, a_2, \dots, a_{L+1}]$, with assigned positive probability values $p = [p_1, p_2, \dots, p_{L+1}]$. BCOi was proposed as the first metaheuristic approach to CPSAT- ϵ in [28]. At the beginning of each iteration, the initial population was composed of B random solutions. Each solution was generated by randomly selecting

$5(L+1)$ atoms with assigned initial probability equal to $1/(L+1)$. The corresponding grade of each atom (its contribution to the satisfiability of inequalities) was calculated and $(L+1)$ atoms with highest grade were included in the initial solution. In order to transform the solutions, each bee was allowed to change the subset of selected atoms or the probabilities of the existing atoms (or both). Within an iteration of BCOi, each solution was transformed NC times in the following way. First the new $L/5$ atoms with assigned probabilities $1/(L+1)$ were added to the current solution. After removing $L+1$ atoms with the lowest grade, the probabilities of all atoms were recalculated in such a way that their sum equals 1. As a part of solution transformation process, two heuristics known from the literature (worst unsatisfied projection and greedy giveaway) were applied to reduce the infeasibility of the current solution. Within the first heuristic, the most unsatisfied five rows of the linear system were "improved" by changing the probabilities. This procedure was repeated at most 5 times or as long as the improvement occurs. Within the second heuristic the difference between the worst and the best row was reduced by selecting a pair of atoms and changing their probabilities in such a way that the unsatisfiability of the worst row is improved and (at the same time) the unsatisfiability of the best row slightly decreased. The proposed approach was tested on standard benchmark examples of probabilistic formulae and it provided solutions for all satisfiable ones within very short execution time.

4. CONCLUSION

The application of Bee Colony Optimization (BCO) metaheuristic to decision making problems, such as satisfiability, clustering, and feature selection, was surveyed in this paper. The main goal was to promote this simple but powerful Swarm Intelligence optimization method among wider population of researchers, especially the ones working in Artificial Intelligence field. BCO has proven especially useful in the cases when it is necessary to degrade the solution quality in order to further improve it. Therefore, some promising AI applications may include decision making based on scheduling and graph-modeled problems.

Acknowledgement

This work has been supported by Serbian Ministry of Education, Science and Technological Development through the Serbian Academy of Sciences and Arts, Grant No. F159.

REFERENCES

- [1] Alba, E., Martí, R. (2006). Metaheuristic procedures for training neural networks. *Operations Research/Computer Science Interfaces Series*, vol. 35. Springer Science & Business Media.
- [2] Aloise, D., Deshpande, A., Hansen, P., Popat, P. (2009). NP-hardness of euclidean sum-of-squares clustering. *Machine learning*, 75(2), 245–248.
- [3] Blum, C., Puchinger, J., Raidl, G. R., Roli, A. (2011). Hybrid metaheuristics in combinatorial optimization: A survey. *Applied soft computing*, 11(6), 4135–4151.
- [4] Boughaci, D., Drias, H. (2005). Efficient and experimental meta-heuristics for MAX-SAT problems. In: *International Workshop on Experimental and Efficient Algorithms (501–512)*. LNCS, 3503, Springer, Santorini Island, Greece
- [5] Caporossi, G., Hansen, P. (2000). Variable neighborhood search for extremal graphs: 1 The AutoGraphiX system. *Discrete Mathematics*, 212(1-2), 29–44.
- [6] Caporossi, G., Cvetković, D., Rowlinson, P. (2014). Spectral Reconstruction and Isomorphism of graphs using variable neighbourhood search. *Bulletin Académie serbe des sciences et des arts. Classe des sciences mathématiques et naturelles. Sciences mathématiques*, 39, 23–38.
- [7] Davidović, T., Teodorović, D., Šelmić, M. (2015). Bee colony optimization Part I: The algorithm overview. *Yugoslav Journal of Operational Research*, 25(1), 33–56.
- [8] Davidović, T. and Glišović, N. and Rašković, M. (2018). Bee colony optimization for clustering incomplete data. In: Belim, S. et al. (eds.) *Proceedings of the School-Seminar on Optimization Problems and their Applications (OPTA-SCL 2018)*. vol. 2098. CEUR Workshop Proceedings, Omsk, Russia, 94–108.
- [9] Forsati, R., Moayedikia, A., Keikha, A. (2012). A novel approach for feature selection based on the bee colony optimization. *International Journal of Computer Applications*, 43(8), 13–16.
- [10] Garey, M.R., Johnson, D.S. (1979). *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*. New York: W. H. Freeman and Company.
- [11] Gasca, E., Sánchez, J.S., Alonso, R. (2006). Eliminating redundancy and irrelevance using a new mlp-based feature selection method. *Pattern Recognition*, 39(2), 313–315.

- [12] Gautam, C., Ravi, V. (2014). Evolving clustering based data imputation. In: IEEE International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT 2014), 1763–1769.
- [13] Glišović, N., Davidović, T., Rašković, M. (2017). Clustering when missing data by using the variable neighborhood search, (in Serbian). Proc. 44th Symposium on Operations Research, SYM-OP-IS 2017, Zlatibor, Sept. 25-28, 2017, 158-163.
- [14] Glišović, N., Rašković, M. (2017). Optimization for classifying the patients using the logic measures for missing data. Scientific Publications of the State University of Novi Pazar Series A: Applied Mathematics, Informatics and mechanics, 9(1), 91–101.
- [15] Guyon, I., Elisseeff, A. (2003). An introduction to variable and feature selection. Journal of machine learning research, 3, 1157–1182.
- [16] Hansen, P., Brimberg, J., Urošević, D., Mladenović, N. (2009). Solving large p -median clustering problems by primal–dual variable neighborhood search. Data Mining and Knowledge Discovery, 19(3), 351–375.
- [17] Hoos, H.H., Stützle, T. (2005). Stochastic local search: Foundations and applications. Amsterdam: Elsevier.
- [18] Jain, A.K. (2010). Data clustering: 50 years beyond K -means. Pattern recognition letters, 31(8), 651–666.
- [19] Jakšić Krüger, T. and Davidović, T. (2016). Analysis of the bee colony optimization method on 3-SAT problem. In: Proc. 43rd Symposium on Operations Research, SYM-OP-IS 2016, Tara, Serbia, 297–231.
- [20] Jose-Garcia, A., Gómez-Flores, W. (2016). Automatic clustering using nature-inspired metaheuristics: A survey. Applied Soft Computing, 41, 192–213.
- [21] Jovanović, D., Mladenović, N., Ognjanović, Z. (2007). Variable neighborhood search for the probabilistic satisfiability problem. In Doerner, K. F., et al., (Eds.) Metaheuristics - Progress in Complex Systems Optimization (173–188), New York: Springer, 173–188.
- [22] Lin, H.-C. Su, C.-T. (2013). A selective bayes classifier with meta-heuristics for incomplete data. Neurocomputing, 106, 95–102.
- [23] Liu, W., Wang, J. (2019). A brief survey on nature-inspired metaheuristics for feature selection in classification in this decade. In 16th IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC), 424-429.
- [24] 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, 441–445.
- [25] Marques-Silva, J. (2008). Practical applications of boolean satisfiability. In: 9th IEEE International Workshop on Discrete Event Systems, Goteborg, Sweden, 74–80.
- [26] Moayedikia, A., Jensen, R., Wiil, U.K., Forsati, R. (2015). Weighted bee colony algorithm for discrete optimization problems with application to feature selection. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 44, 153–167.
- [27] Ognjanović, Z., Midić, U., Kratica, J. (2004). A genetic algorithm for probabilistic SAT problem. In Proc. 7th International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing-ICAISC 2004, Zakopane, Poland, 462–467.
- [28] Stojanović, T., Davidović, T., Ognjanović, Z. (2015). Bee colony optimization for the satisfiability problem in probabilistic logic. Applied Soft Computing, 31, 339–347.
- [29] Sung, C.S., Jin, H.W. (2000). A tabu-search-based heuristic for clustering. Pattern Recognition, 33(5), 849–858.
- [30] Talbi, E.G. (2009). Metaheuristics: From Design to Implementation. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- [31] Teodorović, D., Šelmić, M., Mijatović-Teodorović, L. (2013). Combining case-based reasoning with bee colony optimization for dose planning in well differentiated thyroid cancer treatment. Expert Systems with Applications, 40(6), 2147–2155.
- [32] Villagra, M., Barán, B. (2007). Ant colony optimization with adaptive fitness function for satisfiability testing. In: International Workshop on Logic, Language, Information, and Computation. LNCS, 4576, Springer, Rio de Janeiro, Brazil, 352–361.
- [33] Wang, F., Sun, J. (2015). Survey on distance metric learning and dimensionality reduction in data mining. Data Mining and Knowledge Discovery, 29(2), 534–564.
- [34] Yan, Y-T., Zhang, Y-P., Zhang, Y-W., Du, X-Q. (2017). A selective neural network ensemble classification for incomplete data. International Journal of Machine Learning and Cybernetics, 8(5), 1513–1524.
- [35] Zhang, Q., Xie, Q., Wang, G. (2016). A survey on rough set theory and its applications. CAAI Transactions on Intelligence Technology, 1(4), 323–333.



EVOLUTIVNI PRISTUP REŠAVANJU DVOKRITERIJUMSKOG PROBLEMA MAKSIMALNOG POKRIVANJA LOKACIJA SA PREFERENCIJAMA KORISNIKA EVOLUTIONARY ALGORITHM APPROACH TO BI-OBJECTIVE MAXIMAL COVERING LOCATION PROBLEM WITH CUSTOMER PREFERENCES

ZORICA STANIMIROVIĆ¹, LAZAR MRKELA²

¹ Matematički fakultet-Univerzitet u Beogradu, Studentski trg 16, Beograd, Srbija, zoricast@matf.bg.ac.rs

² Fakultet za informacione tehnologije-Univerzitet Metropolitan, Tadeuša Košćuška 63, Beograd, Srbija, lazar.mrkela@metropolitan.ac.rs

Rezime: U radu je predložen dvokriterijumski problem maksimalnog pokrivanja lokacija (engl. *Maximal covering location problem, MCLP*) koji uključuje preferencije korisnika. Motivacija za uvođenje ovog problema je nalaženje balansa između potražnje pokrivenih korisnika i troškova uspostavljanja snabdevača na odabranim lokacijama, pri čemu se favorizuje da se pokriveni korisnici snabdevaju od što poželjnijih snabdevača. Razmatrane su dve funkcije cilja: prva predstavlja sumu pokrivenih potražnje korisnika sa težinskim koeficijentima određenim na osnovu preferencija korisnika, dok drugu čini ukupna cena postavljanja snabdevača. Ideja je da se korisnici sa većom potražnjom dodeljuju što poželjnijim snabdevačima, da bi se u budućnosti smanjila verovatnoća njihovog preuzimanja od strane konkurencije. U cilju efikasnog nalaženja što većeg broja kvalitetnih rešenja, problem je rešavan primenom tri evolutivna algoritma za višekriterijumsku optimizaciju koji su prilagođeni razmatranom problemu. Performanse algoritama su upoređene standardnim metrikama na skupu modifikovanih MCLP test instanci iz literature.

Gljučne reči: problem maksimalnog pokrivanja lokacija, preferencije korisnika, evolutivni algoritmi, višekriterijumska optimizacija

Abstract: This paper introduces a variant of bi-objective maximal covering location problem (MCLP) with customer preferences involved. The motivation behind is to find balance between covered demand of customers and the costs of establishing facilities, while respecting the preferences of covered customers as much as possible. Two objective functions are involved: the first objective maximizes the weighted sum of covered demands where the weights are based on customer preferences, while the second objective minimizes the costs of establishing facilities. The idea is to satisfy preferences of customers with larger demand as much as possible, so that they would not be attracted by competitors. 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 MCLP. Performances of the three MOEAs are compared by using standard performance measures on the set of modified MCLP instances.

Keywords: maximal covering location problem, customer preferences, 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 [5]. U osnovnoj varijanti MCLP, polazi se od zadatog skupa lokacija korisnika i skupa potencijalnih lokacija snabdevača, pri čemu se korisnik može snabdevati samo 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 uslova iz realnih situacija, kao što su fiksni troškovi za uspostavljanje snabdevača na svakoj od lokacija, preferencije korisnika, pretpostavke o različitim geometrijskim oblicima oblasti snabdevanja, koncept parcijalnog pokrivanja korisnika, nepouzdanost ulaznih podataka, ograničenja kapaciteta snabdevača, razmatranje više perioda, itd. Proširenja MCLP koje uključuju dve ili više funkcija cilja su takođe razmatrane u literaturi. Dvokriterijumski MCLP koji istovremeno maksimizuje sumu zahteva pokrivenih korisnika i težinsku sumu rastojanja između nepokrivenih korisnika i njima najbližih uspostavljenih snabdevača predložen je u [6]. 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 odlikavaju različite zahteve iz realnih situacija (pokrivenost korisnika, vreme opsluživanja, tehničke, organizacione, socio-ekonomske, političke zahteve, itd) predloženi su u [1, 3, 7, 19], itd. Pregled varijanti MCLP, primena i metoda za rešavanje može se naći u [11].

U ovom radu, razmatran je dvokriterijumski MCLP koji uključuje preferencije korisnika prema snabdevačima. Pretpostavlja se da je zadat skup lokacija korisnika i skup potencijalnih lokacija za uspostavljanje snabdevača (uslužnih centara). Za svakog korisnika poznat je njegov zahtev (u smislu neophodne količine robe ili usluge koju traži), kao i poželjnost snabdevanja korisnika sa svake od potencijalnih lokacija snabdevača. preferencije korisnika prema potencijalnim snabdevačima su korišćene u jednokriterijumskoj varijanti MCLP u [8]. Korisnik se smatra pokrivenim ukoliko može zadovoljiti svoje zahteve od strane bar jednog uspostavljenog centra koji se nalazi na rastojanju ne većem od unapred zadatog radijusa pokrivanja. Za svaku potencijalnu lokaciju snabdevača poznati su fiksni troškovi za njegovo uspostavljanje. Neophodno je odabrati lokacije na kojima će biti uspostavljeni snabdevači tako da se istovremeno maksimizuje težinska suma zahteva pokrivenih korisnika i minimizuju troškovi uspostavljanja snabdevača. Težine kojima se množe zahtevi pokrivenih korisnika zavise od preferencija korisnika tako da se favorizuje da korisnici sa većim zahtevima budu usluženi od što je moguće poželjnijih snabdevača. Koliko nam je poznato, ova varijanta dvokriterijumskog MCLP nije do sada razmatrana u literaturi. U cilju efikasnog rešavanja predloženog dvokriterijumskog MCLP sa preferencijama korisnika, primenjen je evolutivni pristup. Evolutivni algoritmi za višekriterijumsku optimizaciju (engl. *Multi-objective evolutionary algorithms*, MOEAs) su se pokazali uspešnim pri rešavanju različitih varijanti višekriterijumskih lokacijskih problema [4, 16, 17, 14], uključujući i višekriterijumski 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 dvokriterijumске varijante MCLP 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 korisnika koji su predstavljeni svojim lokacijama, a I skup lokacija na kojima mogu biti uspostavljeni uslužni centri (snabdevači). Neka je s_{ij} rastojanje između lokacije korisnika $j \in J$ i potencijalne lokacije snabdevača $i \in I$, pri čemu rastojanje može biti euklidsko rastojanje između dve tačke u ravni, najkraći put između dva čvora grafa u mreži, troškovi ili neophodno vreme transporta između dve lokacije (u zavisnosti od realne situacije koja se posmatra). Poluprečnik pokrivanja r predstavlja maksimalno rastojanje između lokacije korisnika j i lokacije snabdevača i , koja dozvoljava da korisnik sa lokacije j bude opslužen od strane snabdevača sa lokacije i . Korisnik se smatra pokrivenim ako postoji bar jedan uspostavljen snabdevač koji se od njega nalazi na udaljenosti ne većoj od r . Pored toga, čuvaju se dva pomoćna skupa: $I(j)$ je skup lokacija koje mogu da pokriju korisnika j , a $J(i)$ je skup svih korisnika koje može da pokrije lokacija i . Svakom korisniku $j \in J$ pridružen je pozitivan broj D_j koji označava količinu zahteva datog korisnika (broj jedinica količine robe, obim usluge, količina protoka, itd). Svako potencijalnoj lokaciji $i \in I$ pridružen je broj c_i koji predstavlja cenu uspostavljanja snabdevača. Preferencija korisnika $j \in J$ prema lokaciji $i \in I$ je označena sa $g_{ij} \in (0, 1]$. Preciznije, $g_{i_1j} > g_{i_2j}$ znači da korisnik j radije bira i_1 umesto i_2 . Skup $I(j)$ je sortiran po preferencijama strogo opadajuće, odnosno, za svakog korisnika $j \in J$, elementi $i_1, i_2, \dots, i_{|I(j)|}$ skupa $I(j)$ su takvi da važi $g_{i_1j} > g_{i_2j} > \dots > g_{i_{|I(j)|}j}$. Promenljiva $y_i, i \in I$ uzima vrednost 1 ako je na lokaciji i uspostavljen snabdevač, a 0 inače. Promenljiva $x_{ij}, j \in J, i \in I$ ima vrednost jedan ako je korisnik na lokaciji j pokriven snabdevačem na lokaciji i , a nula inače.

Koristeći gore navedenu notaciju i prateće ideje iz [8, 21], predložena varijanta MCLP može se zapisati u vidu celobrojnog linearnog programa:

$$\max F_1 = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J(i)} g_{ij} D_j x_{ij}, \quad \min F_2 = \sum_{i \in I} c_i y_i \quad (1)$$

pri ograničenjima

$$\sum_{i \in I(j)} x_{ij} \leq 1 \quad \forall j \in J, \quad (2)$$

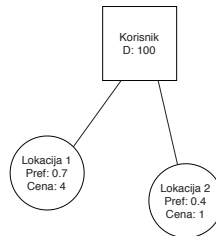
$$x_{ij} \leq y_i \quad \forall i \in I, j \in J(i), \quad (3)$$

$$\sum_{s=k+1}^{|I(j)|} x_{is,j} + y_{ik} \leq 1 \quad \forall j \in J, k \in \{1, \dots, |I(j)| - 1\}, \quad (4)$$

$$y_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in J. \quad (6)$$

Prva funkcija cilja F_1 je težinska suma ukupne pokrivenje potražnje, gde su težinski koeficijenti preferencije korisnika. Uticaj potražnje pojedinačnog korisnika D_j u sumi F_1 je veći što je preferencija ka dodeljenom snabdevaču veća. Druga funkcija cilja F_2 je minimizacija ukupnih troškova uspostavljanja snabdevača. Cilj problema (1) je maksimizovati vrednost F_1 i istovremeno minimizovati vrednost F_2 pod sledećim uslovima. Uslovi tipa (2) označavaju da svaki korisnik $j \in J$ može biti dodeljen najviše jednom snabdevaču. Korisnik $j \in J$ može biti pokriven samo lokacijom na kojoj je uspostavljen snabdevač, što je garantovano uslovima (3). Uslovi (4) obezbeđuju da svaki korisnik bude dodeljen uspostavljenom snabdevaču koji mu najviše odgovara po preferencijama. Promenljive x_{ij} i y_i , $i \in I$, $j \in J$ su binarne, što je definisano uslovima tipa (5) i (6), respektivno.



Slika 1 Ilustracija problema na jednostavnom primeru

Razmatrani dvokriterijumski MCLP je ilustrovan jednostavnim primerom na slici 1. Kvadrat označava lokaciju korisnika koji u ovom slučaju ima potražnju 100 (jedinica količine neke robe ili usluge). Postoje dve potencijalne lokacije za uspostavljanje snabdevača (lokacija 1 i lokacija 2) koje pokrivaju ovog korisnika u smislu poluprečnika pokrivanja. Preferencija korisnika ka prvoj lokaciji je 0.7, a ka drugoj 0.4. Cena otvaranja snabdevača na lokaciji 1 je 4, dok cena na lokaciji 2 iznosi 1 (u datim količinama novčanih jedinica, recimo u milionima dinara). Ukoliko snabdevača postavimo na lokaciju 1, dobijamo rešenje sa vrednostima funkcija cilja $F_1 = 70$ i $F_2 = 4$. Postavljanjem snabdevača na lokaciju 2 dobijamo $F_1 = 40$, dok je $F_2 = 1$. Ova dva rešenja predstavljaju Pareto front za ovu jednostavnu instancu, što znači da ne postoji rešenje koje dominira nad njima. Pareto front uključuje još i trivijalno rešenje gde snabdevači nisu postavljeni, a obe funkcije cilja imaju vrednost 0. Donosilac odluka može da bira jedno od ta dva rešenja u zavisnosti od toga da li mu je prioritet zadovoljenje preferencija korisnika (i potražnje) ili smanjivanje troškova.

3. EVOLUTIVNI PRISTUP REŠAVANJU DVOKRITERIJUMSKOG MCLP

U cilju rešavanja predloženog dvokriterijumskog MCLP sa preferencijama korisnika, korišćena su tri poznata evolutivna algoritma za višekriterijumsku optimizaciju:

- NSGA-II, genetski algoritam zasnovan na brzom sortiranju ne-dominiranih rešenja (engl. *Non-dominated Sorting*) sa elitizmom [9].
- SPEA-II, unapređena verzija SPEA algoritma (engl. *Strength Pareto Evolutionary Algorithm*) [20].
- ϵ -MOEA, algoritam koji koristi koncept ϵ -dominirajuće arhive (engl. *ϵ -dominance archive*) u okviru evolutivnih algoritama za višekriterijumsku optimizaciju. Algoritam efikasno vrši ažuriranje trenutne populacije, kao i arhive pronađenih rešenja [10].

Sva tri MOEA algoritma imaju istu osnovnu strukturu:

1. Inicijalizacija populacije rešenja
2. Selekcija

3. Operatori varijacije (ukrštanje i mutacija)
4. Evaluacija novih rešenja
5. Ažuriranje trenutne populacije (i arhive rešenja).

Koraci 2-5 se iterativno ponavljaju sve dok se ne ispuni zadati kriterijum zaustavljanja. Svaki od MOEA algoritama kao rezultat vraća skup svih ne-dominiranih rešenja koja su pronađena u toku izvršavanja. Detaljan opis NSGA-II, SPEA-II i ϵ -MOEA može se naći u originalnim radovima [9, 20, 10].

Implementacije NSGA-II, SPEA-II i ϵ -MOEA su prilagođene karakteristikama predložene varijante dvo-kriterijumskog MCLP. Kod sva tri MOEA, rešenje problema je predstavljeno kao binarni niz dužine $|I|$, gde svaki bit odgovara jednoj potencijalnoj lokaciji. Ako bit na poziciji i u nizu ima vrednost 1, to implicira da je na lokaciji i uspostavljen snabdevač i promenljiva y_i uzima vrednost 1. U suprotnom, nema snabdevača na lokaciji i i $y_i = 0$. U cilju efikasne evaluacije rešenja, ulazni podaci se prvo dodatno obrađuju. Za svakog korisnika j , čuva se potražnja D_j i lista potencijalnih lokacija koje ga pokrivaju $I(j)$ zajedno sa pridruženim preferencijama (težinama). Lista potencijalnih lokacija za svakog korisnika j se sortira opadajuće u odnosu na preferencije, tj. vrednosti g_{ij} , $i \in I(j)$.

Sve tri MOEA implementacije koriste istu proceduru za evaluaciju rešenja. Ukupna potražnja sa preferencijama kao težinskim koeficijentima 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 uspostavljanja snabdevača. Ove dve promenljive imaju vrednost 0 na početku procedure evaluacije rešenja. Svaki korisnik j se dodeljuje prvoj lokaciji iz liste sortiranih potencijalnih lokacija koja ima uspostavljenog snabdevača (ako takva lokacija postoji). Ako takva lokacija $i \in I(j)$ postoji, korisnik j se smatra pokrivenim i vrednost F_1 se uvećava za potražnju korisnika D_j pomnoženu sa preferencijom g_{ij} . Ako ne postoji lokacija koja pokriva korisnika j i ima uspostavljenog snabdevača, onda se korisnik j smatra nepokrivenim i vrednost promenljive F_1 ostaje nepromenjena. Na kraju, vrednost promenljive F_2 se dobija sabiranjem cena lokacija na kojima su uspostavljeni snabdevači. Procedura evaluacije rešenja prikazana je Algoritmom 1.

Algoritam 1 Evaluacija rešenja

Ulaz: skup korisnika J , skup lokacija I , rešenje y

Izlaz: F_1, F_2

```

1:  $F_1 = 0, F_2 = 0$ 
2: for each korisnik  $j \in J$  do
3:   for each lokacija  $i$  koja pokriva korisnika  $j$  do
4:     if ( $y_i = 1$ ) then
5:        $F_1 = F_1 + g_{ij} \cdot D_j$ 
6:     break
7: for each lokacija  $i \in I$  do
8:   if ( $y_i = 1$ ) then
9:      $F_2 = F_2 + c_i$ 

```

Inicijalna populacija rešenja je generisana na slučajan način kod sve tri MOEA implementacije. U toku faze selekcije koristi se binarna turnirska selekcija. Jednopoziiciono ukrštanje (engl. *one-point crossover*) se koristi za kreiranje novih rešenja (potomaka) od dva rešenja (roditelja). Kao operator mutacije, primenjena je prosta mutacija, koja sa izvesnom verovatnoćom invertuje slučajno izabrani bit (engl. *bit flipping*). Kriterijum zaustavljanja je dostignut maksimalan broj evaluacija rešenja, koji je unapred zadat.

4. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Algoritmi NSGA-II, SPEA-II i ϵ -MOEA 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 60 slučajno generisanih MCLP instanci iz [8], koje su podeljene u 6 grupa od po 10 instanci iste veličine. Veličina instance je određena brojem lokacija korisnika i brojem potencijalnih lokacija snabdevača: 225×25 , 450×50 , 675×75 , 900×100 , 1350×150 , and 1800×200 . Detaljan opis generisanja originalnih instanci dat je u [8]. Instance su proširene cenama uspostavljanja snabdevača, gde za svaku potencijalnu lokaciju cena ima slučajnu vrednost iz skupa $\{1,2,3,4\}$. Pored toga, originalne vrednosti preferencija su skalirane u interval $(0,1]$.

Kako je pravi Pareto front nepoznat, referentni skup se dobija kombinacijom Pareto frontova svih algoritama iz svih pokretanja. Za poređenje MOEA algoritama koristimo tri poznata indikatora performansi [15, 18]:

- *Hypervolume*, HV - veličina prostora rešenja kojim dominiraju rešenja iz aproksimativnog skupa;
- *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.

Kriterijum zaustavljanja je broj evaluacija rešenja koji je ograničen na 1 000 000 za sva tri MOEA algoritma. Veličina populacije je postavljena na 100 rešenja, dok je verovatnoća ukrštanja 1, a verovatnoća mutacije 0.01 kod sva tri MOEA. 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. Vrednost parametra ϵ koji se koristi u okviru kriterijuma za ϵ -dominirajuću arhivu kod ϵ -MOEA algoritma je 0.01.

Svaki algoritam je pokretan 10 puta na svakoj instanci i rezultati su prikazani u tabeli 1:. Za svaku metriku (HV, IGD, EPS+) prikazane su najmanja i najveća vrednost, kao i medijana na osnovu rezultata iz 10 pokretanja. Vrednosti prikazane u tabeli predstavljaju proseke po svakoj grupi instanci. Na isti način prikazano je i vreme potrebno za izvršavanje algoritama u koloni $t(s)$.

Tabela 1: Rezultati i poređenja NSGA-II, SPEA-II i ϵ -MOEA

Grupa		NSGA-II				SPEA-II				ϵ -MOEA			
		HV	IGD	EPS+	$t(s)$	HV	IGD	EPS+	$t(s)$	HV	IGD	EPS+	$t(s)$
225x25	Min	0.940	0.000	0.000	12.48	0.940	0.000	0.000	79.94	0.931	0.002	0.003	10.95
	Median	0.940	0.000	0.000	12.59	0.940	0.000	0.000	80.58	0.939	0.008	0.014	11.04
	Max	0.940	0.000	0.000	12.67	0.940	0.000	0.000	81.39	0.940	0.014	0.032	11.23
450x50	Min	0.961	0.000	0.000	24.78	0.961	0.000	0.000	70.85	0.903	0.012	0.043	20.76
	Median	0.961	0.000	0.000	24.90	0.961	0.000	0.000	71.42	0.920	0.015	0.062	21.02
	Max	0.961	0.000	0.001	25.15	0.961	0.001	0.003	72.19	0.936	0.018	0.082	21.38
675x75	Min	0.961	0.000	0.000	36.99	0.961	0.000	0.000	80.52	0.888	0.014	0.058	32.01
	Median	0.961	0.000	0.000	37.15	0.961	0.001	0.000	81.04	0.907	0.016	0.076	32.44
	Max	0.961	0.000	0.001	37.66	0.961	0.003	0.002	81.51	0.923	0.019	0.098	32.89
900x100	Min	0.943	0.000	0.000	47.39	0.943	0.001	0.001	89.95	0.859	0.022	0.079	41.87
	Median	0.943	0.000	0.001	47.65	0.943	0.004	0.002	90.37	0.877	0.026	0.099	42.43
	Max	0.943	0.001	0.002	48.26	0.943	0.008	0.003	91.08	0.894	0.030	0.120	43.69
1350x150	Min	0.946	0.000	0.001	71.70	0.946	0.005	0.002	113.73	0.835	0.038	0.108	62.33
	Median	0.947	0.001	0.002	72.28	0.946	0.010	0.003	114.29	0.853	0.044	0.128	63.36
	Max	0.947	0.002	0.005	74.80	0.946	0.017	0.005	115.09	0.871	0.049	0.148	66.32
1800x200	Min	0.939	0.001	0.002	93.35	0.938	0.006	0.004	134.95	0.803	0.053	0.143	82.40
	Median	0.940	0.002	0.004	94.19	0.939	0.010	0.006	135.59	0.820	0.059	0.161	83.53
	Max	0.940	0.003	0.010	96.15	0.940	0.015	0.011	136.81	0.836	0.063	0.180	84.73

Na osnovu prikazanih rezultata, može se zaključiti da su algoritmi NSGA-II i SPEA-II pokazali bolje performanse u odnosu na algoritma ϵ -MOEA. Ako posmatramo medijanu vrednosti indikatora iz 10 pokretanja i prve dve grupe instanci, NSGA-II i SPEA-II imaju iste performanse po sva tri indikatora. Na trećoj grupi (675×75) NSGA-II daje manju vrednost za IGD indikator, a na grupi instanci veličine 900×100 NSGA-II je bolji po IGD i po EPS+ indikatorima. Na ovim grupama HV indikator je isti kao i kod SPEA-II algoritma. Na najvećim grupama instanci, 1350×150 i 1800×200 , NSGA-II daje najbolje vrednosti sva tri indikatora. Pritom treba imati u vidu da je cilj povećati vrednost HV indikatora, a smanjiti vrednosti IGD i EPS+ indikatora, tj. smanjiti rastojanje od referentnog skupa. Što se tiče vremena izvršavanja, SPEA-II algoritmu je potrebno više vremena u odnosu na NSGA-II i ϵ -MOEA.

5. ZAKLJUČAK

U radu je predložena varijanta dvokriterijumskog problema maksimalnog pokrivanja lokacija (MCLP) sa preferencijama korisnika, koji za cilj ima maksimizaciju težinske sume zahteva pokrivenih korisnika sa jedne strane i minimizaciju troškova uspostavljanja snabdevača sa druge strane. Pošto su dve funkcije cilja problema međusobno suprotstavljene, postoji više rešenja, među kojima se bira najbolje u zavisnosti od primene i prioriteta onog ko odlučuje. Imajući u vidu da se evolutivni pristup pokazao uspešnim za rešavanje brojnih problema višekriterijumske optimizacije, na razmatrani problem su primenjena tri evolutivna algoritma iz literature (NSGA-II, SPEA-II i ϵ -MOEA) čije su implementacije prilagođene datom problemu. Performanse ova tri evolutivna algoritma su ispitane na modifikovanim MCLP instancama iz literature koje uključuju do 1800 lokacija korisnika i do 200 potencijalnih lokacija snabdevača. Kvalitet rešenja je upoređen korišćenjem tri indikatora performansi: HV, IGD i EPS+. Dobijeni eksperimentalni rezultati pokazuju da su sva tri evolutivna

algoritma pogodna za rešavanje predložene varijante dvokriterijumskog MCLP, jer daju rešenja dobrog kvaliteta u odnosu na tri razmatrane metrike u kratkom vremenu izvršavaju. Neki od pravaca budućeg istraživanja su: implementacija i primena drugih višekriterijumskih heurističkih metoda na predloženi problem, kao i proširenja modela u smislu uvođenja novih funkcija cilja kako bi se bolje opisala realna situacija na tržištu.

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] Atta, S., Mahapatra, P.R.S., & Mukhopadhyay, A. (2019). Multi-objective uncapacitated facility location problem with customers' preferences: Pareto-based and weighted sum ga-based approaches. *Soft Computing*, 23 (23), 12347–12362.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Church, R.L., & ReVelle, C. (1974). The maximal covering location problem. *Papers of the Regional Science Association*, 32, 101-118.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Diaz, J.A., Luna, D.E., Camacho-Vallejo, J.F., & Casas-Ramirez, 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.
- [9] 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.
- [10] Deb, K., Mohan, M., & Mishra, S. (2005). Evaluating the ϵ -domination based multi-objective evolutionary algorithm for a quick computation of Pareto-optimal solutions. *Evolutionary computation*, 13(4), 501–525.
- [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] Konstantinidis, A., & Yang, K. (2011). Multi-objective energy-efficient dense deployment in wireless sensor networks using a hybrid problem-specific MOEA/D. *Applied Soft Computing*, 11(6), 4117-4134.
- [15] Liefoghe, A., & Derbel, B. (2016). A correlation analysis of set quality indicator values in multiobjective optimization. *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO '16)*, Denver, Colorado, USA, 581–588.
- [16] 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.
- [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] 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.
- [20] 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.
- [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.



UVODNA RAZMATRANJA O EKSPERIMENTALNOJ ANALIZI STOHAŠTIČKIH OPTIMIZACIONIH ALGORITAMA

INTRODUCTORY CONSIDERATIONS ABOUT EXPERIMENTAL ANALYSIS OF STOCHASTIC OPTIMIZATION ALGORITHMS

TATJANA JAKŠIĆ KRÜGER¹, TATJANA DAVIDOVIĆ¹

¹ Matematički institut Srpske akademije nauka i umetnosti, Beograd, {tatjana,tanjad}@mi.sanu.ac.rs

Rezime: Ovaj rad je posvećen ispitivanju performansi (meta)heurističkih metoda i njihovom međusobnom poređenju. Poslednjih godina u velikom broju publikovanih radova u oblasti operacionih istraživanja su implementirane preporuke o pravilnom sprovođenju eksperimenata radi utvrđivanja efikasnosti predloženih (meta)heurističkih metoda. Najveći uticaj došao je iz oblasti primenjene statistike i mašinskog učenja, te danas imamo listu pravila koje istraživači treba da poštuju pre publikovanja radova. Istraživači su danas suočeni sa rigoroznijom metodologijom rada, a eksperimentalni radovi su sve zahtevniji. Ovim radom želimo da doprinesemo daljem usmeravanju pažnje na aktuelnosti iz oblasti eksperimentalne analize metaheurističkih metoda.

Ključne reči: Stohastički algoritmi, metodologija istraživanja, statistika, planiranje eksperimenata

Abstract: The paper describes standard methodology for investigation of (meta)heuristic methods and their comparisons. Recently, a large body of papers in OR has implemented some of the recommendations for valid experimental analysis of presented (meta)heuristic methods. The largest influence comes from the applied statistics and machine learning, thus, we are able to infer a list of rules which should be followed before publishing. Researches are faced with rigorous requirements related to the experimental methodology. We aim to point out the importance of comprehensive methodology and its implementation in the research work.

Keywords: Stochastic algorithms, research methodology, statistics, design of experiments.

1. UVOD

Tema ovog rada je pregled literature i uvod u sistematizaciju izvršavanja eksperimentalne analize performansi metaheurističkih metoda i njihovog međusobnog poređenja (*eng.* benchmarking). Računarski eksperimenti su postali neophodni kod istraživanja algoritama. Naime, izučavanje najgoreg i očekivanog slučaja u teoriji složenosti izračunavanja nije dovoljno da se izvedu predikcije za različite klase problema, pa čak i različite instance problema [Ognjanović and Krdžavac, 2004]. Moramo se suočiti sa time da je izučavanje formalnih sistema često poželjno sprovesti empirijskim (eksperimentalnim) putem [Hooker, 1994]. Zahvaljujući razvoju različitih grana matematike i računarstva (pre svega mašinskom učenju), istraživači u oblasti operacionih istraživanja imaju na raspolaganju bogatu literaturu o pravilnoj primeni strategija eksperimentalne analize na (meta)heurističke (MH) metode. U novije vreme se od istraživača očekuje da opišu i razjasne strukture predloženih implementacija metoda, počev od izabranih vrednosti parametara. Svaka konkretna implementacija MH metode predstavlja jedan stohastički algoritam čiju efikasnost je potrebno utvrditi i uporediti sa nekim drugim algoritmima.

Sve češće se susrećemo sa zahtevima za primenu metode *planiranja eksperimenata* (Design of Experiments-DOE) [Montgomery, 2001]. Osnova ovog zahteva je da se konkretan stohastički algoritam, predložen za rešavanje odgovarajućeg problema optimizacije, ispita tako da se rezultati mogu reprodukovati na istom ili drugačijem računarskom sistemu, od strane istih ili drugih istraživača. Implementacije MH metoda uglavnom zahtevaju nameštanje većeg ili manjeg broja parametara radi što boljih performansi tokom izvršavanja. Nameštanje (*tuning*) parametara dobijenog stohastičkog algoritma se može sprovesti raznim metodama, pri čemu su DOE postale standard u literaturi.

Čiljeve eksperimentalne analize MH metoda možemo razvrstati u dve kategorije: (1) razumevanje implementiranih algoritama i njihovih performansi, (2) poređenje sa implementacijama drugih MH metoda (*benchmarking*). Pod razumevanjem se podrazumeva eksperimentalno izučavanje osetljivosti algoritma na izmene njegovih modula ili vrednosti parametara (*parameter tuning* i *sensitivity analysis*). Metodologija ispitivanja je slična za

obe kategorije, i zato ćemo se truditi da ukažemo i na njihove razlike. U ovom radu se fokusiramo na probleme sa jednom funkcijom cilja, ali naša razmatranja se mogu iskoristiti kod višekriterijumske analize. Skrećemo pažnju da kod metaheuristika pitanje o konvergenciji ka optimalnom rešenju nije suštinsko, već se odnosi na trošenje računarskih resursa radi generisanja dovoljno dobrog (suboptimalnog) rešenja [Gutjahr, 2010].

Rad se sastoji od 5 odeljaka. Drugi odeljak daje pregled radova važnih za eksperimentalna izučavanja u računarstvu. Odeljak 3 opisuje metodologiju rada i definicije relevantne kod prijavljivanja rezultata. Odeljak 4 sadrži istraživačke korake neopohodne pre publikovanja rada. Lista koraka data u literaturi je vrlo iscrpna i potrudili smo se da apsolutnom početniku predočimo najnužnije stavke. Zaključne napomene date su u odeljku 5.

2. PREGLED LITERATURE

Istorijski gledano, heurističke metode optimizacije su predlagane da bi se što brže generisala dobra (suboptimalna) rešenja postavljenog optimizacionog problema. Za NP-teške probleme uspešno su razvijene razne MH metode. U neretkim slučajevima nije bilo bitno da li se rešenje može ponoviti, dok god je bilo "najbolje izloženo u javnosti". Kao rezultat, istraživači su najčešće prijavljivali samo najbolje rešenje i vreme za koje je ono generisano. Problem sa ovim pristupom je neponovljivost istog rezultata MH metodom, čak i na istom računarskom sistemu. Takođe, u literaturi se predložena implementacija često opiše samo kroz listu glavnih karakteristika, bez predstavljanja celog kôda. S obzirom na to da je ponašanje rezultujućeg algoritma stohastičko, čak i kada je kôd javno dostupan pitanje je za koje seme (*seed*) je generisano dato rešenje.

U prethodnih 30 godina nekoliko istraživača pokušava da skrene pažnju na postojeće principe istraživanja kod MH metoda. U nastavku izdvajamo njihove radove, kritike i predloge koji su doprineli sistematizaciji analize MH metoda, predstavljanju rezultata, ispitivanju i poređenju njihovih performansi. Pregled je dat hronološki.

Počecemo od [McGeoch, 1987, McGeoch, 1996] koja je doprinela razvijanju oblasti, poznate danas kao *eksperimentalna algoritmika* (eng. experimental algorithmics). Koncept ove discipline je da se ustanove i standardizuju statističke i eksperimentalne tehnike radi objektivne analize stohastičkih algoritama [McGeoch, 2012]. U [McGeoch, 1996] se ističe ispitivanje algoritama radi njihovog sveobuhvatnog razumevanja. Poruka rada je da analiza algoritma podrazumeva mnogo više od izbora adekvatne mere performansi ili pogodne klase instanci problema. Naime, prvi korak je modeliranje ili *simuliranje algoritma* koji će se izvršavati u realnim situacijama. Simulacija proističe kao posledica osetljivosti algoritma na karakteristike instanci problema, uticaj strukture podataka na brzinu izvršavanja, izbor računarskog sistema itd. Već sada možemo da vidimo da je eksperimentalna studija MH metoda zahtevnija od studije egzaktnih algoritama optimizacije.

U [Hooker, 1994] se naglašava važnost empirijske metodologije kod proučavanja MH metoda. Kao i mnogi drugi, autor je prepoznao da analiza najgoreg i očekivanog slučaja nisu dovoljni da se predvidi kako će se odgovarajući algoritam ponašati nad realnim test instancama. U radu se predlaže da se često zastupljeno *takmičarsko testiranje* (eng. *competitive testing*), gde jedan algoritam pobeđuje drugi generisanjem boljeg rešenja za kraće vreme, zameni sa *kontrolisanim eksperimentom* (eng. *controlled experiment*). Zapravo, metodama eksperimentalne algoritmike možemo da ukažemo na značajnu vezu između performansi algoritma i određenih karakteristika problema. Međutim, karakteristike problema koje utiču na težinu rešavanja nisu lake za uočavanje. Pored očiglednih razlika računarskih sistema, na negativne strane takmičarskog testiranja utiču i razlike u stilu programiranja, nameštanju parametara i uloženom trudu.

Rad [Barr et al., 1995] je možda najuticajniji na temu eksperimentalne analize MH metoda. U radu su date smernice za ispitivanje i prijavljivanje rezultata računarskih eksperimenata sprovedenih nad implementacijama MH metoda. Uspostavljena je terminologija koju je usvojila šira naučna zajednica.

Kritički osvrt na eksperimentalno istraživanje u evolutivnom računarstvu (*evolutionary computation*, EC), podjednako je primenljiv na sve MH metode dat je u radu [Eiben and Jelasity, 2002]. Autori analiziraju poređenje implemetiranih stohastičkih algoritama na čitavim klasama problema i ističu značaj pravilnog izbora skupa test instanci. Naime, klasa problema ne bi trebalo da je previše uopštena ili specifična. Opštost klase problema mora da odgovara cilju istraživanja, odnosno, da omogućiti uočavanje i opisivanje razlika između uporednih algoritama ili varijanti jednog algoritma. Tako na primer, ukoliko istaknemo da je problem NP-težak, odrednica je isuviše uopštena i nedostaju informacije o strukturi samog problema. Slično je ako navedemo da se bavimo problemom raspoređivanja jer je ovo izuzetno široka klasa problema. Takođe, instance jedne klase problema bi trebalo da se znatno razlikuju, ali da sadrže neku zajedničku karakteristiku. Na ovaj način već možemo da okarakterišemo kao kvalitetan algoritam onaj koji ne pokazuje značajno različito ponašanje na primerima unutar razmatrane klase. U [Eiben and Jelasity, 2002] autori predlažu da se kod nameštanja parametara algoritma koristi pristup sličan kao kod mašinskog učenja. Naime, da bismo generisali povoljnu konfiguraciju parametara razmatranog algoritma, iz klase problema *C* izaberemo skup instanci za *treniranje*. Da bismo uporedili različite algoritme koristi se *skup za testiranje*. U radu možemo da nađemo i vrlo korisnu diskusiju oko uticaja ciljeva

istraživanja na izbor mere performansi MH metode. Naime, često u praksi imamo jedan od dva scenarija: 1. dato je dovoljno vremena da ponovimo izvršavanja (dane ili nedelje) ali nas interesuje najbolje rešenje, 2. možemo algoritam da izvršimo samo jednom. U prvom slučaju performanse algoritma procenjujemo upotrebom najboljih rešenja generisanih za predefinisano vreme ili broj evaluacija. Međutim, ukoliko nam je potreban algoritam koji ćemo u praksi pustiti jednom, preporučljivo je upotrebiti srednji kvalitet rešenja. Zato je interesantno da, dok se prvi scenario češće dešava u praksi, istraživači češće prijavljuju aritmetičku sredinu. Međutim, skrećemo pažnju da kod nameštanja parametara algoritma imamo daleko veći izbor za mere performansi.

U radu [Czarn et al., 2004] autori su identifikovali tri bitne faze kod izvođenja empirijske analize GA: kontrolisanje slučajnog semena (eng. blocking for seed), određivanje snage testa (eng. calculating power) i analiza krive rezultata. Predložene faze su nezavisne od GA strukture i lako se izvode za sve tipove MH metoda. Zaključak rada je snažna preporuka za primenu statistike kod razumevanja prirode parametara MH metode i njihovih interakcija, pre svega između karakteristika instanci problema i kvaliteta rezultata. Zbog bogatstva literature i nedostatka prostora, pregled završavamo ovde, a zainteresovane čitaoce upućujemo na noviju literaturu [Eiben and Smit, 2011, Kendall et al., 2016, Beiranvand et al., 2017, Bartz-Beielstein et al., 2020].

3. DEFINICIJE I METODOLOGIJA

Kod *računarskog testiranja* algoritma, *eksperiment* se sastoji od rešavanja niza instanci problema (primera) pod kontrolisanim uslovima. Faktori su bilo koje promenljive koje možemo kontrolisati, a koje utiču na ishod eksperimenta. Kod MH metoda, to su izbor problema, implementacija, računarsko okruženje, izbor mere performansi, izbor parametara i prijavljivanje rezultata. Svaki od ovih faktora može da ima značajan uticaj na ishod eksperimenta. Zbog toga je bitno da se uspostavi što objektivniji način analize, što je omogućeno ukoliko se koristi planiranje eksperimenata.

MH metode su popularne kao alat koji brzo generiše rešenja visokog kvaliteta. Njihova prednost je mogućnost primene na različite klase problema. Zato je važno da se prilikom eksperimentalne analize pokažu osobine kao što su: preciznost, jednostavnost, inovativnost, brzina, robusnost i uopštenitost [Barr et al., 1995]. U novijoj literaturi sve je više radova o izučavanju različitih aspekata performansi implementacija ponuđene ili postojeće MH metode. Ovo je nastalo kao posledica loše prakse gde se za poređenje koristi isključivo jedna mera performansi, kao što je *najbolje rešenje* (eng. best solution, x_b), *najgore rešenje* (eng. worst solution, x_w), ili *usrednjeno rešenje* (eng. average solution, \bar{x}). Međutim, postoje i drugi parametri koji su podjednako bitni da bismo ustanovili objektivan prikaz implementacije neke metode ili izvršili fer poređenje. Iz literature izdvajamo tri bitna pitanja:

- Izbor mere performansi,
- Izbor i opis problema i instanci problema,
- Ispitivanje metode i njenih implementacija.

Ova tri pitanja su međusobno povezana tokom naše analize. Kod ispitivanja rezultujućeg algoritma, jednostavnost i preciznost su prioritet [McGeoch, 2012]. Krajnji cilj je razviti algoritam koji će efikasno rešavati instance jedne klase problema, što nas upućuje na njihov pravilan izbor, kao i izbor parametara, pa time i na odgovarajuće mere performansi. Takođe je važno da instance problema budu reprezentativne za svoju klasu problema, kako bismo osnažili jačinu naših argumenata. Drugi važan cilj je *robustnost* algoritma, pri čemu mislimo na što manju varijabilnost rezultata izazvanu promenama: vrednosti za seme, parametara i izbora instance problema [Eiben and Smit, 2011]. Ukoliko algoritam pokazuje veliku varijabilnost za različite vrednosti semena, onda je preporučljivo korigovati odgovarajuće segmente kôda.

Mere performansi svrstavaju se u dve grupe, one koje utiču na *efektivnost* i na *efikasnost* algoritma [Jakšić Krüger, 2017]. Pod efektivnošću se podrazumeva sakupljanje podataka o kvalitetu rešenja u zadatim vremenskim okvirima (ili za maksimalni broj evaluacija). U tom slučaju se opisu performansi algoritma pridodaje statistika kao što su mera centralne tendencije i varijabiliteta. Poznate mere efektivnosti su aritmetička sredina i standardna devijacija, odnosno, medijana i razmak varijacije.

Ukoliko želimo da saznamo koliko je vremena ili iteracija potrebno da algoritam pronađe neko unapred zadato (sub)optimalno rešenje, tada izučavamo njegovu efikasnost. Mera efikasnosti koja se najčešće koristi je *dužina rada* (eng. run-length). Ona predstavlja dužinu izvršavanja, mereno vremenom ili brojem diskretnih koraka (kao što su iteracija ili evaluacija), potrebnog da se generiše rešenje jednako ili kvalitetnije od nekog unapred zadatog rešenja [Hoos and Stützle, 2007]. Međutim, analiza dužinom rada nije uvek moguća. Naime, ukoliko je problem takav da algoritam ne može da ispuni dato ograničenje onda je preporučljivo koristiti mere centralne tendencije [Eiben and Jeliasity, 2002]. U tom slučaju se preporučuje statistička deskriptivna analiza, odnosno, pored vrednosti funkcije cilja za x_b , x_w i \bar{x} , koriste se grafički prikazi kao što su box-plot, histogram ili kriva rezultata. Za to nam mogu pomoći gotovi softverski paketi za analizu podataka (R, SPSS, Excel).

Analiza performansi algoritamske implementacije MH metode se može vršiti na dva načina, grafički i statistički. Grafička analiza se oslanja na vizualne prikaze kojima dobijenu reprezentativnu vrednost (ili krivu) možemo uporediti sa drugom da bi se ustanovila dominacija jedne implementacije u odnosu na drugu [Hoos and Stützle, 2007]. Statistička analiza uglavnom podrazumeva primenu nekog statističkog testa (parametarskog ili neparametarskog) nad uzorcima dobijenim izvršavanjima odgovarajućeg algoritma za različita semena [Bartz-Beielstein et al., 2020]. Ukoliko ti uzorci imaju Gausovu raspodelu, primenjuju se parametarski testovi, u suprotnom treba koristiti neparametarske. Pravi izbor statističkog testa zavisi i od veličine uzoraka, zavisnosti između podataka, tipa podataka, itd. Vizualizacija rezultata se može iskoristiti i da bi se utvrdilo da li važi normalna raspodela rezultata izvršavanja, što pomaže prilikom izbora pravilnog statističkog testa. Literatura je danas bogata radovima o automatizaciji nameštanja parametara. Izdvojicemo PARAMLS, *F-Race (irace)*, SPO i SMAC kao gotova softverska rešenja koja se često primenjuju [Eiben and Smit, 2011].

Iste mere se mogu primeniti i prilikom poređenja implementacija više različitih metoda, ali se tada može pojaviti problem različitih računarskih sistema, nedostajanja adekvatnih podataka za poređenje, itd. Prema savetima iz eksperimentalne algoritmičke, poređenja bi trebalo izvršavati na istom računarskom sistemu [McGeoch, 2012]. U najgorem slučaju, ukoliko nije moguće reprodukovati program, očekuje se poređenje sa nekom od standardnih tehnika kao što su greedy search ili local search [Barr et al., 1995]. Prilikom implementacije MH metoda postoji više stvari o kojima moramo voditi računa. Počnimo od primedbe da razni implementacioni trikovi mogu da utiču na performanse više nego same algoritamske modifikacije [McGeoch, 1996]. Zapravo, govorimo o određenim nivoima specifikacije neke metode (eng. instantiation). Na primer, VNS metoda je minimalno specifikiran algoritam, te mnogi detalji mogu uticati na performanse implementacije, npr. tipovi struktura podataka. Zato se preporučuje da se, kad god je to moguće, kôd učini javno dostupnim ili navede što više specifikacija.

Osobine koje analiza nekog stohastičkog algoritma mora da zadovolji su *postojanost*, *ponovljivost* i *reproducibilnost* izvršavanja [Bartz-Beielstein et al., 2020]. Sve tri reči na srpskom su sinonimi, ali ćemo ih iskoristiti radi uvođenja tri važna koncepta istraživanja. Ovi izrazi su izvedeni od engleskih izraza *repeatability*, *replicability* i *reproducibility* i predstavila ih je ACM zajednica (Association for Computing Machinery) (<https://www.acm.org/publications/policies/artifact-review-badging>). Postojanost rezultata kod izvršavanja algoritma podrazumeva smernicu "isti tim, isto eksperimentalno okruženje". Pod ovim smatramo da istraživač može uvek da generiše identične rezultate i zaključke svog istraživanja, pod uslovom da koristi jedan računarski sistem. Ukoliko drugi istraživač može da ponovi rezultate i zaključke na istom računarskom sistemu, to nazivamo ponovljivošću. Konačno, cilj svakog istraživanja i opisa rezultata je da bilo ko može da proizvede identične rezultate potpuno nezavisno od računarskog okruženja. Ovo nazivamo reproducibilnost, a naziv je rezervisan za najopštniju grupu ciljeva istraživanja jer je dugo u upotrebi.

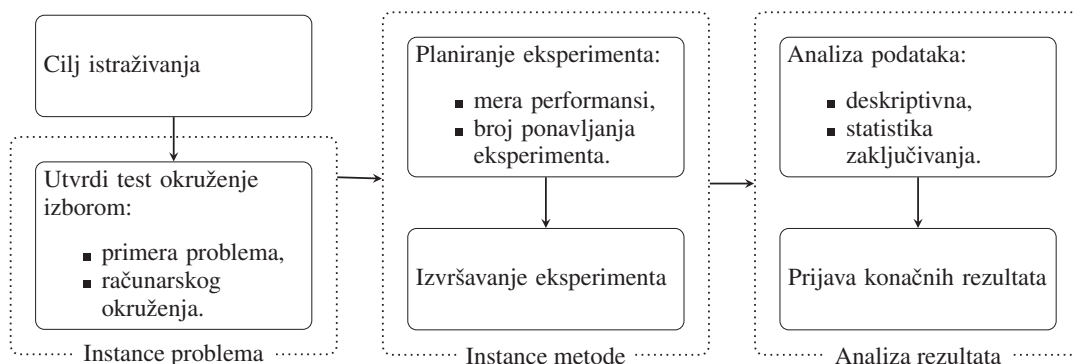
4. PLANIRANJE EKSPERIMENTATA KOD MH METODA

U ovom odeljku želimo da iznesemo nekoliko predloga za objektivno istraživanje implementacija MH metoda sažetih u diagramu predstavljenom na Sl. 1. Da bismo pristupili eksperimentalnoj analizi, od izuzetnog je značaja uspostaviti pravilne ciljeve ispitivanja, a ovo je praktičnije formulisati kao istraživačko pitanje. Napominjemo da se ovde ne bavimo početnim fazama dizajniranja programa, već isključivo kasnijim, odnosno, jednom kada smo kompletirali program, šta je sledeće?

Istraživači koji zagovaraju kontrolisane eksperimente smatraju da je potrebno uložiti neko vreme u analizu instanci problema. Izbor instanci problema i njihovo analiziranje često je subjektivno. Kada smo u mogućnosti da se opredelimo za neki skup instanci problema, važno je raditi sa primerima čije su težine raznovrsne, a optimalno (najbolje poznato) rešenje dato [Beiranvand et al., 2017]. U [Bartz-Beielstein et al., 2020] je predloženo kako najbolje proceniti kvalitet skupa instanci problema.

Početna faza istraživanja je često pilot studija. Ne znajući sa čime se susreću i sa željom da sakupe što više podataka istraživači koriste ili ceo tok istraživanja opisan na Sl. 1 ili nisu toliko restriktivni. Naime, ukoliko primetimo veliku varijabilnost u kvalitetu rešenja za jednu klasu problema, poželjno je utvrditi da li i koje karakteristike kod instanci problema dovode do ovakvih rezultata. Cilj je grupisati one instance problema koje su iste težine za posmatrani algoritam.

Uglavnom se podrazumeva da se ispitivanje parametara i poređenje različitih varijanti implementacije MH metode, vrši na istom računarskom sistemu, te da sve procese možemo da kontrolišemo. Na taj način smo u mogućnosti da kontrolišemo najvažnijih faktor koji podstiče nasumičnost kod rezultujućih algoritama: seme generatora slučajnih brojeva. Ovaj parametar iziskuje da njegovom promenom ne možemo predvideti ishod izvršavanja. Kod eksperimentalne statističke analize, seme predstavlja smetnju (eng. nuisance) jer nije tema eksperimenta [Montgomery, 2001, Czarn et al., 2004]. Zato je prihvatljivo da ga kontrolišemo kako bismo doprineli postojanosti pa i reproducibilnosti rezultata [Jakšić Krüger, 2017]. U [Rardin and Uzsoy, 2001]



Slika 1 Opis toka eksperimentalne analize implementacije MH metoda.

autori preporučuju da algoritme koje poredimo izvršimo nad istim skupom instanci bez obzira na preporuke eksperimentalne statistike da se sve što se ne kontroliše eksplicitno bira nasumice.

U drugoj fazi istraživanja potrebno je izvršiti planiranje eksperimenta (Sl. 1). Izbor mere performansi se oslanja na istraživačka pitanja. Na primer [Beiranvand et al., 2017], da li nam je važnije da algoritam rešava svaku instancu problema ili želimo najbolje srednje vreme rada? Kroz fazu nameštanja parametara moramo da prođemo i kada vršimo analizu implementacije jedne MH metode i kada poredimo različite metode. Međutim, mera performansi i broj ponavljanja eksperimenta zavise od toga šta radimo. U slučaju da nameštamo parametre, moguće je koristiti metode statističkog zaključivanja i broj ponavljanja mora biti bar 100 [Beiranvand et al., 2017]. Međutim, u slučaju da poredimo različite metode, primenjuju se mere efikasnosti, a dovoljno je 20 ponavljanja. Ukoliko podaci dolaze sa različitih računarskih sistema, potrebno je izvršiti odgovarajuće skaliranje.

U trećoj fazi pokušavamo da odgovorimo na postavljeno istraživačko pitanje. Grafički prikaz u ovoj fazi istraživanja može da nam ukaže na moguću interakciju između parametara metode ili na apsolutnu dominaciju jedne metode nad drugom sa kojom se poredi (ukoliko to postoji). Jedan od načina da izbegnemo subjektivno donošenje odluka je primena statističkih alata deskriptivne i statistike zaključivanja. Kod poređenja para ili više uzoraka rezultata, cilj je da formulišemo nultu hipotezu H_0 našeg istraživanja (npr. dve metode su generisale identične srednje vrednosti). Ideja je da se izabranim statističkim testom izneta hipoteza opovrgne, pri čemu alternativna (H_1) odražava naše očekivanje. Pre sprovođenja testa, potrebno je odrediti prag osetljivosti α (najčešće ima vrednost 0.05) koji predstavlja gornju granicu za traženu p -vrednost datog statističkog testa. Ukoliko je $p < \alpha$, H_0 može da se odbaci odnosno imamo dovoljno dokaza koji idu u prilog H_1 . U suprotnom, nemamo dovoljno dokaza da odbacimo hipotezu H_0 . Za statistički značajno različite uzorke se predlaže *post-hoc* analiza. Za višestruka poređenja ovo znači detekciju parova koji su proizveli malo p . Takođe, izuzetno je bitno iskoristiti mere *veličina efekta* i *interval pouzdanosti* [Tenjović and Smederevac, 2011]. U tom slučaju možemo se poslužiti Kohenovom tabelom da zaključimo da li su razlike male, srednje ili velike [Sheskin, 2004]. Preporučujemo upoznavanje sa novijim tumačenjem p -vrednosti u [Wasserstein and Lazar, 2016] jer se ustaljena praksa prijavljivanja isključivo p -vrednosti promenila u literaturi [Benjamin and Berger, 2019].

Kod analize rezultata (Sl. 1), zaključci našeg istraživanja treba da daju odgovore na polazna istraživačka pitanja, kao što je pronalaženje najbolje konfiguracije parametara ili identifikacija metode sa najboljim performansama. Međutim, sa stanovišta reproducibilnosti važno je da u radovima iznosimo što više informacija o sprovedenim eksperimentima sa ciljem postojanosti naših tvrdnji i rezultata. Takođe, o nekim pitanjima ne razmišljamo a u stvari su vrlo bitna da se utvrdi robustnost metode. Na primer, želimo da istaknemo performanse metode kao funkciju promene dimenzije problema.

5. ZAKLJUČAK

U radu smo analizirali korake sa kojima bi, po našem mišljenju, trebalo da se najčešće susrećemo prilikom razvoja MH metoda za rešavanja optimizacionih problema. Najčešća zamerka kod starih radova je nedovršen dokaz za dominantnost jedne metode nad drugom, kao i nedovoljno obrazložen kvalitet izabranih vrednosti parametara metode. Pod kvalitetnim vrednostima parametara metode podrazumevamo one vrednosti koje će, u srednjem, generisati dobra rešenja za različite instance razmatranog problema. S druge strane, kada se poredimo sa drugom metodom, ovde nije nužno upotrebiti veliki broj instanci. Naprotiv, često se (meta)heuristike poredi

na industrijskim, odnosno, realnim primerima. Znači, vidimo da uopšten skup pravila kod eksperimentalne analize nije jednostavan i sveobuhvatan, te zato u literaturi imamo često opisane standarde za različite slučajeve. Naravno, postoje mnogi scenariji koje nismo pokrili. Smatramo da je pitanje sistematizacije eksperimentalne analize MH metoda još uvek otvoreno i da predstavlja plodno istraživačko polje za budući rad.

Napomena. Ovaj rad je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije preko Matematičkog instituta SANU.

LITERATURA

- [1] Barr, R. S., Golden, B. L., Kelly, J. P., Resende, M. G. C., and Stewart Jr., W. R. (1995). Designing and reporting on computational experiments with heuristic methods. *Journal of Heuristics*, 1(1):9–32.
- [2] Bartz-Beielstein, T., Doerr, C., Bossek, J., Chandrasekaran, S., Eftimov, T., Fischbach, A., Kerschke, P., López-Ibáñez, M., Malan, K. M., Moore, J. H., et al. (2020). Benchmarking in optimization: Best practice and open issues. arXiv, cs.NE, 2007.03488.
- [3] Beiranvand, V., Hare, W., and Lucet, Y. (2017). Best practices for comparing optimization algorithms. *Optimization and Engineering*, 18(4):815–848.
- [4] Benjamin, D. J. and Berger, J. O. (2019). Three recommendations for improving the use of p-values. *The American Statistician*, 73(sup1):186–191.
- [5] Czarn, A., MacNish, C., Vijayan, K., Turlach, B., and Gupta, R. (2004). Statistical exploratory analysis of genetic algorithms. *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on*, 8(4):405–421.
- [6] Eiben, A. E. and Jelasity, M. (2002). A critical note on experimental research methodology in ec. In *Proceedings of the 2002 Congress on Evolutionary Computation (CEC'2002)*, volume 1, pages 582–587.
- [7] Eiben, A. E. and Smit, S. K. (2011). Parameter tuning for configuring and analyzing evolutionary algorithms. *Swarm and Evolutionary Computation*, 1(1):19–31.
- [8] Gutjahr, W. J. (2010). Stochastic search in metaheuristics. In *Handbook of Metaheuristics*, pages 573–597. Springer.
- [9] Hooker, J. N. (1994). Needed: An empirical science of algorithms. *Operations Research*, 42(2):201–212.
- [10] Hoos, H. H. and Stützle, T. (2007). Empirical analysis of randomized algorithms. *Handbook of Approximation Algorithms and Metaheuristics*.
- [11] Jakšić Krüger, T. (2017). *Development, implementation and theoretical analysis of the bee colony optimization meta-heuristic method*. PhD thesis, Fakultet tehničkih nauke, Univerzitet u Novom Sadu. advisers prof. dr. Tatjana Davidović.
- [12] Kendall, G., Bai, R., Błazewicz, J., De Causmaecker, P., Gendreau, M., John, R., Li, J., McCollum, B., Pesch, E., Qu, R., et al. (2016). Good laboratory practice for optimization research. *Journal of the Operational Research Society*, 67(4):676–689.
- [13] McGeoch, C. C. (1987). *Experimental Analysis of Algorithms*. PhD thesis, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh. Adviser prof. Dr. Jon Bentley.
- [14] McGeoch, C. C. (1996). Toward an experimental method for algorithm simulation. *Journal on Computing*, 8(1):1–15.
- [15] McGeoch, C. C. (2012). *A guide to experimental algorithmics*. Cambridge University Press.
- [16] Montgomery, D. C. (2001). *Design and analysis of experiments*. John Wiley & Sons.
- [17] Ognjanović, Z. and Krdžavac, N. (2004). *Uvod u teorijsko računarstvo*. Beograd-Kragujevac.
- [18] Rardin, R. L. and Uzsoy, R. (2001). Experimental evaluation of heuristic optimization algorithms: A tutorial. *Journal of Heuristics*, 7(3):261–304.
- [19] Sheskin, D. J. (2004). *Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures*. Chapman & Hall/CRC.
- [20] Tenjović, L. and Smederevac, S. (2011). Mala reforma u statističkoj analizi podataka u psihologiji: malo p nije dovoljno, potrebna je i veličina efekta. *Primenjena psihologija*, 4(4):317–333.
- [21] Wasserstein, R. L. and Lazar, N. A. (2016). The asa statement on p-values: context, process, and purpose.

Informacioni sistemi i tehnologije

*Information Systems and
Technologies*



ARHITEKTURA POSLOVNE INTELIGENCIJE I NJEN RAZVOJ

BUSINESS INTELLIGENCE ARCHITECTURE AND ITS DEVELOPMENT

TEODORA IVANOVIĆ¹

¹Student doktorskih studija Ekonomskog fakultet u Subotici, Subotica, Republika Srbija, ivanovictedora@gmail.com

Rezime: Poslovna inteligencija predstavlja kombinaciju tehnologija, strategija, alata koje kompanije koriste za analizu poslovnih podataka kako bi na što efikasniji način donosile poslovne odluke. Način funkcionisanja ove tehnologije se vremenom razvijao u skladu sa potrebama tržišta. Postoje dva nivoa razvoja poslovne inteligencije: tradicionalni i samouslužni (self-service). Autor rada će na osnovu pregleda stručne literature pokušati da odgovori na pitanje da li postoji razlika u arhitekturi između prethodna dva navedena nivoa razvoja ove tehnologije. Odgovori će biti obrazloženi kroz uporedni prikaz načina funkcionisanja tradicionalne i samouslužne poslovne inteligencije. Kompanije da bi opstale na tržištu u vreme nestabilne globalne ekonomije koriste mogućnosti poslovne inteligencije kao i sve benefite koje ona donosi.

Cljučne reči: poslovna inteligencija, arhitektura poslovne inteligencije, obrada podataka, analiza podataka

Abstract: Business intelligence present a combination of technologies, strategies, tools that companies use to analyse business data to make business decisions as efficiently as possible. The way these technology works has evolved in line with market needs. There are two levels of business intelligence development: traditional and self-service. Based on a review of the professional literature, the author will try to answer the question of whether there is a difference in architecture between the previous two levels of development of this technology. The answers will be explained through a comparative presentation of the way traditional and self-service business intelligence works. To survive in an unstable global economy, companies use the capabilities of business intelligence as well as all the benefits it brings.

Keywords: business intelligence, business intelligence architecture, data processing, data analysis

1. UVOD

Promene koje se dešavaju na tržištu su prisilile kompanije da potpuno promene svoj način poslovanja. Korporacije da bi opstale na tržištu koriste savremene digitalne tehnologije kojima pokušavaju da zadrže svoje mesto pre nego što zaostanu za inovativnim i digitalno usmerenim konkurentima. Donošenje odluka na osnovu netačnih ili nepotpunih informacija nije više dozvoljeno jer je gotovo neizvodljiv povratak na tržište nakon pogrešnih odluka. Ovaj problem modernog tržišta se može izbeći. Poslovna inteligencija je jedna od ključnih strategija koja rešava prethodni problem i čije su glavne prednosti: brže donošenje kvalitetnih odluka, smanjeni troškovi, povećana dobit i efikasnost.

Način funkcionisanja poslovne inteligencije se vremenom razvijao zbog čega postoje dva nivoa razvijenosti ove tehnologije. Tradicionalna poslovna inteligencija pruža poslovne podatke u vidu statičkih izveštaja koje uglavnom razumeju samo IT stručnjaci ili analitičari poslovnih podataka. Ovakav način analize podataka zahteva određene vremenske i finansijske resurse. Iz ovih razloga tradicionalna poslovna inteligencija je manje efikasna u upravljanju velikim količinama podataka u odnosu na samouslužnu. Samouslužna - je sinonim koji najbolje objašnjava savremenu poslovnu inteligenciju. Uz pomoć alata ove tehnologije korisnici, koji nisu IT stručnjaci, mogu da istražuju podatke na brz, jednostavan i razumljiv način. Više nije potrebno da se čeka određeno vreme za izradu izveštaja, oni su odmah dostupni svim korisnicima u kompaniji. Samouslužna poslovna inteligencija se razvila kako bi ispunila sve potrebe tržišta i savremenog načina poslovanja kompanija na što efikasniji i produktivniji način.

Na osnovu opisanog predmeta istraživanja autor rada postavlja sledeće istraživačko pitanje: Kakva je razlika u arhitekturi tradicionalne i moderne (samouslužne) poslovne inteligencije. Odgovor na postavljeno istraživačko pitanje biće obrazloženo u radu na osnovu teorijskog istraživanja referentne literature na ovu temu.

2. METODOLOGIJA I PREGLED LITERATURE

U radu je sprovedeno teorijsko istraživanje koje podrazumeva analizu referentne literature iz opisanog domena predmeta istraživanja i predstavlja osnov za davanje odgovora na istraživačko pitanje.

Različite baze podataka su korišćene za prikupljanje radova, članaka, podataka o arhitekturi poslovne inteligencije i njenom razvoju. Korišćene su sledeće baze podataka:

- Kobson
- Google Scholar
- Springer Link
- Science Direct

Za pronalaženje kvalitetnih radova bilo je potrebno definisanje konkretnih ključnih reči na osnovu kojih se vršila pretraga. Ključne reči koje su služile za pretragu su sledeće:

- Business intelligence
- Business intelligence architecture
- Traditional business intelligence
- Self-service business intelligence
- Software as a Service
- Business Intelligence as a Service
- Conceptual Framework
- Business intelligence Framework

Dešavalo se da pronađeni članci koji su se podudarali sa ključnim rečima nisu odgovarali temi istraživanja i istraživačkom pitanju i oni su bili isključeni iz detaljne analize. Nakon odabira radova koji su odgovarali ključnim rečima i temi istraživanja izvršena je detaljna analiza istih. Odabrano je 12 radova na osnovu kojih je napisan ovaj rad.

3. RAZVOJ POSLOVNE INTELIGENCIJE

Termin poslovna inteligencija prvi put se spominje 1958. godine od strane IBM-ovog istraživača Hans Peter Luhna (Parr, 2012). Njena veća zapaženost se primećuje tek nakon skoro tri decenije. Howard Dresner je 1989. godine definisao poslovnu inteligenciju kao metodu koja poboljšava poslovno odlučivanje tako što koristi sistem podrške koji je zasnovan na činjenicama (Parr, 2012). Nakon te godine upotreba termina poslovna inteligencija se uveliko upotrebljava.

Postoji jako puno definicija koje objašnjavaju šta je poslovna inteligencija. Autor Stackowiak et al. (2007) u svom radu „Oracle Data Warehousing and Business Intelligence Solutions“ je definisao poslovnu inteligenciju kao proces prikupljanja velike količine podataka, analiziranja tih podataka i prezentovanja istih na visokom nivou kroz grupe izveštaja koji prikazuju suštinu i pružaju priliku menadžmentu da donesu poslovne odluke (Babu, 2012). Na osnovu prethodne definicije može se zaključiti da se poslovna inteligencija sastoji od više alata koji doprinose da se u kompaniji na efikasan način upravlja velikom količinom podataka. Do eksponencijalnog rasta poslovne inteligencije je došlo nastankom društvenih mreža koje stvaraju svakodnevno enormne količine podataka (Imhoff & White, 2011). Kompanije su tada shvatile da je razumevanje poslovnih podataka ključno za donošenje kvalitetnih poslovnih odluka. Poslovna inteligencija je nakon toga postala osnovna strategija u analiziranju poslovnih procesa, identifikaciji potreba potrošača, komparativnoj analizi, itd. (Babu, 2012).

Razvoj poslovne inteligencije je omogućio i malim kompanijama da koriste ovu tehnologiju. Ranije je samo nekolicina kompanija imala mogućnost da obezbedi analizu velike količine podataka dok je sa novim nivoom razvoja ova tehnologije postala dostupna većini kompanija. Benefiti kao što su: analiza kupaca, veća efikasnost, konkurentska prednost, praćenje trenda prihoda, otkrivanje rizika, itd. su uticali da sve više kompanija koristi alate ove tehnologije (Chaudhuri et al., 2011). Arhitektura ove tehnologije pruža priliku da se prikuple podaci iz različitih izvora (interni ili eksterni) i da se suština tih podataka prikaže na jednom mestu (Liyang et al., 2011). Prikaz podataka je u vidu istorijskih, trenutnih i prediktivnih pokazatelja poslovanja (Gangadharan & Swami, 2004). Cilj je da se što efikasnije donese svrsishodna poslovna odluka.

Očekuje se dalja ekspanzija razvoja poslovne inteligencije. Digitalne tehnologije kao što su veštačka inteligencija i tehnologija u oblaku unapređuju poslovnu inteligenciju koja inicira novu generaciju poslovanja (Imhoff & White, 2011).

4. RAZLIKA TRADICIONALNE I SAMOUSLUŽNE INTELIGENCIJE

Posljednjih godina poslovna inteligencija se značajno promenila iz više razloga (Alpar & Schulz, 2016). Prvi razlog je razvoj digitalnih tehnologija, mobilnih uređaja, infrastrukture i memorije, a drugi razlog je vezan za promenu strukture i stope rasta i obima novih podataka koji svakodnevno nastaju (McAfee and Brynjolfsson 2012). Trend modernog tržišta iziskuje veću upotrebu poslovne inteligencije kao i savremenih alata za obradu podataka. Tradicionalni pristup analizi podataka i kreiranju izveštaja uz pomoć IT stručnjaka je prevaziđen (Lennerholt et al., 2018). Sistem koji je rigidan, skup i troši puno vremena poželjno je da se promeni. Obzirom da se razlika između ova dva tipa poslovne inteligencije u većini slučajeva objašnjava kroz alate, postavlja se pitanje da li ima razlike i u arhitekturi ove tehnologije. U nastavku ovog poglavlja će se prikazati arhitektura poslovne inteligencije čime će se obrazložiti odgovor na istraživačko pitanje ovog rada.

Arhitektura tradicionalne poslovne inteligencije se sastoji od više „slojeva“ kao što su: izvori podataka (Data source), ETL sloj (Extract-Transform-Load), skladište podataka (Data warehouse), metapodaci (Metadata) i sloj krajnjeg korisnika (End user) (Ong et al., 2011). Svaki sloj ima svoju funkciju u obradi podataka kako bi se od „sirovog“ podatka dobio podatak koristan za odlučivanje u poslovanju.

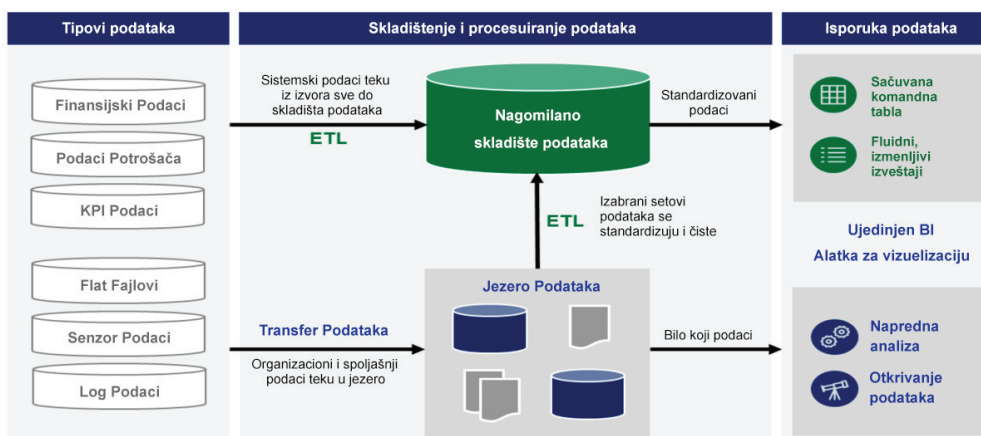
- **Sloj izvora podataka** se sastoji od internih i eksternih poslovnih podataka (Liyang et al., 2011). Interni podaci su organizacioni podaci koji nastaju u toku poslovanja kroz razne ERP ili CRM softvere koje kompanije koriste (Ong et al., 2011). Svaki poslovni proces koji se kreira u kompaniji nosi sa sobom određene podatke o kupcima, artiklima, dobavljačima, cenama, itd. svi podaci su u realnom vremenu i zbog toga su od izuzetne važnosti za analizu (Chaudhuri et al., 2011). Eksterni podaci se prikupljaju putem interneta, raznih istraživanja, poslovnih partnera i uglavnom služe kada kompanije žele da istraže nove trendove na tržištu ili nemaju dovoljno svojih organizacionih podataka (Ong et al., 2011). Najvažnije u ovom sloju jeste da se jasno odrede resursi koji se koriste u analizi kao i odakle potiču jer jasna identifikacija pomaže da se podacima mnogo lakše pristupi (Ong et al., 2011). Ovakvim pristupom izvorima podataka se eliminišu problemi kao što su nekonzistentnost podataka, problem vremena, nalaženja „korena“ uzroka greške, itd. (Liyang et al., 2011).
- **ETL sloj** se sastoji od tri koraka. Prvi korak je identifikacija i prikupljanje podataka iz različitih izvora (Gangadharan & Swami, 2004). Obzirom da je tempo tržišta takav da kompanije prikupljaju svakodnevno ogromne količine podataka kao posledica može nastati problem dupliranja podataka (Ong et al., 2011). U prvom koraku ETL-a se rešava ovaj problem tako što se spajaju podaci iz različitih izvora da bi se otkrilo postoje li duplirani podaci kao i određivanje onih podataka koji su važni za donošenje poslovne odluke, nakon čega se šalju u narednu fazu (Ong et al., 2011). Sledeći korak je konvertovanje podataka kroz standardizovana pravila kako bi podaci bili u potrebnom formatu za dalju analizu (Gangadharan & Swami, 2004). Na ovaj način se čuva konzistentnost podataka kroz čitav sistem (Ong et al., 2011). Poslednji korak u ovom sloju arhitekture je proces učitavanja i čišćenja podataka na osnovu predefinisanih pravila (Gangadharan & Swami, 2004). Nakon što su podaci ispravljani od eventualnih grešaka šalju se na učitavanje u skladište podataka (Ong et al., 2011).
- **Sloj skladišta podataka** se sastoji iz tri dela: Operativnog skladišta podataka, skladišta podataka i Datamart-a (Ong et al., 2011). *Operativno skladište podataka* (Operational Data Store-ODS) integriše sve podatke iz prethodnog sloja ETL-a i njih učitava u skladište podataka (Muhammad et al., 2014). Ukoliko se podaci ne bi učitavali iz sloja ETL-a nego iz izvora podataka tada bi ovaj proces mnogo duže trajao (Ong et al., 2011). ODS prikuplja podatke iz više izvora i omogućava krajnjim korisnicima prikaz i menjanje podataka u realnom vremenu (Babu, 2012). Ovakav način funkcionisanja donosiocima odluke omogućava da brže reaguju na poslovno okruženje i njihove zahteve. U ODS-u se ne čuvaju istorijski podaci nego se obično koriste za brže donošenje odluka zbog upotrebe svojih aplikacija (Babu, 2012). Različite aplikacije omogućavaju pogled na podatke iz različitih perspektiva. *Skladište podataka* je centralno skladište koji prikuplja više različitih tipova podataka koji služe za analizu, izveštavanje, donošenje odluka, itd. (Muhammad et al., 2014). Za razliku od ODS-a skladište podataka čuva istorijske podatke koji mogu da služe za razna istorijska istraživanja. U ODS-u se podaci čuvaju obično od 60-90 dana dok se u skladištu podataka podaci čuvaju od 5 do 10 godina (Ong et al., 2011). Ažuriranje podataka u skladištu podataka je na nivou nedelju dana ili na nivou dana (Ong et al., 2011). Dok kod ODS-a podaci se ažuriraju u roku od 15 do 60 minuta i zbog toga se prikazuju najnoviji podaci dok kod skladišta podataka to nije slučaj (Ong et al., 2011). *Data Mart* je sloj skladišta podataka koji prikuplja podatke za različite departmane u kompaniji, kao što su npr. podaci za određene poslovne funkcije (Babu, 2012). U jednoj kompaniji može da postoji više data mart-ova.
- **Sloj metapodataka** služi za čuvanje poslovnih i tehničkih informacija o podacima, kao što su: mesto čuvanja podatka, promene na podatku, veze između podataka, itd. (Muhammad et al., 2014). Ukoliko

se dobro upravlja metapodacima može da se smanji vreme za održavanje i razvoj. Postoji više vrsta metapodataka koji pružaju podršku svim slojevima poslovne inteligencije.

- **Krajnji korisnici** su poslednji sloj poslovne inteligencije i cilj čitavog procesa jeste zadovoljenje njihovih potreba. Postoji više alata za prikazivanje obrađenih poslovnih podataka kao što su izveštaji, upiti, online analitička obrada podataka (Online Analytical Processing-OLAP), rudarenje podataka (Data mining), analitičke aplikacije, itd. (Liyang et al., 2011). *OLAP* je proces analize podataka koji služe za izveštavanje, analizu, modelovanje, itd. (Muhammad et al., 2014). Ovaj alat obezbeđuje sumarni prikaz podataka i krajnjim korisnicima omogućava analizu podataka iz različitih perspektiva kako bi mogli da porede različite tipove podataka (Ong et al., 2011). Vreme očitavanja podatka je jedan od ključnih izazova za unapređenje ove tehnologije. *Rudarenje podataka* je neophodno obzirom da podaci svakodnevno rastu. U kompaniji treba da postoji rudarenje podataka kako bi se odluke brže donosile. Uz pomoć rudarenja podataka identifikuju se informacione veze, trendovi uz pomoć statističkih tehnika, klasifikacija podataka, itd. (Ong et al., 2011).

Uz pomoć prethodno objašnjene arhitekture, poslovna inteligencija je uspešno pružala krajnjim korisnicima istorijske izveštaje i alate za analizu. Način funkcionisanja čitavog procesa je u najvećoj meri vezan za centralizovano rešenje čuvanja podataka, kao što je skladište podatka (Ong et al., 2011). Korisnici su imali velike koristi od tradicionalne poslovne inteligencije za istorijska istraživanja ali problem je krenuo da se javlja zbog nemogućnost direktnog pristupa podacima bez IT stručnjaka. Iz ovog razloga pojavili su se određeni izazovi kao što su: nemogućnost analize podataka bez stručnog znanja, nedostatak prediktivne analize, prikupljanje podataka koji nisu u potpunosti strukturirani (sređeni, obrađeni) (Alpar & Schulz, 2016). Ovaj problem se rešava tako što se tradicionalna poslovna inteligencija može “proširiti” u pravcu modernih tehnologija i izmenjenog načina funkcionisanja već poznate arhitekture (Ruiz, 2015).

Moderna poslovna inteligencija pruža odgovore na pitanja: šta je trenutno, šta će biti i zbog čega u vidu prediktivne analize (Alpar & Schulz, 2016). Kako bi se primenila nova arhitektura za transformaciju poslovnih podataka mora se promeniti prethodna koja se bazirala samo na skladištu podatka i koja je pružala samo čiste, organizovane podataka od strane IT stručnjaka u tradicionalnom modelu (Abelló et al., 2013). Kako bi se prevazišli prethodno navedeni izazovi skladište podataka se mora proširiti sa veoma promenljivim i brzim podacima koji svakodnevno nastaju. Ovi podaci su posledica razvoja digitalnih tehnologija koje prikupljaju različite podatke velikom brzinom. Koncept koji podržava ovakav način funkcionisanja se zove jezero podataka (Data Lake) (Needleman & Sternitzke, 2018). Način funkcionisanje je sledeći: ne čuvaju se očišćeni i kategorisani podaci od strane IT stručnjaka, kako je nekada bilo, nego se čuvaju podaci koji su prošli kroz tri faze obrade od strane krajnjih korisnika (Abelló et al., 2013). Na ovaj način se podaci mnogo brže i efikasnije prikupljaju ali zato i rizik za pripremu i analizu podataka se prebacuje na krajnjeg korisnika (Needleman & Sternitzke, 2018). Kada se integrišu jezero podataka i skladište podataka tada nastaje novi nivo razvoja poslovne inteligencije - moderna poslovna inteligencija (Needleman & Sternitzke, 2018). Način funkcionisanja moderne poslovne inteligencije se može videti kroz sliku 1.



Slika 1: Arhitektura moderne poslovne inteligencije

Izvor: Modern Business Intelligence - The Path to Big Data Analytics (Needleman & Sternitzke, 2018)

Na slici se može videti kako skladište podataka prikuplja podatke iz različitih izvora koji prolaze kroz ETL. Tek kada su podaci obrađeni (konvertovani, očišćeni, učitani) oni su spremni za dalju analizu od strane krajnjeg korisnika. Za to vreme jezero podataka prikuplja velike količine podatka iz više izvora koji nisu obrađeni i takvi su spremni za dalju analizu. Integracija skladišta podatka i jezera podataka stvara veliku količinu različitih podataka koji su dostupni za dalju analizu po zahtevu krajnjeg korisnika. Bitno je imati u vidu da nije svaki izvor podataka pogodan za svaku analizu, određene analize traže podatke koji su sigurni (obrađeni) kao što su određeni finansijski izveštaji gde je neophodna preciznost za razliku od drugih izveštaja kada se može koristiti jezero podatka kao izvor (Alpar & Schulz, 2016). Moderna arhitektura poslovne inteligencije je temelj za napredne analitike i analize dok su krajnji korisnici ti koji uz pomoć platforme mogu da dovedu do ostvarenja ciljeva.

Jezero podataka se deli na tri zone koje pomažu pri učitavanju podataka, obezbeđenju bezbednosti podatka i okruženja za krajnjeg korisnika (Needleman & Sternitzke, 2018).

Prva zona prikuplja sirove, neobrađene podatke iz raznih izvora podatka i jako malo se u ovoj fazi vrši manipulacija sa podacima. Različiti tipovi podataka i zapisa zahtevaju različite softvere koji će moći da prikupe podatke iz različitih izvora (Needleman & Sternitzke, 2018).

Druga zona prikupljene podatke obrađuje i priprema za analizu. Obzirom da je priprema podataka u modernoj poslovnoj inteligenciji prebačena sa IT stručnjaka na krajnjeg korisnika bitno da je da postoje metapodaci koji će olakšati korisnicima obradu podataka kako bi ih pripremili za izveštavanje (Needleman & Sternitzke, 2018).

Treća zona se sastoji od podatka koji su u formatu za izveštavanje. Podaci koji su u ovoj fazi se smatraju "objavljeni" što znači da su pouzdani, sigurni i da se mogu koristiti u skladištu podatka kao i da ih krajnji korisnici mogu koristi (Needleman & Sternitzke, 2018). Analiza podataka je sada izvan pukog istorijskog izveštavanje nego je cilj da se dublje ispituju trendovi koji će biti na tržištu. Sam proces obrade podataka se može videti kroz sliku 2.



Slika 2: Tri zone obrade podatka

Izvor: Modern Business Intelligence - The Path to Big Data Analytics (Needleman & Sternitzke, 2018)

Kako se velika količina podataka unosi u jezero podataka velika je verovatnoća da podaci budu nepotpuni, nedefinisani što utiče na smanjenje ukupne vrednosti tih podataka. Ovakav način funkcionisanja može dovesti do smanjenja kvaliteta analize zato je jako bitno da postoji upravljanje podacima, metapodaci i sigurnost podataka (Alpar & Schulz, 2016).

Prelazak na novu arhitekturu poslovne inteligencije za krajnje korisnike može da bude frustrirajuće, zato je jako bitno a se u toku implementacije novih alata jednako pažnje posveti i na obuku korisnika (Needleman & Sternitzke, 2018). Obzirom da se sada odgovornost za upravljanje podacima prebacuje na njih. Ukoliko se ulaže u obuku krajnjih korisnika da oni razumeju čitav proces time se automatski pojednostavljuje prelazak na modernu poslovnu inteligenciju.

Ovim prikazom funkcionisanja i promene u arhitekturi poslovne inteligencije pružen je odgovor na istraživačko pitanje. Kao što se može zaključiti arhitektura tradicionalne poslovne inteligencije se usavršava sa razvojem novih tehnologija koje doprinose rastu količine podataka. Moderna poslovna inteligencije prati

trendove tržišta i omogućava krajnjim korisnicima da sami ispitaju određene podatke i da na taj način mogu da predvide promene na tržištu i da time utiču na poslovanje kompanije.

5. ZAKLJUČAK

Razvoj savremenih digitalnih tehnologija utiče na razvoj tradicionalne poslovne inteligencije. Kompanije su prinuđene da traže moderna, savremena rešenja kako bi opstala na tržištu. Tradicionalna poslovna inteligencija pruža vrednosti o istorijskim činjenicama koje su pre bile značajne. U današnje vreme gde je svaki sekund bitan od izuzetne je važnosti da se iskoriste svi podaci koji nastanu, ali na drugačiji način – prediktivan. Omogućavanje krajnjim korisnicima da sami istraže podatke, u bilo koje vreme, na način koji oni žele i da sami pronađu odgovor je cilj koji se ostvaruje modernom poslovnom inteligencijom. Novi način poslovanja kompanijama pruža proširenje postojeće arhitekture za obradu podataka kako bi imali više mogućnosti 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.

LITERATURA

- [1] Abelló, A., Darmont, J., Etcheverry, L., Golfarelli, M., Mazón, J. N., Naumann, F., Pedersen, T. B., Rizzi, S., Trujillo, J., Vassiliadis, P., & Vossen, G. (2013). Fusion cubes: Towards self-service business intelligence. *International Journal of Data Warehousing and Mining*, 9(2), 66–88. <https://doi.org/10.4018/jdwm.2013040104>
- [2] Alpar, P., & Schulz, M. (2016). Self-Service Business Intelligence. *Business and Information Systems Engineering*, 58(2), 151–155. <https://doi.org/10.1007/s12599-016-0424-6>
- [3] Babu, K. V. S. . J. (2012). Business Intelligence: Concepts, Components, Techniques and Benefits. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2150581>
- [4] Chaudhuri, S., Dayal, U., & Narasayya, V. (2011). An overview of business intelligence technology. *Communications of the ACM*, 54(8), 88–98. <https://doi.org/10.1145/1978542.1978562>
- [5] Gangadharan, G. R., & Swami, S. N. (2004). Business intelligence systems: Design and implementation strategies. *Proceedings of the International Conference on Information Technology Interfaces, ITI*, 139–144.
- [6] Imhoff, C., & White, C. (2011). Self-Service Business Intelligence: Empowering Users to Generate Insights. *TDWI Report*, 1–37. http://www.sas.com/resources/asset/TDWI_BestPractices.pdf
- [7] Liyang, T., Zhiwei, N., Zhangjun, W., & Li, W. (2011). A conceptual framework for business intelligence as a service (SaaS BI). *Proceedings - 4th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, ICICTA 2011*, 2, 1025–1028. <https://doi.org/10.1109/ICICTA.2011.541>
- [8] Muhammad, G., Ibrahim, J., Bhatti, Z., & Waqas, A. (2014). *Business Intelligence as a Knowledge Management Tool in Providing Financial Consultancy Services*. 2(2), 26–32. <https://doi.org/10.12691/ajis-2-2-1>
- [9] Needleman, P., & Sternitzke, M. K. (2018). *Modern Business Intelligence The Path to Big Data Analytics*. April, 1–11.
- [10] Ong, I., Siew, P., & Wong, S. (2011). A Five-Layered Business Intelligence Architecture. *Communications of the IBIMA, 2011*, 1–11. <https://doi.org/10.5171/2011.695619>
- [11] Parr, O. (2012). Business Intelligence Success Factors. In *Business Intelligence Success Factors*. <https://doi.org/10.1002/9781119197683>
- [12] Ruiz, A. A. B. (2015). *COMBINING BUSINESS INTELLIGENCE WITH CLOUD COMPUTING TO DELIVERY AGILITY IN ACTUAL ECONOMY Abstract*. 3(2), 54–67. <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf>



PRIMENA VIZUELNE KRIPTOGRAFIJE U PROCESU DELJENJA INFORMACIJA O VOZILIMA PARKIRANIM U KRUGU KOMPANIJE

AN IMPLEMENTATION OF VISUAL CRYPTOGRAPHY SCHEME IN SHARING SECRET INFORMATION FROM CAR NUMBER PLATE DIGITAL IMAGES

HANA STEFANOVIĆ¹, RADOSAV VESELINOVIĆ², GORAN BJELOBABA³, ANA SAVIĆ⁴

¹ Visoka škola strukovnih studija za IT, Beograd, hana.stefanovic@its.edu.rs

² Ekonomski fakultet, Beograd, veselinovic.ceda@gmail.com

³ Narodna banka Srbije, Beograd, goran.bjelobaba@nbs.rs

⁴ Visoka škola elektrotehnike i računarstva strukovnih studija, Beograd, ana.savic@viser.edu.rs

Rezime: U ovom radu primenjena je tehnika proširivanja piksela originalne digitalne slike blokom subpiksela koji će u određenim slojevima predstavljati originalni piksel. Preklapanjem slojeva na mestu prijema, bez upotrebe bilo kakvog kriptološkog algoritma, primalac može očitati podatke o registarskoj oznaci vozila. Pojedinačni slojevi (share images) ne nose nikakvu korisnu informaciju za eventualnog napadača, a jedino se preklapanjem generisanih slojeva na odgovarajući način, može doći do poruke. U radu je, u cilju jednostavnosti, a bez gubitka opštosti, analiziran slučaj predstavljanja originalne slike pomoću dva sloja, ali bi se algoritam jednostavno mogao proširiti i prilagoditi generisanju većeg broja slojeva. Prvi sloj sadrži slučajno generisane proširene vrednosti piksela i ta slika predstavlja ključ, dok izbor proširenog bloka subpiksela u drugom sloju obezbeđuje da se preklapanjem dobije korisna informacija. S obzirom da su vrednosti kojima su predstavljeni pikseli na prvom sloju slučajno generisani, ova tehnika se može posmatrati kao jedna varijanta One-time-pad šifrovanja, koje ima dobre sigurnosne karakteristike. Algoritam je realizovan u MATLAB programskom okruženju, a na digitalnim slikama vozila u krugu kompanije, utisnut je i vodeni žig, za koji je izabran logo kompanije, a koji takođe može biti registrovan prilikom primene ovog algoritma, u smislu provere autentičnosti podataka.

Ključne reči: Vizuelna kriptografija, transparentni slojevi (share images), digitalna slika, vodeni žig.

Abstract: This paper presents a visual cryptography scheme with a binary additive stream cipher in order to form the meaningless shares (share images or multiple layers) of original digital image, hiding some secret information. Each share image holds some information, but at the receiver side only when all of them are superimposed, the secret information is revealed by human vision without any complex computation. Proposed algorithm for generating shares is applied in MATLAB programming environment, using MATLAB built-in functions to create sequences of pseudorandom numbers or streams, which are used to make share images of original digital image. The input image is first converted into a binary image, shares are generated using pixel expansion scheme, and after that are sent to the receiver. At the received side, the shares could be printed in separate transparent sheets and overlapped in order to reveal the secret image, with some loss in contrast when compared to the original image. An algorithm is applied to car number plate digital images with watermark. Digital image watermarking method is used to embed some data in a car number plate digital image in order to verify the credibility of the content or the identity of the owner.

Keywords: Visual cryptography, share images, digital image, digital watermark.

1. UVOD

Vizuelna kriptografija predstavlja kriptološku tehniku koja omogućava skrivanje informacija, odnosno tajnih poruka, na takav način da one mogu biti dešifrovane na mestu prijema bez upotrebe računara ili bilo kakvih drugih izračunavanja. U postupku dešifrovanja koresisti se samo ljudski vizuelno-perceptivni sistem. Ova tehnika predložena je prvi put na EUROCRIPT konferenciji, Noni Noar i Adi Shamir (Naor and Shamir 1994). Procesi šifrovanja i dešifrovanja su relativno jednostavni, i imaju visoku sigurnost, jer se tehnika oslanja na One-time-pad tehniku. Ima primenu u deljenju različitih vrsta informacija, a naročito u finansijskim transakcijama preko Interneta, a takođe i za proveru glasačkih listića, obveznica i slično (Wolchkok *et al.* 2012).

U ovom radu, tehnika vizuelne kriptografije ilustrovana je na primeru deljenja informacija o registarskim oznakama vozila koja se ulaze ili se nalaze u krugu kompanije. Na snimljenim fotografijama je takođe utisnut i vodeni žig, za koji je izabran logo kompanije. Algoritam je realizovan u MATLAB programskom okruženju, a originalna slika, na kojoj se nalazi registarska oznaka vozila, ovim algoritmom podeljena je na dva sloja (*share images*) koji ukoliko se posmatraju nezavisno jedan od drugog, ne nose nikakvu informaciju korisnu za primaoca. Jedino pravilnim preklapanjem oba sloja, dobija se skrivena poruka. Ilustrovani primer sa dva generisana sloja vrlo lako se može proširiti i na slučaj većeg broja slojeva (Hou *et al.* 2014), čijim bi se preklapanjem dobila tajna poruka. U finansijskim transakcijama interesantna je primena ovakvog algoritma u formi „k od n slojeva“, što podrazumeva da je dovoljno imati (preklopiti) k od n slika (Verheul and Tilborg 1997), da bi se generisala pristupna šifra, što je pogodno u situacijama kada vise klijenata ili ovlašćenih lica koristi neki račun, da bi se imao uvid, kao i višestruko odobrenje prilikom vršenja transakcija.

2. OPIS ALGORITMA I PRIKAZ EKSPERIMENTALNIH REZULTATA

Algoritam deljenja originalne slike na slojeve (*share images*) realizovan je u MATLAB programskom okruženju. Oba sloja su iste rezolucije i njihovim preklapanjem očitava se tajna poruka. Izabrana je jednostavna varijanta proširivanja piksela koja se vrši slučajnim generisanjem na jednom sloju, dok drugi sloj sa komplementarnim pikselima nakon vizulenog XOR-ovanja sa prvim daje informaciju (tajnu poruku) nakon preklapanja. S obzirom da su vrednosti kojima su predstavljeni pikseli na prvom sloju slučajno generisani, ova tehnika se može posmatrati kao jedna varijanta *One-time-pad* šifrovanja, koje ima dobre sigurnosne karakteristike (Yan 2010).

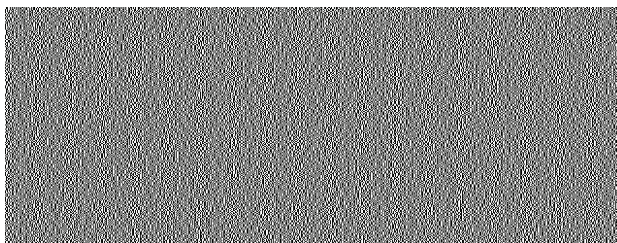
Originalna slika, snimljena kamerom mobilnog telefona od 13 megapixel, sa Carl Zeiss optikom, dok je u noćnim uslovima korišćen dupli LED blic, prikazana je na Sl.1.



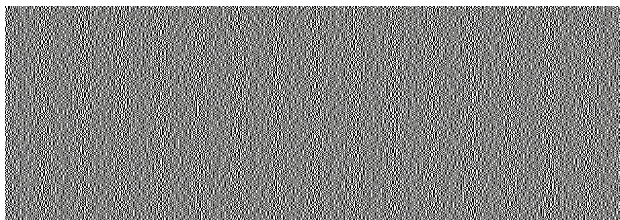
Slika 1: Originalna slika

Transparentne slike (sloj 1 i sloj 2) prikazane su na Sl.2 i Sl.3, pri čemu prvi sloj sadrži slučajno generisane proširene vrednosti piksela i ta slika predstavlja ključ. Svaki piksel predstavljen je blokom u kojem uvek postoji isti broj belih i crnih piksela. Ukoliko se vrši jednostavniji model ekspanzije piksela, piksel će biti prezentovan jednim belim i jednim crnim pikselom, a ukoliko se koristi složeniji model ekspanzije, piksel će biti predstavljen sa četiri nova piksela od kojih su dva bela i dva crna. Piksel u sloju 1 ima određeno stanje, a piksel u sloju 2 može imati isto ili suprotno stanje. Ako su stanja u sloju 1 i sloju 2 ista, preklapanjem se dobija polovina belih i polovina crnih piksela, što će ljudsko oko detektovati kao neku nijansu sivog, a ako su stanja u sloju 1 i sloju 2 suprotna, preklapanjem se dobijaju crni pikseli, što će ljudsko oko detektovati kao crno. Preklapanjem $\blacksquare \square$ sa istim takvim blokom u sloju 2, dobija se svetli piksel (nijansa sivog), dok se preklapanjem $\blacksquare \blacksquare$ sa $\square \square$ dobija crni piksel. Slično je i za slučaj proširenja blokom od četiri piksela za svaki originalni piksel: preklapanjem $\blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare$ sa istim takvim takvim blokom u sloju 2, dobija se nijansa sivog, a preklapanjem $\blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare$ sa $\square \square \square \square$ dobija se crni blok. Sloj 1 sadrži piksele čije su vrednosti određene na slučajan način, što je identično postupku generisanja ključa za *One-time-pad* šifru (Stinson, 1995), dok sloj 2 sadrži fiksne blokove koji su nosioci informacije u fazi preklapanja. Postoje i složenije šeme u vizuelnoj kriptografiji (Ateniese *et al.* 2001), dok neke od njih ne uključuju model proširivanja piksela, u smislu predstavljanja originalnog piksela grupom subpiksela (Askari *et al.* 2011), ili uključuju dodatne tehnike poboljšanja kontrasta dekodovane slike (Chiu and Lee 2011).

Na osnovu dobijenih rezultata prikazanih na Sl.4., može se zaključiti da prilikom preklapanja dolazi do izvesnog gubitka u kontrastu, s obzirom da je bela boja predstavljena blokovima piksela koji preklapanjem rezultuju nijansom sivog, ali je čitljivost zadovoljavajuća. Takođe, širina dekodovane slike je, shodno modelu ekspanzije, dva puta veća u odnosu na širinu originalne slike, jer je svaki piksel u slojevima 1 i 2 predstavljen blokom od dva piksela. U nekim algoritamskim rešenjima (Wu and Sun 2013) povećanje kontrasta realizovano je povećanjem verovatnoće za izbor belog piksela na prvom sloju iznad vrednosti 0.5, dok neka rešenja uključuju i primenu SPI (*Single-pixel Imaging*) tehnike (Shuming *et al.* 2020).



Slika 2: Sloj 1



Slika 3: Sloj 2

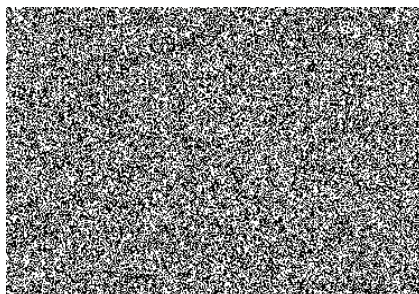


Slika 4: Dekodovana slika nastala preklapanjem sloja 1 i sloja 2

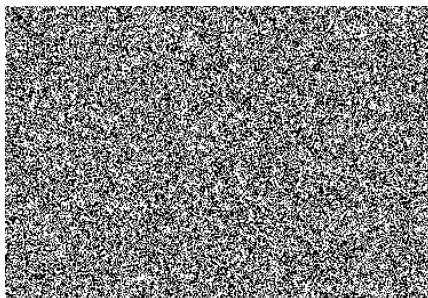
Algoritam daje dobre rezultate i u uslovima otežane detekcije tabličnog regiona, uz dodatno filtriranje (Gonzeles *et al.* 2009) i predobradu originalne slike, kao što je ilustrovano na Sl.5. (Stefanovic *et al.* 2017). Generisani slojevi i rezultujuća slika, nastala preklapanjem, prikazani su na Sl.6, Sl.7 i Sl.8., respektivno.



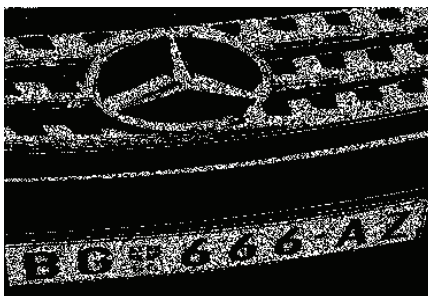
Slika 5: Originalna slika snimljena u uslovima otežane detekcije



Slika 6: Sloj 1



Slika 7: Sloj 2



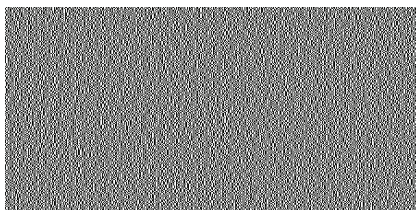
Slika 8: Dekodovana slika nastala preklapanjem sloja 1 i sloja 2

Na dekodovanoj slici uspešno se očitava registarska oznaka, ali iskošenost tabličnog regiona tokom snimanja i otežani uslovi detekcije svakako zahtevaju i dodatnu obradu (Pratt 2007) i filtriranje digitalne slike (Popovic 2006).

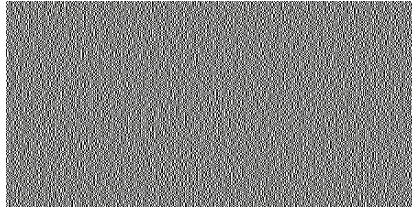
Dodatno se na digitalne slike može utisnuti i vodeni žig (Cox *et al.* 2008), za koji je izabran logo kompanije, a koji takođe može biti registrovan prilikom primene ovog algoritma, u smislu provere autentičnosti podataka (Priya and Raj 2017). Originalna slika sa utisnutim vodenim žigom prikazana je na Sl.9, dok su sloj 1 i sloj 2 na kojima se nalaze skrivene informacije, prikazani na Sl.10 i Sl.11, a dekodovani vodeni žig vidljiv nakon preklapanja slojeva ilustrovan je na Sl.12.



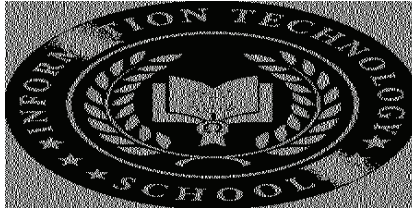
Slika 9: Originalna slika sa utisnutim vodenim žigom



Slika 10: Sloj 1



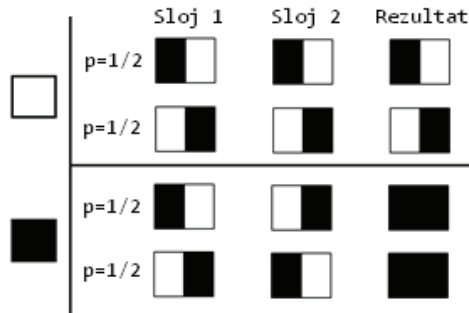
Slika 11: Sloj 2



Slika 12: Dekodovana slika nastala preklapanjem sloja 1 i sloja 2

3. MATEMATIČKA OSNOVA ALGORITMA

Blokovi belih i crnih piksela (subpiksela) kojima će biti predstavljen svaki piksel originalne slike, mogu se zapisati kao $n * m$ Bulova matrica S_p , pri čemu je $p \in \{white, black\}$. Element s_{ij} ove matrice ima vrednost 1 ako i samo ako je j-ti subpiksel u i-tom sloju crni, odnosno vrednost 0 ako i samo ako je j-ti subpiksel u i-tom sloju beli. Kada se slojevi i_1, i_2, \dots, i_r prelope, vrši se operacija logičko ILI (OR) kolona i_1, i_2, \dots, i_r u matrici S_p . Nivo sivog srazmeran je Hamingovom težinskom faktoru $H(V)$ OR-ovanih m -vektora. Ljudski vizuelni sistem detektuje svetlo (sivo) ako je $H(V) < d - \alpha m$, a detektuje tamno (crno) ako je $H(V) \geq d$, pri čemu je vrednost praga $1 \leq d \leq m$, dok je parametrom α opisana relativna težinska razlika u slojevima (Kang *et al.* 2011). Ukoliko je originalna slika podeljena na dva sloja, svaki piksel je predstavljen grupom subpiksela koje ljudsko oko detektuje i dalje kao jedan piksel, prema šemi prikazanoj na Sl.13.



Slika 13: Šema proširivanja piksela

Martice permutacija u šemi sa dva subpiksela, prikazanoj na Sl.13, mogu se predstaviti kao:

$$S_{white} = \left\{ \begin{bmatrix} 0101 \\ 0101 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1010 \\ 1010 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0011 \\ 0011 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1100 \\ 1100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0110 \\ 0110 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1001 \\ 1001 \end{bmatrix} \right\} \quad (1)$$

$$S_{black} = \left\{ \begin{bmatrix} 0101 \\ 1010 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1010 \\ 0101 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0011 \\ 1100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1100 \\ 0011 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0110 \\ 1001 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1001 \\ 0110 \end{bmatrix} \right\} \quad (2)$$

Sigurnost je uslovljena permutacijama kolana, što bi se proširivanjem na šemu ekspanzije sa 4 subpiksela značajno povećalo. U ovom radu je, iz razloga jednostavnosti, korišćena šema sa dva subpiksela, a osim subjektivne vizuelne ocene sličnosti generisanih slojava, izračunata je i srednja kvadratna greška (MSE – *Mean-Square Error*) i vršni odnos signal-šum (PSNR – *Peak Signal-to-Noise Ratio*).

Za slike $x(n_1, n_2)$ i $y(n_1, n_2)$ dimenzija $N_1 * N_2$, MSE i PSNR određeni su na osnovu (Gonzeles *et al.* 2009):

$$MSE = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{n_1=1}^{M_1} \sum_{n_2=1}^{N_2} [x(n_1, n_2) - y(n_1, n_2)]^2 \quad (3)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{MAX_I}{MSE} \right) \quad (4)$$

pri čemu MAX_I predstavlja najveću moguću vrednost piksela, koja u slučaju osmobarne sivo-skalarane slike iznosi 255. Izračunata MSE vrednost iznosi 17378.57 (na delovima sloja 1 i sloja 2 veličine 10), dok PSNR ima vrednost 3.94.

4. ZAKLJUČAK

Predloženi algoritam prosljeđivanja tajnih informacija deljenjem originalne slike na više slojeva daje dobre rezultate i dosta je jednostavan za implementaciju. Gubici u kontrastu ili rezoluciji rezultujuće slike nastale preklapanjem generisanih slojeva, mogli bi se korigovati, što bi bio prostor za dalju optimizaciju algoritma. Za potrebe deljenja informacija o registarskim oznakama vozila, s obzirom da su ove oznake utiskivane na retroreflektivnoj podlozi i uz precizno definisanu veličinu karaktera i razmaka između njih, čitljivost je dobra, ali bi se za potrebe deljenja nekih drugih informacija algoritam morao dodatno testirati, uz upotrebu nekih složenijih šema predstavljanja piksela originalne slike odgovarajućim subpikselima.

LITERATURA

- [1] Askari, N., Heys H.M., & Moloney, C.R. (2013). An extended visual cryptography scheme without pixel expansion for halftone images. IEEE Canadian Conf. on Electrical and Computer Engineering (CCECE-2013), Regina, SK, 1-6.
- [2] Ateniese, G., Blundo, C., Santis, A. De., & Stinson, Douglas R. (2001). Extended capabilities for visual cryptography. Theoretical Computer Science, 250, 143-161.
- [3] Chiu P., & Lee, K. (2011). A Simulated Annealing Algorithm for General Threshold Visual Cryptography Schemes, IEEE Trans. Information Forensics and Security, 6, 992-1001.
- [4] Cox, I., Miller, M., Bloom, J., Fridrich, J., & Kalker, T. (2008). Digital Watermarking and Steganography. (2nd ed.) Elsevier.
- [5] Gonzalez, R.C., Woods. R.E., & Eddins, S.L. (2009). Digital Image Processing Using MATLAB. Knoxville, TN: Gatesmark Publishing.
- [6] Hou, Y.C., Wei, S.C., & Lin, C.Y. (2014). Random-grid-based visual cryptography schemes, IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., 24, 733-744.
- [7] Kang, I., Arce, G., & Lee, H. (2011). Color extended visual cryptography using error diffusion, IEEE Trans. Image Process., Vol. 20, no. 1, pp. 132-145.
- [8] Naor, M., & Shamir A. (1994). Visual cryptography, Advances in Cryptology (Eurocrypt'94), 1-12.
- [9] Popovic, M. (2006). Digitalna obrada slike. Beograd: Akademska misao.
- [10] Pratt, W.K. (2007). Digital Image Processing. Inc. New York, NY, USA., John Wiley & Sons.
- [11] Priya, L.C.V., & Raj, N.R. (2017). Digital watermarking scheme for image authentication. Int. Conf. on Communication and Signal Processing (ICCSP'17), Chennai, 2026-2030.
- [12] Shuming, J., Feng, J., Yang, G., Ting, L., & Xiaocong, Y. (2020). Visual cryptography in single-pixel imaging. Optics Express, 28, 7301-7313.
- [13] Stefanovic, H., Veselinovic, R., Bjelobaba, G., & Savic, A. (2017). Optimizacija algoritmskih rešenja za izdvajanje obeležja registarskih tablica u uslovima otežane detekcije. Info M 64/2017, 33-37.
- [14] Stinson, D. (1995). Cryptography Theory and Practice. CRC Press.
- [15] Verheul, E.R., & Tilborg, H.C.A. (1997). Constructions and properties of k-out-of-n visual secret sharing schemes. Designs Codes Crypto, 11, 179-196.
- [16] Wolchok, S., Wustrow, E., Isabel, D., & Halderman, J.A. (2012). Attacking the Washington, D.C., Internet Voting System. Conf. on Financial Cryptography & Data Security, 1-18.
- [17] Wu, X.T., & Sun, W. (2013). Generalized random grid and its applications in visual cryptography, IEEE Trans. Information Forensics and Security, 8, 1541-1553.
- [18] Yan, J.W. (2010). A comprehensive study of visual cryptography, Trans. Data Hiding and Multimedia Security V, 6010, 70-105



IMPLEMENTACIJA SOFTVERSKOG SISTEMA ZA GENERISANJE CROSS-PLATFORM KORISNIČKOG INTERFEJSA

IMPLEMENTATION OF SOFTWARE SYSTEM FOR GENERATING CROSS-PLATFORM USER INTERFACES

DIMITRIJE JEVTIĆ¹, PROF. DR SAŠA D. LAZAREVIĆ², TATJANA STOJANOVIĆ³

¹ Software Studio of Excellence, Beograd, dimitrije.jevtic@ssoe.rs

² Univerzitet u Beogradu - Fakultet organizacionih nauka, Beograd, lazarevic.sasa@fon.bg.ac.rs

³ Univerzitet u Beogradu - Fakultet organizacionih nauka, Beograd, tatjana.stojanovic@fon.bg.ac.rs

Rezime: U vremenu kada broj platformi i operativnih sistema raste, nailazi se na teškoće pri razvoju softvera i korisničkih interfejsa koji podržavaju iste. Većina rešenja koji se trenutno nude znače eksplicitno ili implicitno odvajanje kôda i postavljanje aplikacija na klijentske uređaje, što donosi teškoće pri održavanju, konfiguraciji pa i korišćenju takvih softverskih rešenja. U ovom radu je dat predlog centralizovanog softverskog rešenja, koji se oslanja na postojeći HTTP protokol i postojeće pretraživače kako bi eliminisali potrebu za kreiranje više izvršnih verzija iste aplikacije.

Ključne reči: korisnički interfejs, kros-platform, strane generisane na serveru, SSR

Abstract: During the expansion of platforms and operating systems, difficulties are emerging during the process of development of software and user interfaces that support them. Most of current solutions mean that there is explicit or implicit differentiation of code and deployment of applications on client devices, that further implies difficulties during maintenance period, configuration and even use of such software solutions. Suggestion of centralized software solution, is given in this paper that relies on current HTTP protocol and browsers and eliminates the need for creating multiple executable versions of the same application.

Keywords: user-interface, cross-platform, server-side-rendering, SSR

1. UVOD

U aplikacijama koje se svakodnevno koriste, korisnički interfejsi predstavljaju veoma bitan deo softverskog sistema. U zavisnosti od prirode aplikacije, u nekim slučajevima se može reći i da predstavljaju bitniju celinu od skupa funkcionalnosti koje softverski sistemi objavljuju. Cilj korisničkog interfejsa jeste da korisniku pruži sve potrebne informacije u pravom trenutku, bez preopterećivanja korisnika nepotrebnim informacijama. Takođe, samom korisniku, interfejs bi trebao biti smislen, tj. korisnik ne bi trebao imati dvoumljenja pri korišćenju softverskog sistema između željene akcije i očekivanog rezultata korisnikove akcije. Prava razmera količine informacija na korisničkom interfejsu se nalazi u preseku ova dva slučaja.

Dva koncepta, koje je u svojim radovima uveo D. Norman (Norman, 1988), se mogu primeni i na današnje korisničke interfejse. Reč je o zalivu izvršenja i zalivu ocenjivanja. Pod zalivom izvršenja se misli na stepen podudaranja mogućnosti sistemskog predmeta sa željama i očekivanjima korisnika i šta on očekuje od akcije nad predmetom. Drugim rečima, zaliv izvršenja predstavlja odnos između namere korisnika i mogućnosti sistema koje on može da izvrši. Drugi koncept, zaliv ocenjivanja, se odnosi na stepen reprezentovanja predmeta sistema koje se direktno mogu zaključiti iz njega, u kontekstu korisnikovih očekivanja i namera. Drugačije rečeno, zaliv ocenjivanja je težina ocenjivanja stanja sistema i koliko dobro predmeti iz sistema omogućavaju pronalaženje i interpretaciju svog stanja. Na oba koncepta se može primeniti ista analogija, zalivi su mali ako je razdaljina od korisnikovih očekivanja i akcija potrebnih za izvršenje akcije mala, u prvom slučaju, odnosno ako se iz predmeta sistema lako mogu uočiti njegova stanja.

Kod modernih softverskih sistema, problem izrade korisničkog interfejsa predstavlja izbor platforme na kojoj će se softverski sistem koristiti, kao i izbor tehnologija u kome će se korisnički interfejs razvijati. Popularizacijom pretraživača, fokus sa desktop aplikacija se preneo na aplikacije u pretraživaču. Takođe,

popularizacijom prenosivih uređaja, sada je potrebno da isti softver podržava i više platformi. U prilog ovome govori da je udeo korisnika mobilnih uređaja premašio udeo korisnika desktop uređaja u maju 2019 (GlobalStats, 2020). Najčešće, ovo znači odvajanje kôda za svaku platformu koju softverski sistem podržava, a često može i značiti drugačije tehnike pri postavljanju i dostavljanju softvera do različitih klijentskih platformi. Ova segmentacija nije samo segmentacija u tehnologiji i tehnikama u izradi softverskog sistema, već to predstavlja i dodatni trošak u vremenu i sredstvima softverskih kuća koje razvijaju ovakve softvere.

2. CENTRALIZACIJA

Pri rešavanju ovog problema, glavna ideja je centralizacija, odnosno, kreiranje jednog mesta u softverskom sistemu koji generiše korisničke interfejsse. Ova tehnika je poznatija i pod imenom **SSR** – *Server-side-rendering* (generisanje interfejsa na serveru). Softverski sistem, opisan u ovom radu, oslanja se na nekoliko postojećih tehnologija koje se već dugo koriste.

Prva je HTTP protokol, odnosno, softverski sistem je implementiran kao *http veb server*. Svaki pretraživač ili drugi *klijent* na HTTP zahtev dodaje zaglavlja koje jedinstveno identifikuju klijentski operativni sistem, verziju istog, pretraživač sa koga se zahtev šalje i slično. Veb server koristi ovu informaciju kako bi napravio diferencijaciju platformi i tu informaciju prosleđuje na dalje korišćenje.

Druga tehnologija, ili skup tehnologija, na koju se softverski sistem oslanja jeste HTML, CSS i JavaScript, kao tehnologije koje velika većina uređaja danas podržava, kao rezultat generisanja korisničkih interfejsa. Razlog za izbor ove tehnologije je već napomenuta rasprostranjenost ovih tehnologija kod današnjih uređaja, pa čak i kod uređaja koji su stariji. Većina operativnih sistema danas ima već integrisane aplikacije koje podržavaju prikazivanje sadržaja napisanih u ove tri tehnologije. Za manjinu operativnih sistema koji ne podržavaju pregledanje ovakvog sadržaja, dovoljno je instalirati *oguljen* pretraživač (npr. Chromium) koji će onda moći prikazivati generisane interfejsse.

Imajući ovo u vidu, centralizacija se odnosi na kreiranje jedinstvenog mesta, softverskog sistema, gde će se korisnički interfejsi za različite platforme konfigurisati kroz softverski sistem, a ne razvijati, a takođe i mesto gde će se isti korisnički interfejs različito generisati, u zavisnosti od platforme.

3. MODEL PODATAKA:

Model podataka softverskog Sistema logički je odvojen na dve vrste podataka, specifikacije (*Specification*) i instance. Specifikacije se mogu razumeti kao tip ili vrsta određenog entiteta (npr. specifikacija validacije za obavezno polje – *RequiredValidationSpecification*), dok se instanca može zamisliti kao pojavljivanje objekta određenog tipa (npr. validacija elementa obaveznog polja – *RequiredElementValidation*). Po ovom principu su podeljeni tipovi grafičkih elemenata pojavljivanje istih, validacije i pojavljivanje validacija i atributi i pojavljivanje atributa.

Dodatno, postoji veza između specifikacije i instance određenog entiteta (npr. tipa validacije i instance validacije) tako da je pojavljivanje instance uvek slab objekat od specifikacije.

Da bi se definisao jedan takav softverski sistem, potrebno je ustanoviti definicije pojedinačnih komponenta na grafičkom interfejsu, definisati njihove mogućnosti i definisati njihov odnos sa drugim grafičkim elementima. Takođe je potrebno definisati njihov grafički izgled na različitim platformama. Olakšavajuća okolnost je što se, kroz vreme dok grafički interfejsi postoje, već definisale određene grafičke komponente (Usability.gov), kao i njihove mogućnosti i okvirni izgled, pa će ovaj softverski sistem pokrivati najčešće korišćene grafičke elemente, kao što su polja za unos, dugme, stranica, plutajući prozor, itd... Ovi grafički elementi će se prvo definisati kao vrste grafičkih elemenata, nazvana *ElementSpecification*.

ElementSpecification se prostije može definisati kao tip grafičkog elementa. Kada ovakav entitet postoji u modelu, sa lakoćom se mogu dodati novi tipovi grafičkih elemenata i raditi sa postojećim tipovima.

Definisanje vrsta grafičkih elemenata nije dovoljno da bi se zahtevi softverskog sistema ispunili. Kako grafički interfejs predstavlja jedno *pojavljivanje* grafičkog elementa određenog tipa, tako će i softverski sistem imati i pojavljivanja grafičkih elemenata, *UIElement*. Drugim rečima, softverski sistem će imati i pojavljivanje (*instancu*) grafičkog elementa. Ova instanca se može i razumeti kao entitet koji će korisnici videti kao rezultat generisanja interfejsa.

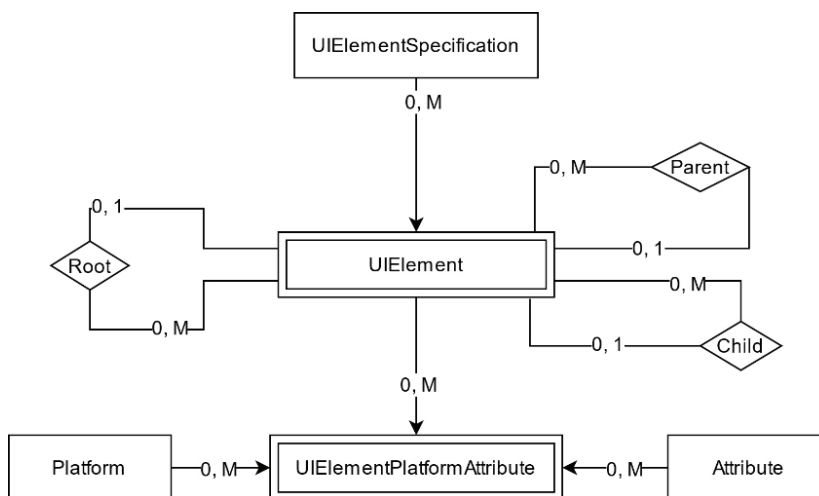
Kada imamo definisane pojedinačne grafičke elemente, potrebno je kreirati međuzavisnosti između samih grafičkih elemenata. Kako većina tehnologija, u kojima se kreiraju grafički interfejsi, samu strukturu interfejsa predstavlja kao *n*-arno stablo (HTML, XAML), tako će i grafički elementi u ovom softverskom sistemu imati identičnu strukturu. Ovo omogućava ugnježdavanje grafičkih elemenata, gde jedino ograničenje predstavlja količina informacija koja se na rezultujućem interfejsu generiše ili sama priroda grafičkog elementa na nekom

čvoru u stablu (npr. element *Page* može imati podređene elemente, dok element *Button* ne može imati podređene).

Dodatno, definicije i instance grafičkih elemenata će nositi *svojstva* (Attributes), takođe po uzoru na HTML i CSS strukturu, gde će se svojstva, u domenu definicija (tipa elementa, *Specification*), tretirati kao podrazumevajuća svojstva grafičkih elemenata, a svojstva u domenu instanci će se tretirati kao svojstva specifična za određenu platformu nekog grafičkog elementa. Unija ova dva skupa atributa predstavlja skup svih atributa koji određeni grafički element nosi sa sobom. U slučaju da i definicija grafičkog elementa i instanca grafičkog elementa nose isto svojstvo, primat vrednosti će uzeti svojstvo sa instance grafičkog elementa.

Na slici (**Error! Reference source not found.**) je prikazan uprošćeni dijagram modela koji opisuje odnos definicija i instanci grafičkih elemenata.

Veza pod nazivom *Parent* će imati podatak ka nadređenom elementu u *n*-arnom stablu, veza *Child* vezu ka podređenim elementima, dok će veza *Root* imati podatak ka korenom grafičkom elementu, ako je element deo nekog stabla ili neće imati vrednost ako je dati grafički element koreni. Ovako kreirane veze između grafičkih elemenata u potpunosti pokrivaju potrebne mogućnosti jednog grafičkog interfejsa.



Slika 1: Model dijagrama – Model diagram

4. IMPLEMENTACIJA

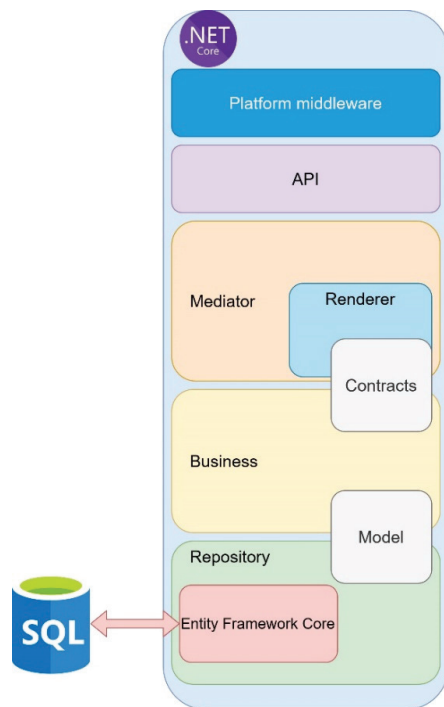
Kao tehnologija za implementaciju softverskog rešenja, odabran je programski jezik *C#*, tačnije Microsoft najnoviji okvir za razvoj veb aplikacija ASP.NET Core. Microsoft svoje tehnologije vodi ka mogućnosti da se isti kôd može izvršavati na različitim operativnim sistemima, a ASP.NET Core predstavlja korak u napred u tom smislu, kako se on već sada može izvršavati na više operativnih sistema, pa u tom smislu daje dodatnu stavku zašto je izabran.

Dodatni argument za odabir ASP.NET Core-a je takođe i *Blazor renderer* koji predstavlja jednu veoma obećavajuću tehnologiju. Logički, Blazor model se takođe oslanja na komponente (grafičke elemente) i međusobno ugnježdavanje istih, pa odgovara modelu podataka ovog softverskog sistema. Mogućnost Blazor-a je to što on podržava i *WebAssembly*, novi koncept u programiranju veb aplikacija, gde se izvršni kod, napisan u bilo kom jeziku, kompajlira u takozvani *WebAssembly* i kao takav izvršava na strani klijenta. Kako je *WebAssembly* skoro binarni kod, njegovo izvršavanje je veoma brzo, skoro kao i izvršavanje *prirodnog* koda napisanog za određeni operativni sistem (MDN Contributors, 2019).

Za sloj podataka, korišćena je takođe Microsoft tehnologija, *Entity Framework Core* kao i MS SQL relaciona baza podataka.

Na sledećem dijagramu je data arhitektura sistema koja ukratko opisuje slojeve u aplikaciji **Error! Reference source not found.**

Ukratko, prateći dati dijagram, *Platform middleware* definiše koji klijent pravi zahtev za interfejs (operativni sistem, pretraživač...) nakon koga se zahtev prosleđuje na REST API. API, pomoću *Mediator*-a prosleđuje dobijeni zahtev do biznis sloja (*Business*) gde se struktura i stablo interfejsa kreira i transformiše,



Slika 2: Arhitektura sistema – System architecture

koristeći podatke iz baze podataka. Atributi se, shodno platformi, dodeljuju adekvatnim pojavljivanjima grafičkih elemenata. Podaci se vraćaju nazad Mediator-u, koji u zavisnosti od platforme i/ili drugih parametara ima mogućnost da iskoristi odgovarajući *renderer*. *Renderer*, tako kreirani interfejs, dodatno transformiše i vraća klijentu (pretraživač, razvojni okvir ili slično), a klijent, generisani korisnički interfejs, prikazuje shodno svojim mogućnostima.

Generatori interfejsa su implementirani na taj način da je moguće imati više različitih generatora interfejsa, koji se u zavisnosti od platforme pozivaju i generišu interfejs na svojstven način. Ovo je omogućeno koristeći *DI* (Dependency injection) koji ASP.NET Core podržava. Na ovaj način, novi generatori interfejsa mogu lako biti implementirani u zasebnim projektima, implementirajući samo odgovarajući interfejs.

Kao primer *renderer*-a, implementiran je HTML *renderer*, koji kao rezultat ima interfejs koji je čitljiv pretraživačima. Svaki od elemenata grafičkog interfejsa je implementiran kao zasebna komponenta napisana u *Razor* jeziku. Komponente su međusobno nezavisne, što omogućava njihovo neograničeno kombinovanje (ako komponenta po prirodi dozvoljava to). Zbog toga, ovaj softverski sistem može svrstati u *SSR* (Server-Side-Rendering) softvere. Implementacija preko *Razor* jezika je odabrana jer noviji, *Blazor*, *renderer* je još uvek u razvojnoj fazi, pa kao takav, u trenutku implementacije još u potpunosti ne podržava *SSR* (Roth, 2020).

Rezultat ovog softverskog sistema može biti i formatiran u *JSON* formatu, kako bi se mogao upotrebiti na bilo koji razvojni okvir koji ne podržava *SSR* tehnologiju ili *JIT* kompajliranje.

5. VALIDACIJE

Problem koji proizilazi iz generisanih interfejsa jeste validacija podataka, kada korisnički interfejs sadrži polja za unos podataka. Ovakvi podaci se ne mogu validirati na konvencionalne načine (konvencionalni način podrazumeva klasu koja nosi podatke koji se validiraju i definisanje validacione logike nad poljima koji se validiraju u datoj klasi). Srećom, ovaj softverski sistem ima mogućnost i validacije podataka koji su generisani na interfejsu.

U modelu, validacije, odnosno, implementacije validacija, se vezuju na konkretnu implementaciju grafičkog elementa (*UIElement*). Implementacije validacija nose konkretne informacije o načinu validacije konkretnog polja (konkretna maksimalna vrednost, minimalna ili slično), za razliku od specifikacije validacije, koja samo označava vrstu (tip) validacije (npr. obavezno polje, minimum, maksimum, itd...).

Kada posmatramo podatke koji treba da se validiraju, najčešće će oni biti u *JSON* formatu. Kako u definisanom modelu podataka ne postoji klasa koja odgovara datom *JSON* modelu, biće potrebno definisati privremene klase u ovu svrhu.

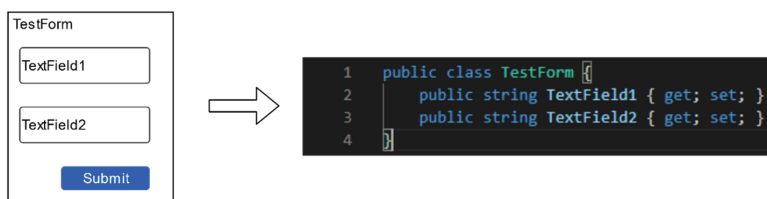
Razlog kreiranja „dinamičnog“ tipa koji odgovara podacima je taj što olakšava izvršavanje validacija nad podacima u smislu čitanja odgovarajućih vrednosti atributa, a takođe povećava čitljivost podataka.

Za ovu potrebu, biće korišćena *System.Reflection* biblioteka, koja ima mogućnost kreiranja tipova u vreme izvršavanja kôda. Takođe, biblioteka, pored kreiranja tipova, može kreirati i attribute i svojstva u tim tipovima, što odgovara početnom problemu.

Za strukturu ovih dinamičnih tipova, upotrebiće se postojeća, definisana, struktura grafičkog interfejsa. Tačnije, kao zaglavlje, odnosno ime dinamičnog tipa, će se iskoristiti pojavljivanje *Form* grafičkog elementa, a za svojstva dinamičnog tipa će se iskoristiti elementi koji su direktni naslednici *Form* grafičkog elementa u nekom konkretnom interfejsu.

Preslikavanje, tj. mapiranje elemenata forme u dinamične tipove podatka se može predstaviti sledećom slikom Slika 3: Kreiranje dinamičnog tipa – Creating dynamic type:

Pa tako, za konkretnu instancu *Form* grafičkog elementa, njegov tip kreiramo sledećom linijom:



Slika 3: Kreiranje dinamičnog tipa – Creating dynamic type

TypeBuilder *typeBuilder* = *_moduleBuilder.DefineType(typeName, System.Reflection.TypeAttributes.Public),*

polje u tipu za svako polje u form sledećom linijom:

```
typeBuilder.DefineField(typeInfo.Item1, typeInfo.Item2, System.Reflection.FieldAttributes.Public);
```

a na kraju i čitav tip, koji se inicijalizuje sledećom linijom:

```
typeBuilder.CreateType(),
```

Ovako kreirani tipovi se čuvaju u memorijskom kešu (cache), kako se instance objekata tipa *Type* ne mogu serijalizovati bez dodatnih modifikacija, a takođe, eliminiše potrebu rekreiranja tipova u vremenu izvršavanja. Keširanje takođe doprinosi i performansama, kako se pri validaciji ne bi ponovo kreirali tipovi na osnovu definicije objekata.

Kada je potrebno validirati određenu formu, zahtev koji sadrži JSON sa podacima unetih kroz grafički interfejs, odgovaraće strukturi datog dinamičnog tipa po imenima polja. Na ovaj način, kada sa jedne strane imamo *JSON* sa podacima, a sa druge strane tip (instancu klase *Type*), može se iskoristiti *Newtonsoft.Json* konverzija iz *JSON*-a u instancu date klase. Pa tako, podatke koje se trebaju validirati, dobijamo sledećim kodom:

```
var objectValue = JsonConvert.DeserializeObject(queryMessage.QueryParams.ObjectData, objectType);
```

Gde su *ObjectData* podaci u *JSON* formatu, a *objectType* dinamični tip forme koja se validira. Dalje se za svaku validaciju nad konkretnim poljem za unos izvršavaju validacije, sa podacima iz konkretne instance objekta forme.

Nakon toga, koristeći postojeću definiciju *Form* grafičkog elementa i validacija povezanih sa njegovim atributima, svaka validacija se izvršava u zavisnosti od tipa validacije (obavezno polje, minimum vrednost, maksimum vrednost...).

Rezultat validacije se vraća klijentu, gde se validacione poruke prikazuju korisniku.

6. ZAKLJUČAK

Ovakav softverski sistem može imati mnogo mesta primena. Od prostih prezentacionih veb strana, preko softvera za upitnike, sisteme za automatizaciju poslovnih procesa i slično. Primene nisu ograničene na samo

ove slučajeve. Model podataka na kome je postavljen ovaj softverski sistem je veoma prilagodiv i lako konfigurabilan na različite svrhe.

Glavni cilj ovog softverskog sistema je preseliti kreiranje grafičkih interfejsa sa programiranja na konfiguraciju istih, kao i olakšati njihovu integraciju sa već postojećim softverskim rešenjima.

U dodatnu prilagodivost ide u prilog što se broj podržanih platformi koje ovaj softverski sistem podržava, može proširiti, po potrebi. Tako, kreiranjem neke nove platforme, ovaj softverski sistem se može, iz minimalne izmene, veoma brzo prilagoditi i konfigurisati.

Pored toga što se softverski sistem može primeniti na veliki broj poslovnih slučajeva korišćenja, takođe se može i prilagoditi da podržava veliki broj biblioteka za razvoj veb aplikacija, kao što su *Bootstrap*, *jQuery*, *Vue.js*, *React*, *Angular* i slične biblioteke, koje podržavaju SSR. Imajući ovo u vidu, ovaj softverski sistem ima veoma veliku prednost u primeni u sistemima gde je korisnički interfejs podložan čestim promenama, što bi značilo da promene korisničkih interfejsa mogu da se dešavaju dok softverski sistem radi, bez potrebe objavljivanja nove verzije interfejsa, nove verzije biblioteki ili slično.

LITERATURA

- [1] GlobalStats. (2020). *Desktop vs Mobile vs Tablet Market Share*. Preuzeto sa GlobalStats: <https://gs.statcounter.com/platform-market-share/desktop-mobile-tablet/worldwide/2019>
- [2] MDN Contributors. (2019). *WebAssembly Concepts*. Preuzeto sa MDN web docs: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/WebAssembly/Concepts>
- [3] Norman, D. (1988). *The Design of Everyday Things*. Basic Books.
- [4] Roth, D. (2020). *ASP.NET Core Blazor hosting models*. (Microsoft) Preuzeto sa Microsoft docs: <https://docs.microsoft.com/en-us/aspnet/core/blazor/hosting-models?view=aspnetcore-3.1>
- [5] Usability.gov. (n.d.). *User Interface Elements*. Preuzeto sa Usability: <https://www.usability.gov/how-to-and-tools/methods/user-interface-elements.html>

Istraživanje i razvoj

Research and Development



METRIKA INTEGRISANOSTI NAUKE I PRIVREDE

SCIENCE AND ECONOMY INTEGRATION METRICS

LAZAR ŽIVKOVIĆ¹, ĐURO KUTLAČA²

¹ Institut Mihajlo Pupin, Beograd, lazar.zivkovic@pupin.rs

² Institut Mihajlo Pupin, Beograd, djuro.kutlaca@pupin.rs

Režime: U ovom radu je predstavljena metoda mrežne analize kao alat za merenje intenziteta saradnje nauke i privrede (U-I saradnja). Imajući u vidu složenost interakcije i različitih vidova saradnje koja se dešava između univerziteta i privrede, u radu su sumirani i glavni oblici saradnje kao i indikatori za merenje saradnje nauke i privrede. Metoda mrežne analize predstavlja alat koji se koristi u cilju razumevanja sturkturnih karakteristika mreža znanja koje se formiraju između istraživača sa univerziteta i privrede i predstavlja pogodan alat za analizu evolucije U-I saradnje.

Gljučne reči: Saradnja nauke i privrede, naučna produktivnost, mrežna analiza.

Abstract: This paper presents the network analysis as an tool for measuring the intensity of science-industry cooperation. Considering the complexity of interaction and different types of cooperation that take place between researchers from universities and industry, this paper summarizes the main forms of cooperation as well as indicators for measuring cooperation between science and the economy as well. The method of network analysis is an tool for understanding the structural features of knowledge networks that are formed between researchers from universities and industry and is a convenient tool for analyzing the evolution of U-I collaboration.

Keywords: Science-Industry Cooperation, Science Productivity, Network Analysis.

1. UVOD

Uloga univerziteta u društvu se od prvih osnivanja do danas značajno promenila, od nastave i istraživanja kao osnovnih misija do uvođenja treće misije koja se odnosi na transfer tehnologije i znanja u privredu. Ovaj transfer nije jednosmeran već se zasniva na interakciji i zajedničkoj saradnji nauke i privrede. Uspostavljanje uspešne saradnje naučnoistraživačkog i privrednog sektora predstavlja važan aspekt naučnoistraživačkih i tehnoloških politika. Na univerzitetu se sve više gleda kao na kritične institucije u inovacionim sistemima i kao takve su došle do izražaja u vladinim inovacionim programima (Mowery and Bhavan, 2006). Jedan od ciljeva naučno-tehnoloških politika ne samo u Srbiji već i u drugim državama, je uvođenje konkretnih mera sa ciljem unapređenja saradnje nauke i privrede.

Hronološkim pregledom naučno-tehnoloških politika u poslednjih 70 godina, jasno se može zaključiti da je potreba za uspostavljanjem jače saradnje između nauke i privrede bila prepoznata u većini politika ovog perioda, ali bez vidljivih rezultata. Iako predstavlja aktuelni izazov današnjice, značaj približavanja naučnoistraživačkih institucija i privrede u Srbiji je prvi put prepoznat 50-tih godina prošlog veka osnivanjem saveznih fondova za unapređenje industrijske proizvodnje, građevinarstva i poljoprivrede u cilju finansiranja istraživačkih projekata koji bi davali konkretne rezultate primenjive u privredi. Rezolucijom savezne skupštine o naučnoistraživačkom radu, donete 1965. godine, cilj je bio da se usklade naučna istraživanja sa potrebama privrednog razvoja i unapređenje primene rezultata naučnih istraživanja u privredi (Horvat et al. 1971). Jedan od razloga neuspešnih pokušaja uspostavljanja bliže saradnje nauke i privrede je taj što su univerziteti i naučnoistraživačke institucije u velikoj meri fokusirane na fundamentalna istraživanja i dugoročne naučne projekte, dok je privreda sa druge strane zainteresovana za kratkoročno rešavanje razvojnih problema i izazova u svakodnevnom poslovanju. Takođe, važan razlog neuspeha leži i u nedostatku indikatora za merenje saradnje nauke i privrede u oblasti istraživanja, razvoja i inovacija. Još uvek prisutan linearni model upravljanja istraživanjem i razvojem predstavlja glavnu prepreku za umrežavanje IR sektora sa ostalim delovima privrede i društva (Kutlača & Semenčenko 2015).

Transfer znanja između nauke i privrede u praksi se ostvaruje kroz različite vidove saradnje i interakcije od strogo formalnih do neformalnih veza. Pri analiziranju i evaluaciji saradnje nauke i privrede potrebno je pristupiti sveobuhvatno i uzeti u obzir sve vidove i forme saradnje koji se mogu ostvariti. U skladu sa navedenim tvrdnjama, cilj ovog rada je da definiše različite vidove saradnje nauke i privrede kao i da definiše indikatore za merenje ove saradnje. Pored prikaza ključnih vidova saradnje, poseban aspekt ovog rada je prikaz osnovnih koncepata mrežne analize kao moguće metodologije za ocenu nivoa interakcije nauke i privrede u Republici Srbiji.

2. DEFINISANJE OBLIKA SARADNJE I INDIKATORA ZA MERENJE SARADNJE NAUKE I PRIVREDE

Opšte je poznato da postoje različiti oblici saradnje koje uspostavljaju naučnoistraživačke institucije i privreda i da se ova saradnja ne može objasniti jednim opštim obrascem. Saradnja može biti strogo formalna kroz potpisivanje ugovora o saradnji ili krajnje neformalna što podrazumeva neformalne kontakte, komunikaciju i savetovanje. Imajući u vidu navedenu složenost međusobnih veza, pri analiziranju nivoa saradnje univerziteta i industrije (U-I), neophodno je uzeti u obzir navedenu složenost. Iako u literaturi postoji čitav niz klasifikacija koje su imale za cilj da obuhvate sve vidove i oblike U-I saradnje, jedna od veoma korisnih klasifikacija je ona koju su razvili Ramos-Vielba et.al (2010), a prema njima se svi oblici saradnje mogu podeliti u sledeće 4 kategorije:

- Istraživačko-razvojne aktivnosti i formalni konsalting;
- Obuke i razmena zaposlenih;
- Komercijalizacija nekog od oblika intelektualne svojine;
- Druge vrste saradnje.

Prvi oblik saradnje podrazumeva zajedničke IR projekte koji se finansiraju preko fondova za finansiranje istraživačkih aktivnosti kao i IR projekte koje realizuju univerziteti ili instituti, a naručeni su od strane privrede. Druga vrsta saradnje je značajno izraženija u naučno-intenzivnim oblastima, dok je u zajedničkim IR projektima prisutna saradnja u širokom krugu oblasti. Pored IR projekata, ova kategorija obuhvata i formalan konsultantski rad pružen od strane univerziteta ili instituta za potrebe realizacije razvojnih projekata u privredi.

Obuke i razmene zaposlenih pripadaju drugoj grupi aktivnosti saradnje U-I i ona podrazumeva aktivnosti obuka i treninga studenata i postdiplomaca kao i prakse u firmama, zatim privremene razmene zaposlenih i obuke zaposlenih u firmi koje pruža univerzitet. Prakse u firmama su veoma čest oblik saradnje koja se uspostavlja između univerziteta i privrede i često podrazumeva formalne ugovorne odnose pri kojima univerziteti upotpunjuju svoje nastavne programe, dok firme imaju šansu da identifikuju stručne kadrove i da ih kasnije zadrže u svojim firmama. Obuke zaposlenih u firmi koje pruža univerzitet je takođe jedan od čestih vidova saradnje međutim, potrebno je ovde dodati da se često realizuje i obrnut vid obuka, tj. firme pružaju praktične obuke studenima na fakultetima.

Komercijalizacija nekog od oblika intelektualne svojine se najčešće realizuje eksploatacijom patenata ili otvaranjem novih firmi kao što su spin-off kompanije. Navedena dva oblika saradnje predstavljaju ujedno i nejefikasnije oblike transfera tehnologije. Pored intelektualne svojine pod ovu grupu spadaju i aktivnosti korišćenja ili iznajmljivanja objekata ili opreme kao jedan od takođe važnih oblika saradnje koje uspostavljaju univerziteti i privreda.

Pod druge oblike saradnje, autori navode neformalne veze i odnose koji ujedno predstavljaju možda i najčešći oblik uspostavljanja U-I saradnje. Ovo je čest oblik saradnje koji ne podrazumeva formalan odnos već korišćenje postojećih kontakata u cilju savetovanja i angažovanja za određene aktivnosti. U druge oblike saradnje spadaju i zajednička ulaganja u istraživačke centre koji se uglavnom realizuju uz podršku nacionalne ili regionalne vlade.

U cilju otkrivanja stepena saradnje univerziteta i privrede, često se istražuju oblici saradnje koji su uspostavljeni u određenom vremenskom periodu. Međutim, da bi se dobili kompletni rezultati i efekti navedene saradnje, nije dovoljno samo identifikovati zajedničke projekte ili neku drugu aktivnost, već je neophodno istražiti i ishode konkretne saradnje kao i efekte koje ta saradnja ima na privredu ali i na društvo u celini. Zbog toga se često u istraživačkim i inovacionim strategijama i politikama definišu indikatori koji mere ishode navedene saradnje. Prema (Seppo & Lilles, 2012), svi indikatori U-I saradnje se mogu svrstati u tri kategorije:

- Ulazni indikatori;
- Indikatori učinka;
- Indikatori utućaja.

Ulazni indikatori su važni i veoma često korišćeni indikatori saradnje, a odnose se na uložene resurse u cilju ostvarivanja saradnje. Seppo & Lilles (2012) su identifikovali ukupno pet vrsta ulaznih indikatora: resursi, sposobnosti istraživača, motivacija istraživača, sposobnosti firme, motivacija firme. Najčešće korišćeni ulazni indikatori su izdaci za IR i broj istraživačkih kadrova, a veoma često se koriste u naučno-tehnološkim politikama.

Indikatori učinka ili rezultata predstavljaju konkretne ishode iz saradnje, a najčešće korišćeni indikatori rezultata u literaturi su zajednički patenti i zajedničke publikacije. Ovi indikatori se često koriste pre svega zbog lake dostupnosti podataka o publikacijama i patentima u svetskim renomiranim institucijama kao i zavodima za patente kako nacionalnim tako i međunarodnim. Pored navedenih indikatora rezultata mogu biti i broj spin-off kompanija, broj master teza ili doktorskih teza kao rezultat saradnje, intenzitet saradnje i dr. (Iqbal et al. 2011; Perkmann et al. 2011)

Indikatori uticaja predstavljaju direktne ili indirektne efekte koje U-I saradnja ima na privredu ili društvo u celini. Neki od često korišćenih indikatora uticaja su sledeći: prihodi od licenci, rast spin-off kompanija, broj zaposlenih diplomaca ali i indikatori kao što su: ukupna faktorska produktivnost, intenzitet proizvodnje, rast zaposlenosti i dr. (Seppo & Lilles, 2012).

Zbog velikog broja indikatora koji se koriste u literaturi, teško je utvrditi najprikladnije pokazatelje koji evaluiraju intenzitet U-I saradnje. Prilikom odabira indikatora, neophodno je voditi se ciljem koji se želi postići. Idealno je pored ulaznih indikatora, koristiti i neke od indikatora uticaja ili učinka kako bi se dobila kompletna slika i efekti U-I saradnje.

3. MREŽNA ANALIZA KAO ALAT ZA MERENJE INTENZITETA SARADNJE NAUKE I PRIVREDE

Metode mrežne analize se zasnivaju na pretpostavci o značaju međusobnih veza između pojedinaca, grupa, organizacija, država i drugih društvenih jedinica koji ostvaruju međusobnu interakciju i razmenjuju različite resurse: materijalne resurse, usluge, informacije, norme i sl. Osnovna komponenta teorije mreže su odnosi između ključnih aktera koji čine mrežu (Wassermann & Faust, 1994). Ključni koncepti mrežne analize su se razvijali u poslednjih 70-tak godina kao integralni deo društvene teorije, empirijskih istraživanja, kao i matematike i statistike. Metode mrežne analize omogućavaju uvid u strukturne karakteristike mreže, identifikaciju ključnih aktera, određivanje položaja i karakteristika svakog aktera u mreži, razvoj odnosa glavnih institucionalnih aktera i razumevanje dinamike saradnje (Wassermann & Faust, 1994).

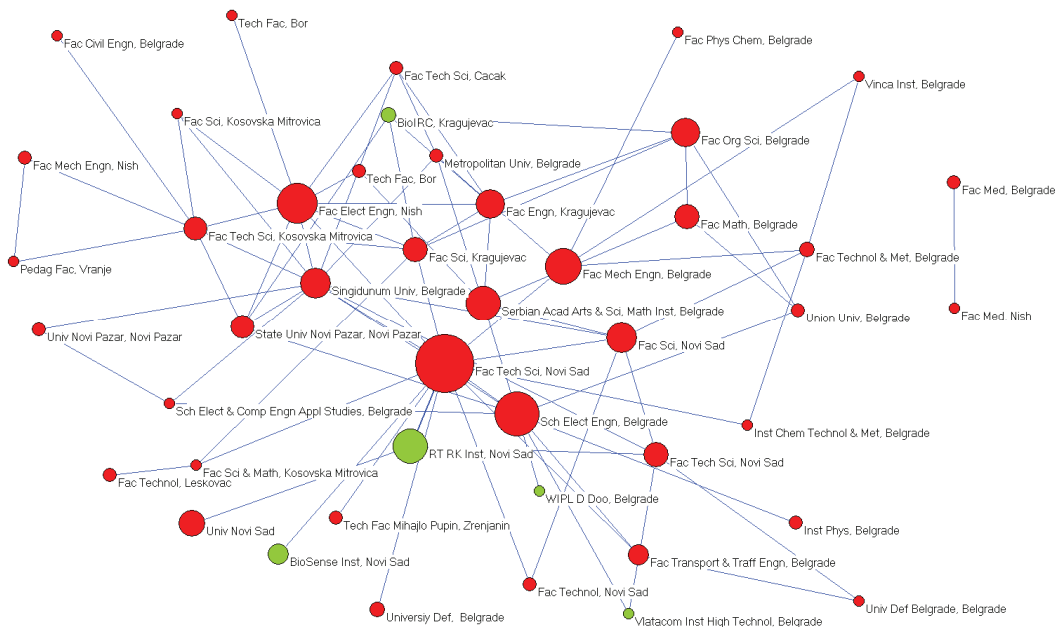
Mrežna analiza poseduje značajne prednosti u istraživanju u sledećim situacijama: kada skup aktera nije unapred poznat, odnosno kada tek treba ustanoviti aktere uključene u neki sistem odnosa; kada je značajno ispitati vrste interakcija unutar ili između društvenih grupa; kada je potrebno detaljnije analizirati položaj pojedinačnog aktera u širem sistemu; ili kada je potrebno uočiti način na koji se akteri povezuju i pokreću akciju, mrežni pristupi nude pogodne instrumente analize, kojima je navedene pojave moguće adekvatno opisati i razumeti (Zivkovic & Kutlača 2018). Metodom vizuelizacije moguće je grafički predstaviti ključne aktere u mreži, ali i izvršiti klasterizaciju na osnovu koje se mogu identifikovati istraživačke grupe koje međusobno sarađuju u naučnoistraživačkim aktivnostima.

Istraživanja koja su koristila mrežnu analizu kao ključni alat za otkrivanje institucionalnih veza u okviru nacionalnih i regionalnih inovacionih sistema se u najvećoj meri baziraju na upotrebi dostupnih podataka kao što su zajednički patenti ili zajedničke publikacije istraživača sa univerziteta i privrede. Mrežna analiza je korišćena za: ispitivanje veza između institucija privatnog i javnog sektora (Krätke & Brandt, 2008), zatim ispitivanje uticaja sektora biotehnologije na intenzitet odnosa nauke i privrede (Leidesdorff 2004), ispitivanje obima i intenziteta saradnje akademskih i industrijskih istraživača u sektoru mikroelektronike (Balconi and Laboranti 2006), definisanje modela za merenje protoka informacija i znanja između kompanija i univerziteta u oblasti tekstilne industrije (Capo-Vicedo et al. 2013), ispitivanja stepena preliivanja znanja koje vodeće firme u oblasti proizvodnje nameštaja apsorbuju iz eksternih izvora (Morrison 2008), identifikaciju i mapiranje ključnih institucija zaduženih za transfer znanja u oblasti informaciono-komunikacionih tehnologija (Kutlača et al. 2020) i dr.

Interesantan oblik transfera znanja koji će biti prikazan u ovom radu je međuinstitucionalni prenos znanja koji proizilazi iz ko-autorstva u objavljenim radovima istraživača. Ova vrsta interakcije podrazumeva transfer prečutnog (tacitnog) znanja kao rezultat kontakata između ko-autora naučnih radova. Imajući u vidu ograničenost broja strana, u ovom radu će biti ukratko predstavljeni osnovni koncepti mrežne analize kao i primer primene ove metode u cilju istraživanja intenziteta saradnje naučnoistraživačkih institucija i privrede u Republici Srbiji.

3.1. Primer primene mrežne analize

Na slici 1 dat je vizuelni prikaz institucionalnog ko-autorstva u objavljenim radovima istraživača iz Republike Srbije u oblasti Informaciono-komunikacionih tehnologija (IKT) u 2019. godini objavljenih na SCI listi, a preuzetih iz baze Web of Science (WOS). Zbog jasnijeg prikaza, slika prikazuje samo institucije koje imaju minimum 2 objavljena rada u oblasti IKT u toku 2019. godine. Čvorovi u mrežnoj strukturi predstavljaju institucije istraživača u kojima su zaposleni, dok veze između njih prikazuju zajedničke publikacije objavljene u ko-autorstvu između različitih institucija. Crvenom bojom su označene naučnoistraživačke institucije (instituti i fakulteti), dok su zelenom bojom označena preduzeća. Veličina čvora ukazuje na broj objavljenih radova autora iz te institucije. Debljina linije određuje intenzitet saradnje između dve institucije.



Slika 1: Mrežna struktura saradnje u objavljivanju naučnih radova naučno-istraživačkih institucija i privrede u oblasti IKT

*Slika je kreirana koristeći *open source* softver Pajek.

Na osnovu mrežnog dijagrama može se videti kakva je saradnja između nauke i privrede u proizvodnji novog znanja kao i kakvog je intenziteta data saradnja. Imajući u vidu da samo oko 7% istraživača u Srbiji radi u poslovnom sektoru, mrežna struktura naučne saradnje pruža očekivanu dominaciju naučnoistraživačkih institucija u objavljivanju naučnih radova. U analizi strukture mreže, ide se korak dalje i pored prikaza osnovnih informacija o mreži, mrežna analiza ima mogućnost da pruži odgovore na sledeća pitanja:

- Kakav je uticaj pojedinih institucija na ostale učesnike u mreži?
- Koji je stepen zavisnosti jedne institucije od ostalih aktera u mreži?
- Koji je stepen značajnosti pojedinih institucija u mrežnoj strukturi?
- Kakva je funkcija institucije u procesu transfera znanja? i dr.

Neki od najvažnijih indikatora mrežne analize koji mogu biti korisni u analizi intenziteta saradnje nauke i privrede su sledeći:

- Indeks centralizovanosti mrežne strukture - Vrednost ovog indeksa se kreće od 0 do 1. Visoka vrednost ovog indikatora ukazuje na to da je mrežna struktura visoko zavisna od jednog aktera u mreži što bi u ovom konkretnom primeru značilo da jedna institucija ima najveći broj objavljenih radova dok su ostali akteri u mreži zavisni od saradnje i povezanosti sa glavnom institucijom. Vrednost 1 označava da je jedan čvor povezan sa svim ostalim čvorovima a svi ostali su povezani sa

samo tim jednim čvorom, što označava mrežu sa oblikom zvezde. Niska vrednost ovog indikatora ukazuje da mreža ima nizak stepen centralizovanosti, što znači da se naučnoistraživačka produktivnost u ovoj oblasti izvršava u više institucija i da nisu zavisne jedna od druge. Vrednost 0 označava da svi čvorovi imaju isti stepen centraliteta što daje mrežu sa kružnim oblikom.

- Stepenn centralizacije čvora (*Centralization Degree*) – Ova vrednost ukazuje na stepen uticaja jednog čvora na ostale aktere u mreži. Što je veća vrednost čvora to je njegov uticaj veći na ostale učesnike i najveći uticaj na transfer znanja. U našem primeru, visoka naučna produktivnost jedne institucije ne mora da implicira da ta ista institucija ima i visok uticaj na transfer znanja u mreži.
- Broj aktera između kojih se čvor nalazi (*Betweenness Centrality*) - Ova vrednost iskazuje obim u kome je dati čvor potreban kao veza u lancu kontakata i time omogućava širenje informacija kroz mrežu. Ovaj indikator broji koliko često jedan čvor stoji na najbližoj putanji između druga dva čvora, dakle, uzimajući u obzir povezanost susednih aktera, daje veću vrednost institucijama koje formiraju klustere. Veća vrednost čvora ukazuje na veću značajnost ovog čvora u mrežnoj strukturi, dakle, čvor poseduje visoku funkciju u procesu prenošenja informacija.
- Stepenn bliskosti čvorova (*Closeness Centrality*) ukazuje na to koliko je dati čvor u mreži blizak sa ostalim čvorovima. Dakle ukoliko čvor može brzo da komunicira sa ostalim čvorovima u mreži poseduje visoku vrednost ovog indikatora. Najniža vrednost ovog indikatora je za institucije koje su izolovane u mreži i nisu povezane sa ostalim akterima. Institucije koje su povezane sa ključnim akterima mreže direktno ili indirektno imaju visoke vrednosti ovog indikatora.
- Udaljenost (*Distance*) – relativna udaljenost čvora u odnosu na druge čvorove u mreži. Ovaj indikator omogućava da se za svakog pojedinačnog aktera prikaže relativna udaljenost od ostalih aktera u mreži.

Pored prethodno navedenih indikatora mrežne analize, postoji još čitav niz drugih indikatora koji imaju potencijal primene u istraživanju saradnje nauke i privrede kao što je identifikacija klastera tj. usko povezanih insitucija koje formiraju zajedničke pod-mreže znanja i dr.

4. ZAKLJUČAK

Interakcija i saradnja nauke i privrede može uzeti različite forme, od neformalnih do strogo formalnih oblika saradnje. U prvom delu ovog rada prikazan je sumarni pregled svih oblika saradnje i ukazano je na važnost korišćenja kako ulaznih indikatora tako i indikatora učinka i efekata kako bi se dobila kompletna slika i sveobuhvatna analiza rezultata i uticaja saradnje nauke i privrede. U drugom delu rada je predstavljena mrežna analiza kao koristan alat u cilju otkrivanja strukturnih karakteristika umrežavanja insitucija koje učestvuju u proizvodnji novog znanja i inovacija sa posebnim fokusom na saradnju nauke i privrede.

Mrežna analiza, iako u najvećoj meri korišćena u sociologiji, pokazalo se da ima značajno širu primenu i praktično je primenjiva u svim istraživačkim hipotezama koje za cilj imaju istraživanje međusobnih veza i interakcija između subjekata koji su predmet ispitivanja. Tradicionalne statističke metode uglavnom pružaju odgovor na pitanje o oblicima i konkretnim rezultatima i efektima saradnje, dok mrežna analiza predstavlja važan alat u cilju mapiranja ključnih institucija u procesu generisanja novog znanja ali i istraživanja pozicije pojedinačnih institucija u mrežama kao i njihovu ulogu u procesu transfera znanja. Za razliku od tradicionalnih metoda, mrežna analiza ispituje strukturne i međuinstitucionalne karakteristike ključnih aktera primenom kvantitativne i kvalitativne metodologije.

U primeru primene mrežne analize u ovom radu, prikazani su samo osnovni indikatori centralizovanosti mreže i način na koji ovi indikatori mogu odgovoriti na konkretna pitanja u vezi strukture saradnje nauke i privrede u oblasti IKT. Međutim, ovo nije i konačan broj mogućnosti koje pruža mrežna analiza. Naime, pomoću mrežne analize, moguće je otkriti i druge strukturne ktrakteristike mreže kao što je udruživanje i klasterizacija pojedinih aktera u mrežnoj saradnji.

Metode mrežne analize u najvećem broju slučajeva koriste sekundarne podatke, međutim ova tehnika je primenjiva i na podatke koji se mogu dobiti iz primarnih uzoraka kao što je direktno ispitivanje institucija o njihovim istraživačkim partnerima. Mrežna analiza uglavnom prikazuje stanje zatečeno u vremenskom preseku koji je uzet u toku istraživanja, i zbog toga je za dalja istraživanja potrebno razviti i metode evolucije mreža tokom vremena.

ZAHVALNOST

Istraživanje opisano u ovom radu finansirano je od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Srbije.

LITERATURA

- [1] Balconi, M. & Laboranti, A. (2006) University–industry interactions in applied research: The case of microelectronics, *Research Policy*, 35 (10), 1616-1630.
- [2] Capo-Vicedo, J., Molina-Morales, F. X. & Capo, J. (2013) The role of universities in making industrial districts more dynamic. A case study in Spain, *Higher Education*, 65 (4), 417-435.
- [3] Horvat, B., Kovačević, M., Madžar, Lj., Maksimović, D., Ostračanin, M., Ratković, M., Sicherl, P. & Tričković, V. (1971). *Nauka i tehnologija u privrednom razvoju Jugoslavije*, Knjiga 1, Opšti pogled na razvoj privrede i naučnih kapaciteta, red: dr Vidosav Tričković, Institut ekonomskih nauka, Beograd
- [4] Iqbal, A.M., Khan, A.S., Iqbal, S. & Senin, A.A. (2011). Designing of Success Criteria-based Evaluation Model for Assessing the Research Collaboration between University and Industry, *International Journal of Business Research and Management*, 2(2), 59-73.
- [5] Krätke, S. & Brandt, A. (2008) Knowledge Networks as a Regional Development Resource: A Network Analysis of the Interlinks between Scientific Institutions and Regional Firms in the Metropolitan region of Hanover, Germany, *European Planning Studies*, Vol 17, No. 1, 43-63.
- [6] Kutlača, Đ. & Semenčenko D. (2015) Nacionalni inovacioni sistem u Srbiji: prošlost, sadašnjost, budućnost, Institut Mihajlo Puppin, Beograd 2015
- [7] Kutlača, Đ., Semenčenko, D. & Živković, L. (2020). ICT as challenging driver for social transformations in Serbia, in book: *Society and Technology*, Routledge 2020, 124-150
- [8] Leydesdorff, L. (2004) The University-Industry Knowledge Relationship: Analyzing Patents and the Science Base of Technologies, *Journal of the American Society for Information Science & Technology*, 55 (11), 991-1001.
- [9] Morrison, A. (2008) Gatekeepers of Knowledge within Industrial Districts: Who They Are, How They Interact, *Regional Studies*, 42 (6), 817-835.
- [10] Mowery, D. & Bhavan, S. (2006). Universities in national innovation systems. *The Oxford Handbook of Innovation*, Oxford University Press, 209-239.
- [11] Perkmann, M., Neely, A. & Walsh, K. (2011). How should firms evaluate success in university–industry alliances? A performance measurement system, *R&D Management*, 41, 202–216.
- [12] Ramos-Vielba, I., Fernandez-Esquinas, M. & Espinosa-de-los-Monteros, E. (2010). Measuring university-industry collaboration in a regional innovation system, *Scientometrics*, 84 (3), 649-667
- [13] Seppo, M., & Lilles, A. (2012). Indicators measuring university cooperation. *Discussions on Estonian Economic Policy*, 20(1), 204–225. Retrieved from <http://ssrn.com/abstract=2194394>
- [14] Zivkovic, L. & Kutlača, Đ. (2018). Connections of key institutions in the field of operational research and their impact on knowledge transfer - application of the network analysis, *XLV Simpozijum o operacionim istraživanjima*, Zlatibor, 16-18. septembar, 2018, Zbornik radova, 102-108
- [15] Wasserman, S. & Faust, K. (1994). *Social network analysis: Methods and Applications*. Cambridge: Cambridge University Press.



INDIKATORI ODGOVORNOG ISTRAŽIVANJA I INOVACIJA – MOGUĆNOST PRIMENE U SRBIJI

INDICATORS OF RESPONSIBLE RESEARCH AND INNOVATION – POSSIBILITIES FOR APPLICATION IN SERBIA

NIKOLA VASILIC¹, ĐURO KUTLAČA², SANJA POPOVIĆ-PANTIĆ³

¹ Institut Mihajlo Pupin, Univerzitet u Beogradu, nikola.vasilic@pupin.rs

² Institut Mihajlo Pupin, Univerzitet u Beogradu, djuro.kutlaca@pupin.rs

³ Institut Mihajlo Pupin, Univerzitet u Beogradu, sanjap.pantic@pupin.rs

Rezime: Predmet istraživanja su indikatori odgovornog istraživanja i inovacija i mogućnost njihove primene u Srbiji. Glavni ciljevi rada su prezentovanje indikatora odgovornog istraživanja i inovacija razvijenih u okviru MoRRI projekta i analiza dostupnosti sekundarnih podataka i mogućnost prikupljanja primarnih podataka neophodnih za kreiranje indikatora kako bi se olakšao monitoring i evaluacija odgovornog istraživanja i inovacija u Srbiji. Na osnovu izvršene analize može se zaključiti da se indikatori razvijeni od strane Evropske komisije mogu uz izvesne modifikacije, tokom perioda do 2 godine, primeniti u Srbiji.

Ključne reči: Odgovorno istraživanje i inovacije, Indikatori, Srbija.

Abstract: The subject of the research is indicators of responsible research and innovation (R&I) and the possibility of their application in Serbia. The main objectives of the paper are to review responsible R&I indicators developed within the MoRRI project and to analyze the availability of secondary data and the ability to collect primary data necessary to create indicators to facilitate monitoring and evaluation of responsible R&I in Serbia. Based on the analysis performed, it can be concluded that indicators developed by the EC can be applied in Serbia with some modifications, over a period of up to 2 years.

Keywords: Responsible Research and Innovation, Indicators, Serbia.

1. UVOD

Termin odgovorno istraživanje i inovacije je po prvi put korišćen u radu Robinson (2009). Nešto kasnije, 2011. godine objavljen je prvi značajan rad u kojem je detaljnije razvijen koncept odgovornog istraživanja i inovacija, pod nazivom: *Prospects for Technology Assessment in a framework of responsible research and innovation*, autora Von Schomberg (2011). Od tada, pitanje odgovornog istraživanja i inovacija sve više okupira pažnju akademske i stručne javnosti.

U radu se analiziraju koncept odgovornog istraživanja i inovacija i posebno skup indikatora kojim se identifikuje, analizira i prati odgovorno istraživanje i inovacije u zemljama Evropske Unije (indikatori razvijeni u okviru MoRRI projekta) i mogućnost njihove primene u Srbiji, kroz analizu dostupnosti sekundarnih podataka i mogućnost prikupljanja primarnih podataka neophodnih za kreiranje indikatora kako bi se olakšao monitoring i evaluacija odgovornog istraživanja i inovacija u Srbiji.

2. KONCEPT ODGOVORNOG ISTRAŽIVANJA I INOVACIJA

Temelji koncepta odgovornog istraživanja i inovacija (OII) počivaju na ideji i elementima različitih koncepata, kao što su: anticipatorno upravljanje, procena tehnologije, uzvodno angažovanje, dizajn osetljiv na vrednost, socio-tehnička integracija (European commission, 2018).

Šta se podrazumeva pod odgovornošću u sintagmi odgovorno istraživanje i inovacije? Često se za ovaj termin vezuju dva pitanja: odgovoran kome? i odgovoran za šta?. Odgovornost se, u ovom kontekstu, odnosi na potrebu da se: ublaže veliki izazovi sa kojima se savremen svet suočava, tako da generacije koje dolaze mogu da žive u boljem svetu, kao i da se procenjuju potencijalne negativne posledice istraživanja i inovacija po društvo i životnu sredinu (Ceicyte & Petraitė, 2018).

U literaturi postoji veliki broj definicija OII. Jedna od često citiranih definicija je od već pomenutog autora Von Schomberg (2011), prema kome OII predstavlja transparentan i iterativan proces u kojem

društveni akteri i inovatori postaju međusobno odgovorni jedni drugima u pogledu održivosti, etičke i društvene prihvatljivosti inovacionog procesa i njegovog ishoda, odnosno proizvoda koji se plasira na tržište.

Koncept OII veliku primenu ima u EU kao okvir naučne politike koji treba da: 1) doprinese usklađivanju tehnoloških inovacija sa društvenim vrednostima i interesima i 2) podrži institucionalne odluke koje se tiču ciljeva istraživanja i inovacija u uslovima neizvesnosti i nedovoljnog znanja (Forsberg et al., 2018).

Da bi se podstakao razvoj i primena koncepta OII u svim evropskim zemljama, Evropska komisija je 2014. otpočela sa finansiranjem projekta pod nazivom *Monitoring the Evolution and Benefits of Responsible Research and Innovation (MoRRI)* čiji su glavni ciljevi: operacionalizacija koncepta, razvoj konceptualnog okvira i odgovarajuće metodologije i testiranje potencijala ove metodologije da bi se omogućilo praćenje trenutnog stanja i kratkoročnog razvoja OII i njegovih društveno-ekonomskih implikacija. U ovom trogodišnjem projektu učestvovalo je preko 25 različitih institucija iz 30 evropskih zemalja.

Tim Evropske komisije za izradu alata koji treba da olakšaju implementaciju ovog koncepta, definiše OII kao dinamičan i iterativan proces u kojem svi stejkholderi uključeni u istraživanje i inovacije postaju međusobno odgovorni jedni drugima i dele odgovornost za odvijanje samog procesa i njegove ishode. Tim je ustanovio i glavne elemente OII: ishodi, dimenzije procesa, stejkholderi i politička agenda (Slika 1).

Slika 1. Okvir odgovornog istraživanja i inovacija (RRI Tools Consortium, n.d.).



Primena koncepta OII rezultiraće korisnim **ishodima**. Ishodi se mogu podeliti u tri grupe: ishodi učenja, ishodi istraživanja i inovacija i rešenja velikih društvenih izazova (Frank et al., 2015). Prvenstveno, podstiče se nivo odgovornosti svih aktera u procesu istraživanja i inovacija i veći nivo angažovanja šire javnosti. Takođe, primena ovog koncepta će uticati da nauka i tehnologija budu u većoj meri u skladu sa etičkim principima, principima održivosti i više u skladu sa društvenim potrebama. Na taj način, koncept odgovornog istraživanja i razvoja postaje korisno sredstvo za efikasnije suočavanje društva sa *velikim izazovima* 21. veka, kao što su: zdravlje i demografske promene; održivost poljoprivrede, vodoprivrede i šumarstva; čista i efikasna energija; inkluzivna i inovativna društva; klimatske promene i dr. (RRI Tools Consortium, n.d.).

Da bi se ostvarile koristi od implementacije ovog koncepta, potrebno je da budu ispoštovani određeni principi, koji se odnose na sam proces istraživanja i inovacija - **dimenzije procesa**. Dimenzije procesa istraživanja i inovacija relevantne za koncept odgovornog istraživanja i inovacija su: anticipacija i refleksivnost, responzivnost i adaptivnost, transparentnost i otvorenost, inkluzivnost i raznolikost.

Politička podrška je nezaobilazna u ovom procesu. Evropska komisija je predložila normativni okvir u formi ključnih oblasti koje treba da budu sadržane u **političkim programima** kada se govori o odgovornom istraživanju i inovacijama: rodna ravnopravnost, etika i istraživački integritet, veća uključenost šire javnosti, otvoren pristup, upravljanje, naučno obrazovanje i pismenost.

Odgovornog istraživanja i inovacija nema bez stalnog dijaloga između različitih **stejkholdera**: kreatora politike, obrazovne zajednice, istraživačke zajednice, poslovnog sektora, organizacija civilnog društva.

3. INDIKATORI ODGOVORNOG ISTRAŽIVANJA I INOVACIJA – METODOLOŠKI PRISTUP

Evropska komisija je 2014. godine formirala ekspertsku grupu za realizaciju *MoRRI* projekta u okviru kog je jedan od glavnih zadataka bio razvoj indikatora za monitoring i procenu implikacija odgovornog istraživanja i inovacija i evaluaciju ostvarenih performansi shodno opštim i posebnim ciljevima odgovornog istraživanja i inovacija. Kreiranje indikatora je izvršeno u dijalogu sa različitim stejkholderima, poštujući pristup odozdo

prema gore. U ovom procesu indikatori su se razmatrali za 6 oblasti u tri kategorije: procesi istraživanja i inovacija, ishodi ovih procesa i način na koji se takvi procesi i ishodi percipiraju.

Indikatori identifikovani u 6 oblasti su:

1. Rodna ravnopravnost (RR). Dimenzija rodna ravnopravnost je raščlanjena na tri poddimenzije. Prva poddimenzija se odnosi na zastupljenost žena u istraživanju i inovacijama s ciljem da se smanji rodna segregacija. Ova poddimenzija se meri putem sledećih indikatora: RR1 – Udeo žena istraživača po sektorima; RR2 – Indeks nejednakosti; RR3 – Indeks staklenog plafona; RR4 – Rodne razlike u platama; RR5 – broj i udeo žena izumitelja i autora. Druga poddimenzija se odnosi na različite aktivnosti usmerene na promociju rodne ravnopravnosti. U svrhu procene ove poddimenzije koriste se sledeći indikatori: RR6 – Udeo žena rukovodilaca istraživačkim organizacijama; RR7 – Udeo istraživačkih organizacija sa planovima za rodnu ravnopravnost; RR8 – Udeo rodno-uravnoteženih komisija za regrutovanje na nivou istraživačke organizacije. Treća poddimenzija se odnosi na promociju uključivanja pitanja rodnog aspekta u istraživanja i procenjuje se preko sledećih indikatora: RR9 – Udeo organizacija za finansiranje istraživanja koje promovišu uključivanje rodnog aspekta u istraživanjima; RR10 – Udeo istraživačkih organizacija sa politikama za promociju rodnog aspekta u istraživanjima.

2. Naučno obrazovanje i naučna pismenost (NOP) su utvrđeni kroz aktivnosti koje imaju za cilj da građanima omoguće dublje razumevanje nauke, da bi na osnovu toga mogli da formiraju svoje mišljenje i stavove prema određenim pitanjima iz oblasti nauke i da doprinesu kreiranju naučnih politika. Za procenu ove dimenzije predviđena su četiri indikatora: NOP1 – Naučni programi; NOP2 – Treninzi vezani za odgovorno istraživanje i inovacije; NOP3 – Kultura naučne komunikacije; NOP4 – Građanska nauka.

3. Uključenost javnosti (UJ) se definiše kroz aktivnosti u kojima građani i ostali akteri procesa istraživanja i inovacija imaju posebnu ulogu. Reč je o angažovanju aktera nauke u aktivnostima edukacije građana, informisanja donosilaca odluka, olakšavanja dijaloga i uključivanja građana u proces odlučivanja. UJ1 – Modeli uključivanja javnosti u odlučivanje o nauci i tehnologiji; UJ2 – Politički orijentisan angažman sa naukom; UJ3 – Indeks demokratizacije istraživanja i inovacija; UJ4 – Nacionalna infrastruktura za uključivanje građana i društvenih aktera u istraživanje i inovacije; UJ5 – Aktivno traženje informacija o kontroverznoj tehnologiji; UJ6 – Sklonost građana da aktivno učestvuju u odlukama u domenu nauke i tehnologije; UJ7 – Nivo mehanizama javnog angažovanja koji se primenjuju na nivou univerziteta i istraživačkih organizacija; UJ8 – Opredeljeni resursi za uključivanje javnosti; UJ9 - Integrisanje aktivnosti uključivanja javnosti u strukturu finansiranja ključnih javnih organizacija za finansiranje istraživanja; UJ10 – Elementi uključivanja javnosti kao kriterijumi za ocenjivanje predloga istraživanja.

4. Otvoren pristup (OP) znači da svako ko želi može slobodno pristupiti rezultatima određenog istraživanja. Glavni preduslov slobodnog i otvorenog pristupa jeste javno finansiranje istraživanja dostupnih široj javnosti. U okvirima nauke, termin otvoren pristup se, pre svega, odnosio na mogućnost besplatnog korišćenja recenziranih naučnih publikacija. Pored toga, ovaj termin uključuje i otvoren pristup istraživačkim podacima, odnosno podacima na bazi kojih je samo istraživanje realizovano. Indikatori otvorenog pristupa su: OP1 – Literatura sa otvorenim pristupom; OP2 – Publikacije podataka i citata po zemljama; OP3 – Diseminacija publikacija i podataka o istraživanjima preko društvenih medija; OP4 – Percepcija javnosti o otvorenom pristupu; OP5 – Mandati za finansiranje; OP6 – Podrška istraživačima od strane istraživačkih organizacija u pogledu podsticaja ili zabrane deljenja podataka.

5. Etika (E). Etika se meri za javne istraživačke organizacije i za organizacije koje finansiraju istraživanja i pokazuje u kom stepenu su prisutne komisije za etičku procenu kao i snagu njihovog uticaja na istraživačke aktivnosti. E1 – Etika na nivou univerziteta; E2 – Nacionalna komisija za etiku; E3 – Indeks etike organizacija za finansiranje istraživanja.

6. Upravljanje (U) je definisano kao način na koji društveni akteri i država stupaju u interakciju s ciljem transformacije naučno-tehnološkog i inovacionog sistema, regulišući ključna pitanja društvenog interesa, definišući procese i smernice za stvaranje inovacija, utvrđujući kako se one uvode, koriste i šire kroz društvo. U1 – Kompozitni indikator: upravljanje odgovornim istraživanjem i inovacijama; U2 – Postojanje formalnih upravljačkih struktura za upravljanje odgovornim istraživanjem i inovacijama unutar istraživačkih organizacija i organizacija za finansiranje istraživanja; U3 – Udeo istraživačkih organizacija i organizacija za finansiranje istraživanja koje promovišu odgovorno istraživanje i inovacije

Iz navedenog se može videti da se prilikom merenja OII koristi veliki broj raznovrsnih indikatora. Sveobuhvatnom analizom navedenih indikatora ostvaruje se potpuni uvid u trenutno stanje odgovornog istraživanja i inovacija i moguće pravce razvoja u budućnosti, ali i sagledavanje razlika u ovoj oblasti između zemalja. Studije sprovedene u okviru *MoRRI* projekta su jasno pokazale da zemlje sa visokim ulaganjima u istraživanje i razvoj nesumnjivo imaju efikasnije i progresivnije politike koje se tiču rodne ravnopravnosti, ali da je istovremeno napredak u smislu unapređenja rodne zastupljenosti sporiji nego u ostalim zemljama,

posebno zemljama Istočne Evrope, što ukazuje na problem inertnosti u velikim istraživačko-razvojnim i inovacionim sistemima. Merenje implikacija OII je prilično složen poduhvat za svaku zemlju, ali na duge staze višestruko isplativ za čitavo društvo.

4. MOGUĆNOSTI ZA KREIRANJE INDIKATORA OII U SRBIJI

U Tabeli 1 prikazane su neke smernice za kreiranje indikatora OII u Srbiji. Za te potrebe primenjena je metodologija razvijena u okviru MoRRI projekta uz izvesna prilagođavanja specifičnostima Srbije. Na prvi pogled se može uočiti da je za kreiranje najvećeg broja indikatora potrebno prikupiti podatke iz primarnih izvora, što samo po sebi predstavlja ograničenje iz nekoliko razloga. Prvo, prikupljanje primarnih podataka uzrokuje visoke troškove. Drugo, pitanje odziva targetiranih grupa aktera koji bi trebalo da učestvuju u istraživanju, posebno kada su izvor podataka građani. Pored toga, u okviru izveštaja *Metrics and Indicators of Responsible Research and Innovation* nisu detaljno navedene sve konstatacije koje su se koristile prilikom kreiranja indikatora, tako da će razvoj ovih indikatora i njihova primena u Srbiji zahtevati ulaganje dodatnih napora kako bi se kroz diskusiju sa zainteresovanim društvenim akterima koncipirale nedostajuće konstatacije. Manji broj indikatora kreira se pomoću sekundarnih podataka. Sekundarni podaci su uglavnom potpuno dostupni, osim u slučaju podataka neophodnih za kreiranje RR2 i RR4, koji nisu raspoloživi za poslednjih 4-5 godina.

Tabela 1. Dostupnost podataka za kreiranje indikatora OII – Srbija

Indikator	Vremenski period	Tip	Izvori podataka	Moguća pitanja	Mogućnost primene u Srbiji
RR1	2008-2018.	s	Eurostat		1
RR2	2012, 2015	s	She Figures, 2018		2
RR3	Vremenska serija	s		Broj žena / muškaraca razreda A, B, C za datu godinu	2
RR4	2014	s	She Figures, 2018		2
RR5	Vremenska serija	s	Scopus, Web of Science, ZIS Srbija	Udeo žena autora u publikacijama prema naučnim disciplinama; Udeo žena pronalazača u patentima i sl.	1
RR6	Vremenska serija	p/s	Dokumentacija naučnoistraživačkih organizacija (NIO); Upitnik popunjen od strane NIO	(broj žena rukovodilaca / ukupan broj istraživačkih organizacija)*100; pol rukovodioca istraživačke organizacije	1
RR7	Vremenska serija	p	NIO	Da li je vaša organizacija implementirala plan za rodnu ravnopravnost?	1
RR8	Vremenska serija	p	NIO	Koliko je komisija za zapošljavanje vodećih istraživača vasa organizacija formirala ___ godine? Među njima, koliko komisija za zapošljavanje je dostiglo granicu od 40% nedovoljno zastupljenog pola?	1
RR9	Vremenska serija	p	Organizacije za finansiranje istraživanja	Da li je vaša organizacija uključila rodni aspekt u sadržaj istraživanja prilikom dodele sredstava za istraživanje i razvoj?	1
RR10	Vremenska serija	p	NIO	Da li vaša organizacija uključuje rodnu dimenziju u sadržaj istraživačkih i inovacionih programa, projekata, studija?	1
NOP1	Vremenska serija	p	Ministarstvo obrazovanja, nauke i tehnološkog razvoja (MPNTR)	Da li su nastavnim planovima obuhvaćene rasprave o kontroverznim temama: GMO, 5G, Nuklearna energija? Kojim aspektima ovih tema se bave programi: etičkim, društvenim, ekološkim? i sl.	1
NOP2	Vremenska serija	p	NIO	Da li su različiti aspekti OII uključeni u obrazovanje ili obuku mladih istraživača? Da li je obuka dobrovoljna ili obavezna? Ako je dobrovoljna, koliki broj mladih istraživača je učestvovao?	1
NOP3	Podaci preseka	p	Svi relevantni društveni akteri	Prisustvo popularnih naučnih časopisa; Regularnost odeljaka posvećenih nauci u dnevnoj štampi; Javni interes u nauci i tehnologiji; i sl.	2
NOP4	Vremenska serija	p	NIO	Da li sprovedite projekte građanske nauke? Koliko ste projekata građanske nauke sprovedili u prethodne ___ godine? Koji su efekti projekata građanske nauke? i sl.	1
UJ1	Vremenska serija	p	MPNTR	Formalne procedure za uključivanje javnosti (zakonski okvir, postojeća tela za uključivanje javnosti i sl.)	2
UJ2	Podaci preseka	p	Građani	Da li učestvujete u javnim debatama o nauci i tehnologiji? Da li potpisujete peticije i učestvujete u protestima protiv zagađenja životne sredine? Da li učestvujete ili ste učestvovali u aktivnostima neke nevladine organizacije ili pokreta koji se bavi pitanjima nauke i tehnologije?	1

Indikatori	Vremenski period	Tip	Izvori podataka	Moguća pitanja	Mogućnost primene u Srbiji
UJ3	Podaci preseka	p	Gradani, organizacije civilnog društva i ostali društveni akteri	Procenite u kojoj meri su: uspostavljeni mehanizmi za efikasno uključivanje građana u odlučivanje o istraživanju i inovacijama na nacionalnom nivou; organizacije civilnog društva formalno uključene u odlučivanje o istraživanju i novacijama i sl.	1
UJ4	Podaci preseka	p	Organizacije iz šireg polja "Nauka u društvu"	Prisustvo institucija za procenu tehnologije, savetodavnih odbora koji uključuju građane i ostale stejkholdere i sl.	2
UJ5	Podaci preseka	p	Gradani	Da li ste sa nekim razgovarali ili tražili informacije o kontroverznim tehnologijama?	1
UJ6	Vremenska serija	p	Eksperti iz oblasti nauke i tehnologije	Koliki bi nivo uključenosti građana trebalo da bude kada je reč o odlukama o nauci i tehnologiji?	1
UJ7	Vremenska serija	p	Univerziteti i instituti	Koji od sledećih mehanizama koristite da biste komunicirali sa građanima i ostalim društvenim akterima: Istraživački projekti u partnerstvu sa neakademske organizacijama; Saradnja sa nevladinim organizacijama i organima lokalne samouprave; Predstavnici šire društvene zajednice u odborima i sl.	1
UJ8	Vremenska serija	p	Univerziteti i instituti	Navedite iznos sredstava koji je u okviru budžeta opredeljen za: dane otvorenih vrata univerziteta, učešće na festivalima nauke; konferencije namenjene široj javnosti; ukupan budžet institucije.	1
UJ9	Vremenska serija	p	Organizacije za finansiranje istraživanja	Da li postoje programi koji posebno podržavaju aktivnosti uključivanja javnosti?	2
UJ10	Vremenska serija	p	Organizacije za finansiranje istraživanja		2
OP1	Vremenska serija	s	Centre for ST Studies, Leiden University		1
OP2	Vremenska serija	s	Web od Science – Data Citation Index		1
OP3	Vremenska serija	s	Centre for ST Studies, Leiden University		2
OP4	Podaci preseka	p	Gradani	Da li mislite da bi rezultati istraživanja finansirani od strane države trebalo da budu dostupni bez naknade?	1
OP5	Vremenska serija	s	OpenAIRE; opendoar; doaj; Časopisi sa otvorenim pristupom u Srbiji - Narodna Biblioteka Srbije	Broj časopisa sa otvorenim pristupom; Broj repozitorijuma sa otvorenim pristupom; i sl.	1
OP6	Vremenska serija	p/s	NIO	Namenska sredstva za deljenje podataka; Repozitorijumi podataka koji sadrže komentare i objašnjenja za lakšu upotrebu; Mehanizmi za deljenje podataka (blogovi, web sajtovi i sl.)	1
E1	Vremenska serija	p	Univerziteti i instituti	Broj NIO sa komisijom za etičku procenu istraživanja u odnosu na ukupan broj NIO, Broj mišljenja na godišnjem nivou u odnosu na ukupan broj univerzitetskog osoblja; Da li komisija za etiku može da izrazi inicijativu za analizu predloga? Da li postoji službenik za procenu istraživačkog integriteta? Da li se službenici za procenu istraživačke etike određuju po potrebi ili postoje lica koja su na toj funkciji u određenom periodu? i sl.	1
E2	Vremenska serija	p/s	Nacionalni komitet za bioetiku Srbije; SATORI projekat 2014		1
E3	Vremenska serija	p	Javne i privatne organizacije za finansiranje istraživanja	Da li organizacija za finansiranje istraživanja vrši procenu etičnosti prilikom odobravanja sredstava? Koji kriterijumi se uzimaju u obzir prilikom etičke procene? Da li se etička procena vrši za predloge iz svih naučnih disciplina? i sl.	1
U1	Zavisí od drugih indik.	p/s	Zavisí od drugih indikatora	RR7, RR8, RR9, UJ1, UJ2, UJ3, UJ4, UJ6, UJ9, UJ10, E1, E2, E3, OP1, OP2, OP3.	2
U2	Vremenska serija	p	NIO; Organizacije za finansiranje istraživanja		3
U3	Vremenska serija	p	NIO; Organizacije za finansiranje istraživanja		3

Izvor: Adaptirano prema *Metrics and indicators of Responsible Research and Innovation* (EC, 2015).

Napomena: U koloni *vremenski period* navedene su: godine za koje postoje podaci i mogućnost kreiranja vremenske serije ili podataka preseka. Kolona *Tip*: p – primarni podaci s – sekundarni podaci. Kolona *Mogućnost primene u Srbiji*: 1 – Primenljivo odmah u potpunosti; 2 – Primenljivo uz adaptaciju u periodu do godinu dana; 3 – Neophodna priprema za primenu u periodu od 1-2 godine

5. ZAKLJUČAK

Formulisanje indikatora odgovornog istraživanja i inovacija predstavlja veliki izazov za našu istraživačku zajednicu i za državu u celini. Neophodno je utvrditi koje institucije imaju kapacitet za sprovođenje kompleksnog i sveobuhvatnog istraživanja koje zahteva uključivanje velikog broja različitih društvenih aktera: stanovništvo, nevladine organizacije, poslovni sektor, predstavnike države i naučno istraživačke organizacije. Uz to, potrebno je opredeliti značajna sredstva za implementaciju ovakvog jednog istraživanja, zbog čega važnost implementacije ovakvog koncepta mora biti prepoznata od strane države kao jedan od prioriteta. Sa druge strane, olakšavajuće je to što se metodologija razvoja indikatora odgovornog istraživanja i inovacija predstavljena u okviru MoRRI projekta može koristiti kao putokaz za formulisanje ovih indikatora u Srbiji, ali uz određene modifikacije koje bi trebalo da nastanu kao rezultat dijaloga svih zainteresovanih strana. Istraživanje i prikupljanje podataka iz oblasti odgovornog istraživanja i inovacija bi trebalo da bude trajan proces, jer se samo na taj način mogu stvoriti uslovi za kontinuelan monitoring i evaluaciju odgovornog istraživanja i inovacija, a time i za identifikovanje određenih nedostataka i pravovremenog reagovanja na njihovo otklanjanje ili ublažavanje, a sve s ciljem lakšeg suočavanja sa glavnim izazovima današnjice.

ACKNOWLEDGEMENT

Research presented in this paper was financed by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

LITERATURA

- [1] Ceicyte, J., & Petraite, M. (2018). Networked Responsibility Approach for Responsible Innovation: Perspective of the Firm. *Sustainability*, 10, 1-15.
- [2] European Commission (2018). Monitoring the evolution and benefits of responsible research and innovation.
- [3] European Commission (2015). Metrics and indicators of Responsible Research and Innovation.
- [4] Forsberg, E.M., Shelley-Egan, C., Ladikas, M., & Owen, R. (2018). Implementing Responsible Research and Innovation in Research Funding and Research Conducting Organisations—What Have We Learned so Far? *SpringerBriefs in Research and Innovation Governance*, 3–11.
- [5] Kupper, F; Klaassen, P., Rijnen, M., Vermeulen, S., & Broerse, J. (2015). Report on the quality criteria of Good Practice Standards in RRI. <https://irihs.ihs.ac.at/id/eprint/4713/1/2018-griessler-wuketich-morri-monitoring-responsible-research-innovation.pdf>
- [6] Owen, R., Macnaghten, P., Stilgoe, J. (2012). Responsible research and innovation: From science in society to science for society, with society. *Sci. Public Policy*, 39, 751–760.
- [7] Robinson, D.K.R. (2009). Co-evolutionary scenarios: An application to prospecting futures of the responsible development of nanotechnology. *Technological Forecasting and Social Change* 76(9), 1222–1239.
- [8] RRI Tools Consortium (n.d.). A Practical Guide to Responsible Research and Innovation - Key lessons from RRI Tools. <https://www.rri-tools.eu/documents/10184/16301/RRI+Tools.+A+practical+guide+to+Responsible+Research+and+Innovation.+Key+Lessons+from+RRI+Tools>
- [9] Stilgoe, J., Owen, R., & Macnaghten, P. (2013). Developing a framework for responsible innovation. *Res. Policy*, 42, 1568–1580.
- [10] Von Schomberg, R. (2011). Prospects for Technology Assessment in a framework of responsible research and innovation. *SSRN Electronic Journal*.



POLITIKA OTVORENE NAUKE U SRBIJI KAO ASPEKT ODGOVORNOG ISTRAŽIVANJA I RAZVOJA

OPEN SCIENCE POLICY IN SERBIA AS AN ASPECT OF RESPONSIBLE RESEARCH AND INNOVATION

DIJANA ŠTRBAC¹, ĐURO KUTLAČA², DUŠICA SEMENČENKO³

¹ University of Belgrade, Institute „Mihajlo Pupin“, Belgrade, dijana.strbac@pupin.rs

² University of Belgrade, Institute „Mihajlo Pupin“, Belgrade, djuro.kutlaca@pupin.rs

³ University of Belgrade, Institute „Mihajlo Pupin“, Belgrade, dusica.semencenko@pupin.rs

Rezime: *Otvorena nauka i odgovorno istraživanje i razvoj su koncepti koji unose promene u istraživačke i inovacione politike širom sveta, a naročito u Evropi. Ovi koncepti uključuju nove elemente u dizajn, sprovođenje i evaluaciju istraživanja, kao i u predstavljanje naučnih saznanja. Ovaj rad sumira različita razmatranja odgovornog istraživanja i razvoja, a takođe objašnjava otvorenu nauku kao jednu od njegovih dimenzija. Cilj istraživanja je da predstavi indikatore otvorene nauke u Republici Srbiji i uporedi ih sa relevantnim EU državama. U radu je dat pregled broja publikacija sa otvorenim pristupom, broja otvorenih repozitorijuma i nacionalnih politika u domenu otvorene nauke.*

Ključne reči: *Otvorena nauka, Odgovorno istraživanje i razvoj, Istraživačka i inovaciona politika, Srbija.*

Abstract: *Open science and responsible research and innovation are emerging concepts which introduce changes in research and innovation policies around the world and especially in Europe. Those concepts include new elements in research design, performance, evaluation and communication of scientific knowledge. This paper summarizes different considerations of responsible research and innovation and also explains open science as one of its dimensions. The purpose of this study is to present open science indicators in the Republic of Serbia and compare it with relevant EU countries. It offers an overview of open access publications, open access repositories and national open science policies.*

Keywords: *Open Science, Responsible Research and Innovation, Research and Innovation Policy, Serbia.*

1. INTRODUCTION

Research and innovation are the most important driving forces of socio-economic development. They have huge potential to cope with global challenges, including those identified in the Sustainable Development Goals. Research and innovation policies are focused not only on increasing results, but also on managing risks and ethical issues which emerge in the modern era. Technological development and scientific advances open up various questions related to responsibility, governance and openness of scientific communities, processes and outputs.

The concept of responsible research and innovation (RRI) was developed by the European Union as a policy approach in science and technology, in order to link scientific advances and expectations of the wider society. It involves several dimensions: public engagement, gender equality, science education, ethics, open access and governance. Responsible research and innovation is implemented in the EU programme Horizon 2020, and especially in the “Science with and for Society” objective. Responsible research and innovation is conceived as a dialogue between all actors participating in the innovation process in order to enable benefits for researchers, policy makers and society in general.

Open science as one of the RRI dimension enables better knowledge sharing and fosters innovation in public and private sector. It is a broad concept which includes various activities focused on removing barriers in sharing different results, data or methodology. There are different terms which can be classified under open science: open access to publications, open source software, open research data, open peer review, open educational resources, open monographs, citizen science, research crowdfunding and other.

2. CONCEPTS OF RESPONSIBLE RESEARCH AND INNOVATION AND OPEN SCIENCE

According to the European Commission responsible research and innovation is “an approach that anticipates and assesses potential implications and societal expectations with regard to research and innovation, with the aim to foster the design of inclusive and sustainable research and innovation” (European Commission, 2014). The definition also implies the necessity that all actors involved in research and innovation process collaborate so that their results become more useful for the society as a whole.

Rome Declaration from November 2014 has identified the ways in which the benefits of RRI go beyond alignment with society: it includes new individuals and new ideas; it contributes to smart and sustainable solutions; it builds trust between citizens and R&I institutions; it helps in accepting innovative products and offers useful tools in risk management (European Commission, 2014). Also, this declaration calls on all relevant organisations in the European Union to consider RRI as a central objective in shaping relevant policies and actions.

Responsible Research and Innovation (RRI) can be defined as a “transparent and interactive process by which societal actors and innovators become mutually responsive to each other with a view to the (ethical) acceptability, sustainability and societal desirability of the innovation process and its marketable products - in order to allow a proper embedding of scientific and technological advances in our society” (Von Schomberg, 2011). Therefore, responsible innovation contributes to the sustainable development. However, this definition of RRI has been a subject of criticism due to its imprecise language and therefore the possibility to have several meanings (Loureiroa & Conceição, 2019).

It can be identified three key dimensions of responsible innovation: 1) innovations must avoid harming people and the planet as a whole; 2) innovations need to “do good” by offering new products, services or technologies that foster sustainable development; 3) responsible global governance is necessary for achieving the first two requirements (Voegtlin & Scherer, 2015).

In order to foster the development of RRI, in 2014 the European Commission funded the RRI Tools project. The project involved over 25 different institutions across 30 countries and it provided a universal guide for policymakers, researchers, industries, civil society organisations and educators on questions related to responsible research and innovation. The starting point of the RRI Tools project was that research and development should be considered from a wider perspective - not only within the scientific institutions, but also from the viewpoint of the environment and society. The project defines responsible research and innovation as “a dynamic, iterative process in which all stakeholders in research and innovation become mutually responsive and share responsibility for both the process and its outcomes”. Also, the following aspects of RRI are identified:

- Ethics - how to promote research integrity.
- Gender equality - guidance on creating gender-sensitive research contents, teams and decision bodies.
- Governance - how to create structures for implementing RRI.
- Open science - how to incorporate open access into research practice.
- Public engagement - how to foster multi-actor engagement.
- Education - how to introduce RRI in inquiry-based education projects (RRI Tools Consortium).

Open science includes free access to research results and data. One of the main ideas of open science is to make publicly funded research accessible to the general public. There is no formal definition of open science, but there are different attempts. It can be considered as a “transparent and accessible knowledge that is shared and developed through collaborative networks” (Vicente-Saez & Martinez-Fuentes, 2018). The OECD describes open science as „making the primary outputs of publicly funded research results – publications and the research data – publicly accessible in digital format with no or minimal restriction as a means for accelerating research“ (OECD, 2015). The open science is based on a premise that digital technologies enable different ways of sharing knowledge and establishing collaborations. The concept in its broad sense includes applying principle of openness to the whole research cycle and not only on research results.

Although open science is one of the key priority areas of the European research and innovation policy, there is still a challenge related to lacking of evidence in this field. One of the attempts in monitoring open science indicators was made by RAND Europe and its partners—Deloitte, Observatoire des Sciences et des Technologies, Altmetric and Digital Science. This monitor was developed on behalf of the European Commission, DG Research and Innovation. The most important characteristics of open science which are selected in this monitor are open access, open research data and open communication activities. Each of these characteristics is linked with several indicators which measure the progress made. Figure 1 illustrates how the proposed indicators (presented in the outside circle) align with each of the three core open science characteristics (presented in the inner circle). It is important to have in mind that open science is more than

the three characteristics chosen in this monitor, but they represent the core features which are the most developed and available for tracking (Smith, Gunashekar, Lichten, Parks & Chataway, 2016).

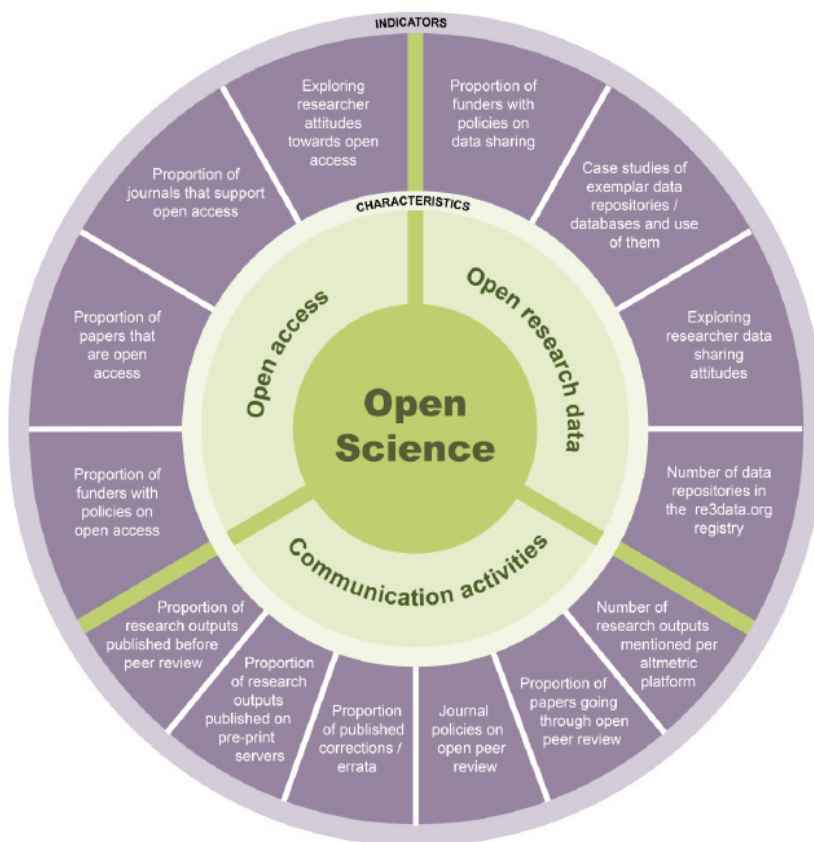


Figure 1: Alignment of proposed indicators with core open science characteristics to be monitored
Source: Smith, et al, 2016.

Since the RRI concept has several dimensions, its benefits are very broad and include societal, democratic and economic aspects. The benefits should be also considered as driven and reinforced by several RRI dimensions. Open access enables creating research environment in which research products are accessible as inputs for future research (benefit for science) or as knowledge useful for other users (societal or economic benefits). It offers an efficient way for using valuable resources and creating more responsive R&I system (European Commission, 2018).

3. OPEN SCIENCE POLICIES IN SERBIA

National open access policy in the Republic of Serbia was introduced in 2018 and it is titled Open Science Platform. The Ministry of Education, Science and Technological Development has created and published this open access policy. The main goals of this policy are open access to research literature, research data and methodology, as well as development of digital infrastructure for achieving it.

The main elements of Serbian open access policy are:

- Open access must be provided to an electronic copy of the published version (if allowed by the publisher's policy) or the peer-reviewed version (accepted for publication) of every scholarly publication.

- Open access to the full text of the published research outputs must be enabled immediately, if possible, and certainly no later than 12 months after the date of publication in case of physical and medical sciences, and engineering, or no later than 18 months in case of social sciences and humanities.
- It is supported Green Open Access, i.e. depositing published research outputs in digital repositories with full respect to copyright and rights granted to publishers.
- Universities and research institutes should define and adopt their open science platforms within six months, in accordance with the platform (Open Science Platform, 2018).

The new Law on Science and Research, adopted in 2019, recognizes open science as a crucial principle of scientific and research activities. The Law states that the open science and optimal use of scientific research infrastructure will increase the quality and visibility of scientific results. Also, the principles of open science and open access to scientific publications and research data are based on the recommendations of the European Commission and international best practices. According to the one of the articles, the data from the Register of Research Organizations and the Register of Researchers in Serbia are publicly available on the website of the Ministry in a machine readable format, ready for use and re-use (The Law on Science and Research, 2019).

Even before introducing official open access policies, Serbian researchers had certain experience in this field. According to the survey on open science awareness in Serbia from 2017, around 34% of the respondents were involved in a research project that had some form of regulation regarding open science. The explanation for this relatively high percentage is that some project teams had their own policies regarding open access or that some researchers had misperceptions about the principles of open access publishing. About 18% of participants in this research stated that most of their publications include open access, while 35% have published only a minor portion in open access regime (Čolović & Pajić, 2017).

4. OPEN SCIENCE INDICATORS IN SERBIA

Serbia is participating in OpenAIRE project which offers various information and data, and supports open science in different European countries. OpenAIRE is a network of open science experts promoting and providing training in this field. At the same time, it is a technical database collecting outputs from various data providers.

According to the OpenAIRE statistics, number of open access publications shows an upward trend in period 2000-2016, and especially after 2010 (Figure 2). Although it is visible decrease of open access publications after 2017, it is expected the continuation of the increasing trend due to the national measures undertaken.

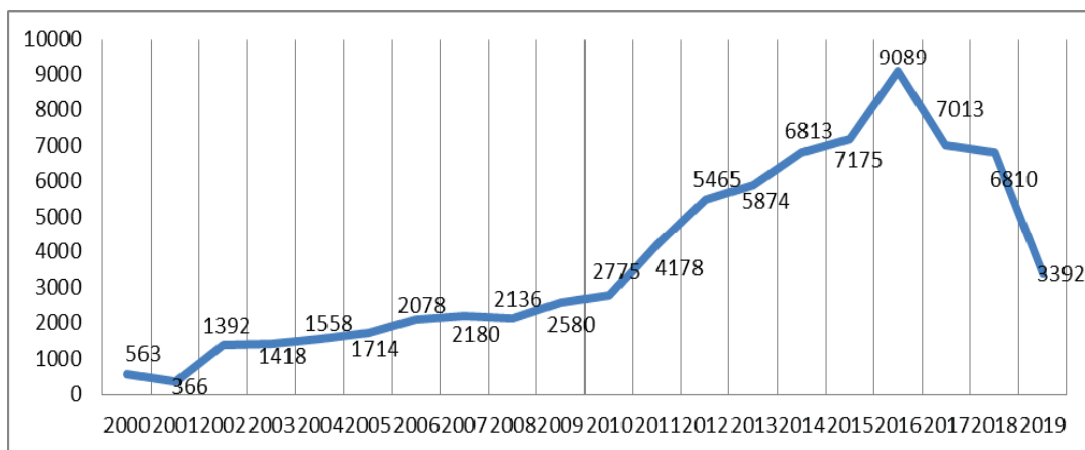


Figure 2: Number of open access publications in the Republic of Serbia

Source: OpenAIRE statistics (<https://www.openaire.eu/item/serbia>)

In period 1990-2019, Republic of Serbia had 77.860 open access publications in 174 repositories. The Table 1 presents 10 repositories with the highest number of open access publications. Around 23% of all open access publications are in Serbian Citation index and National Repository of Dissertations in Serbia.

Table 1: Open access repositories in the Republic of Serbia

Repository	Number of OA publications
SCIndex	9.038
National Repository of Dissertations in Serbia (NARDUS)	8.966
Digital Archive of the publications of the Serbian Academy of Sciences and Arts	5.411
Repository of the Vinča Institute of Nuclear Sciences	3.371
Thermal Science	2.806
Journal of the Serbia Chemical Society	2.654
Vojnosanitetski preglad	2.559
RADaR	2.448
Serbian Archives of Medicine	1.881
Archives of Biological Sciences	1.842

Source: OpenAIRE statistics (<https://www.openaire.eu/item/serbia>)

When comparing to the selected EU countries, Serbia has lower number of open access publications than Croatia, Slovenia and Austria. On the other hand, Serbia has better results in this field in comparison with Bulgaria, Romania, Slovakia and Hungary (Figure 3).

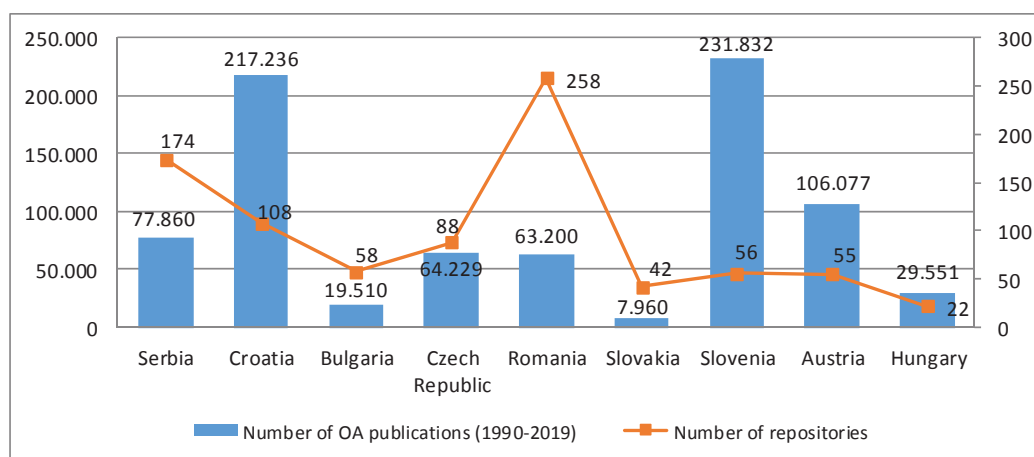


Figure 3: Open access publications and repositories in selected countries

Source: OpenAIRE statistics (<https://www.openaire.eu/item/serbia>)

The Figure 3 also presents number of repositories of open access publications. It is visible that Serbia has more repositories than majority of selected countries. Namely, only Romania has higher number of open access repositories.

5. CONCLUSION

Open access to research data, results and methodology is one of preconditions in developing knowledge based economy. Principles of open science are considered as very important on the European and national level since they enable more responsible and efficient research and innovation. Promoting the idea of open science is especially beneficial in developing countries since it improves relevance of scientific results and increases cooperation between business and academic sector. Therefore, open science should not be

considered as a goal, but as a tool to achieve excellent science, increased collaboration and higher impact of research activities.

Republic of Serbia adopted a national open access policy in 2018 and it is called an Open Science Platform. The devotion to the open science is also reflected in several articles in the new Law on Science and Research. In period 1990-2019, Republic of Serbia had 77.860 open access publications in 174 open access repositories. It is visible an increasing trend in open access publication. In a comparative perspective, Serbia has significant open science results and in some cases they exceed achievements of certain selected EU countries.

ACKNOWLEDGEMENT

The research described in this paper was funded by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

REFERENCES

- [1] Čolović, P. & Pajić, D. (2017). Survey on open science attitudes and experiences among Serbian scholars. BeOpen project report. Retrieved from:
<http://www.beopen.uns.ac.rs/documents/35a4f18a51b8b1b54a9dec74afea72a3/Survey%20on%20open%20science%20awareness%20in%20Serbia.pdf>
- [2] European Commission (2014). Rome Declaration on Responsible Research and Innovation in Europe, pp.1–2.
- [3] European Commission, Horizon 2020, Responsible research & innovation. Retrieved from:
<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/responsible-research-innovation>
- [4] European Commission. (2018). Monitoring the evolution and benefits of responsible research and innovation. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- [5] Loureiro, P.M. & Conceição, C.P. (2019). Emerging patterns in the academic literature on responsible research and innovation. *Technology in Society*, Volume 58.
- [6] OECD. (2015). “Making Open Science a Reality”, OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, No. 25, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/5jrs2f963zs1-en>
- [7] Open Science Platform (2018). Retrieved from:
<http://open.ac.rs/svevesti/87328781babfe70aad60429fad8f4feb/Open-Science-Policy-Serbia.pdf>
- [8] OpenAIRE statistics (<https://www.openaire.eu/item/serbia>)
- [9] RRI Tools Consortium, A Practical Guide to Responsible Research and Innovation - Key lessons from RRI Tools. Retrieved from:
<https://www.rri-tools.eu/documents/10184/16301/RRI+Tools.+A+practical+guide+to+Responsible+Research+and+Innovation.+Key+Lessons+from+RRI+Tools>
- [10] Smith, E., Gunashekar, S., Lichten, C., Parks, S. & Chataway, J. (2016). A framework to monitor open science trends in the EU. OECD Blue Sky III Forum, Informing science and innovation policies: Towards the next generation of data and indicators. 19– 21 September 2016, Ghent, Belgium
- [11] The Law on Science and Research (2019). Official Gazette of the Republic of Serbia, No 49/2019.
- [12] Vicente-Saez, R. & Martinez-Fuentes, C. (2018). Open Science now: A systematic literature review for an integrated definition. *Journal of Business Research*, Volume 88, pp. 428–436.
- [13] Voegtlin, C. & Scherer, A. (2015). Responsible Innovation and the Innovation of Responsibility: Governing Sustainable Development in a Globalized World, *Journal of Business Ethics*:1-17.
- [14] Von Schomberg, R. (2011). Prospects for technology assessment in a framework of responsible research and innovation, in: *Technikfolgen abschätzen lehren: Bildungspotenziale transdisziplinärer Methode*, P.39-61, Wiesbaden: Springer VS.

Logistika i lanci snabdevanja

*Logistics and Supply Chain
Management*



A SIMULATION-OPTIMIZATION APPROACH FOR ASSESSING A 3PL'S LAST-MILE DELIVERY DISRUPTION FROM A NEW CLIENT ACQUISITION

MILOŠ RUŽIĆ¹, DRAŽEN POPOVIĆ², MILORAD VIDOVIĆ³, BEŠIĆ DUŠAN⁴

¹ University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, ruzic.milos03@gmail.com

² University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, d.popovic@sf.bg.ac.rs

³ University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, m.vidovic@sf.bg.ac.rs

⁴ Milšped Group, Product Manager Contract Logistics, dusan.besic@milsped.com

Abstract: *An increasing number of logistics and companies engaged in other activities are turning their attention to the development of the company through various analytics. It is through quality analysis that companies can gain a market advantage over their competitors. This paper focuses on the analysis of the distribution system of one of the largest logistics companies in Serbia. The analysis refers to the current company state, after which was presented the idea of defining the price that the company can offer to its future customers. Pricing is done using a simulation-optimization model developed in Python 3.7. In addition to the simulation itself, great importance is given to the development of a heuristic model for solving vehicle routing problems that contain a combination of the nearest neighbor algorithm with 2-OPT, Swap, Relocate and Path Relocate route enhancement algorithms.*

Keywords: *Simulation, Heuristics, Optimization, VRP.*

1. INTRODUCTION

One of the problems that logistics companies face daily is the distribution of goods. Distribution aims to deliver the goods to end users with minimal cost but the maximum level of quality of service (Mičeta et al. 2019). In addition to the fact that the last mile in the supply chain requires the highest financial costs, it is also the least efficient and most polluted part of the supply chain (Gevaers et al. 2014), which further indicates the importance of optimizing it. A company that wants to reach a competitive price in the market while earning some profit must continuously improve its distribution process. Another problem that companies are facing is the pricing of the service they offer to their customers. On the one hand, it is necessary to provide a sufficiently low price that is competitive in the market. At the same time, on the other, it has to be sufficiently high to be profitable for the logistics provider. This is where it is necessary to find the optimal balance and enter the market with a fair offer.

For a company to determine the price of the service mentioned above, it is necessary to be informed about the current state of distribution in the company. After that, the company has to guess how the eventual arrival of a new client would affect her. One of the beneficial methods for solving such problems can be simulation. It is one of the most powerful methods whose use provides quality analysis as well as quantification and sizing of logistics systems in general (Toth & Vigo 2014). In order to present the simulated system as close to real as possible, it is possible to use data from the past to form the simulation. This data, with adequate processing and analysis, can significantly contribute to the company in its decision-making process, so companies store them and keep them in different databases. For this paper, data on deliveries over a period of one month from one logistics were provided from one company in Serbia. Data can be used to create an image of the current state of distribution but also to simulate the arrival of a new client. In addition to simulating the entry of a new customer into the distribution system, much attention is given to the Vehicle Routing Problem (VRP). In practice exist a large number of both mathematical and heuristic models that can solve this problem (Teodorović 2016). Although mathematical models provide optimal solutions, they are not often used in practice because they belong to the group of NP-hard models. On the other hand, there are plenty of heuristics that can provide a sufficiently good solution for a short period, which is close to optimal and is more often used in practice.

The paper aims to propose one approach that can help a company define the cost of service to new clients. The idea is first to establish the current state of distribution based on past data, and then use the simulation to define the appearance of the system after the arrival of a new client. Comparative analysis of the system before and after the client's arrival shows the impact of his arrival on the distribution costs. It should also be

mentioned that the model itself was developed using Python 3.7 programming language in Spyder environment. The paper is organized into two segments. The first part deals with the formation of a heuristic model for solving VRP, as well as the definition of a simulation model. In the second part of the paper, after explaining the problem and analyzing the input data, the use of the VRP model is presented, and thus the current state of the company is presented. After that, the input parameters of the simulation model were defined, after which again the condition was obtained, using the VRP model, which depicts the system upon arrival of a new user.

2. FORMING OF THE HEURISTIC MODEL

The most significant contribution to this work is the development of a simulation-optimization model aimed at defining the optimal price of the service offered to clients. The model itself consists of two parts. First of all, a heuristic VRP model related to vehicle routing has been developed, and its application gives the current state of distribution in the company. The second part of the model refers to the concept of simulating the arrival of a new user to the system, and in the next section of the paper, both models are defined.

2.1 Heuristic VRP model

VRP is one of the key problems in logistics that involves servicing many users with vehicles from a depot. The solution that can be obtained by using different algorithms is the path that vehicles should follow when they leave the depot. Therefore, it is necessary to define routes (that incurs minimal costs) in such a way that vehicles leave the depot, serve the maximum number of locations, taking care not to exceed the set limits, and then return to the depot afterwards (Ružić et al. 2019). Restrictions to be taken into account are most often related to the capacity of the vehicle, the driver's working time, and the like. The following section briefly explains the algorithms used to form the heuristic VRP model.

The Nearest Neighbor (NN) algorithm was used, which, because of its simplicity, is one of the most commonly used algorithms in practice. It functions in such a way that when the vehicle leaves the depot, it first serves the nearest location. The next serving location is the one closest to the previously served location, and then this process is repeated until the last location is served. Once all the locations have been serviced, the vehicle returns to the depot, thus ending the route. However, using this algorithm can very often result in solutions that are not close to optimal. For this reason, this algorithm is most commonly used in practice in conjunction with some of the many route enhancement algorithms. The second algorithm used to form the VRP model relates to 2-OPT enhancements. It is used for a reason mentioned above, to improve the route obtained in this case using the NN algorithm. It works by separating two arcs from the existing route and connecting them differently, taking care not to get two cycles from one route. When all the arcs are connected, the total distance travelled by the vehicle is measured, and then is being compared with the condition before changing the positions of the arcs. If the savings are achieved, the arcs remain connected; otherwise, they return to their starting position. The procedure is repeated for all possible pairs of arcs in the route. In addition to the two algorithms above, three other enhancement algorithms were used to form the heuristic model, namely Swap, Relocate, and Path Relocate. Unlike the 2-OPT algorithm, which reduces vehicle distances solely within one route, these three algorithms aim to reduce the total distance travelled by two or more vehicles serving locations on the same day or for a different period (Toth & Vigo 2014).

A combination of the previous algorithms has formed a heuristic VRP model. First of all, the "giant" route was obtained using the NN, and then it was enhanced with the 2-OPT. Such a route does not meet the capacity constraints of the vehicle and the driver's working time, so it needs to be divided into several smaller routes to satisfy it. This is done in a way that the vehicle follows the resulting gigantic route as long as the restrictions allow location maintenance. The first location that would exceed any of the restrictions indicates that the vehicle is returning to the depot, and it becomes the first location to be served by the next route. This produces a greater number of "truncated" routes that satisfy the constraints. These routes then go through the 2-OPT enhancement again and then through the Relocate, Swap, and Path Relocate algorithm.

2.2 Simulation model

In addition to the VRP model itself, which will represent the current state, it is also necessary to define the simulation concept used in our approach. It refers to identifying new deliveries that simulate the requirements of a new user entering the system. It is required to determine the parameters based on which they will be formed and then add them to the existing state. The simulation model itself depends on five input parameters. First of all, it is the number of objects that the user requires for service. This involves randomly selecting a certain number of objects from the set of all objects that were once served in the period

under review. When these facilities are chosen, the question arises as to what day their service will be realized. This is defined randomly with a certain probability P . It represents the possibility of a specified object being served on a given day. It is this probability that represents the second input parameter of the simulation. After defining it, it is clear on what days the objects will be served, after which it is still necessary to define the number of goods required by the new user. It is expressed in the number of pallets and kilograms per delivery and is determined using three new input parameters. First of all, based on existing data, it is established that the number of pallets appearing in delivery is closest to the exponential distribution. On this basis, the number of pallets of the new user is determined precisely according to the exponential distribution with parameter λ , which also represents the third input parameter. The last two parameters relate to assessing the weight of delivery that is associated with the number of pallets. As it is determined from the input data that the weight of one pallet can most closely be defined according to the normal distribution, the last two parameters are μ and σ that determine these values. After identifying the mentioned parameters, simulated deliveries are added to existing ones. For all deliveries, the re-defined heuristic VRP model is now being applied. However, since a random event plays a rather significant role in the simulation, the process is repeated. After a large number of iterations, the average value represents the final results of the system after the arrival of a new client, and the impact of its appearance can be seen through a comparative analysis of the system before and after arrival.

3. TESTING OF THE HEURISTIC MODEL

To fully understand the effects of applying a defined model, it was tested on a real case example of one logistics company in Serbia. This part of the paper first presents the problem itself and represents the input data. After that, the application of the model and the results of the system before and after the arrival of the new client are presented. Based on these results, the last section presents a comparative analysis of the impact of the arrival of a new user on the system, based on which the price that the provider can offer to the new user can be defined.

3.1 Problem description and input analysis

First of all, it is necessary to define the problem itself and to show the input data related to this example. As mentioned above, the case refers to the distribution of goods by a logistics company that has a regional centre where the model was tested. Products are distributed from this centre to a large number of objects grouped into mini-clusters by ZIP code (later referred as PTT). It is these PTT clusters that represent vehicle routing locations, and vehicle velocity and distance between all objects within the PTT location are approximate values. In this example, they are 22 km/h and 2.5 km, respectively. For each PTT site, coordinates are given by which a matrix was obtained using the Euclidean distance. Data on all deliveries made within one month are provided, which, in addition to the delivery date, contains information on the delivery number, facility, PTT location, weight, and a number of pallets in delivery. The distribution is realized with nine different types of vehicles whose characteristics are shown (Table 1). It should be mentioned that the company strategy is that all deliveries over 2430 kg and 8 pallets are delivered directly, and other distributions that are less than the specified limit are routed. In addition to the payload limit and the number of vehicle pallets, there is a driver's working time limit of 9 hours. Working hours are calculated based on the distance travelled by the vehicle and the length of stay on the premises. The average speed of a vehicle between PTT locations is 65 km/h, while the dwell time of a vehicle in a PTT location depends on the number of objects the vehicle needs to serve within the PTT. The time required to service one facility within a PTT site is also an approximate value and is 10 min. After the defined input data, the VRP model mentioned above should be applied in order to obtain, first of all, the current state of distribution. It relates to the case before the arrival of a new client in the system, and this is done in the next part of the paper.

Table 1: Types of vehicles for distribution

Vehicle	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9
Capacity [kg]	729	1166	1458	2430	3402	4860	6804	9720	23328
Num. of pallets	1	4	5	8	12	15	17	20	33
Costs [m.u./km]	0,189	0,212	0,244	0,284	0,316	0,341	0,362	0,378	0,394

3.2 Review of the current case of distribution

The current case of distribution in the logistics company was obtained by applying the VRP model to input data containing information on just over 10000 deliveries that were made in the observed month. The Table

2 shows the results obtained by applying the model. The results are presented separately for those deliveries that are realized directly and for multi-stop deliveries. In the observed period, according to the obtained data, a distribution was made with a total of 337 routes with a total distance of 41618 km. The total quantity of goods distributed is 347 t, which is a total of 1128 pallets. The total cost of distribution for the observed month is 9725 monetary units (m.u.).

Table 2: Current distribution status

Delivery	Costs (m.u.)	Distance (km)	Num. of Routes	Num. of pll	Weight (kg)	Num. of objects	Monetary units (m.u.)	
							pallet	kg
Direct	510	1720	27	261	119021	27	1,9538	0,0043
Multi stop	9215	39899	310	867	228732	3402	10,6273	0,0403
Σ	9725	41618	337	1128	347753	3429	8,6200	0,0280

3.3 Distribution status after a new user arrives in the system

As mentioned above, the representation of the company after the arrival of a new user can be realized using the simulation model mentioned above. Changing the input parameters explained in detail in the previous chapter can form different types of users and their service requirements. The following is an example of input parameters that can generally display different kinds of users.

First of all, it is necessary to define the number of objects whose service a new user requires. The idea is to represent users who have a small, medium, or large service requirement, so this parameter is 100, 200, and 300 objects in different simulation variants. The second parameter related to probability P has the idea of representing customers who require higher or lower delivery frequency, so its values are 0.25, 0.5, and 0.75 in different simulation variants. The third input parameter refers to the number of pallets per delivery that is defined by the exponential distribution and can be determined based on the average number of pallets in previous deliveries. Given that the average number of pallets per delivery is 0.4, the parameter λ takes a value of $1 / 0.4$, which is 2.5. In addition to this value is used, the value reduced by 50%, which is 1,667 as well as the value increased by 100%, which is 5. The remaining two parameters related to the weight of the pallet (per delivery) are the input parameters of the normal distribution based on which this number is defined. First of all, the mean μ that represents the average weight of one pallet should be determined. According to the data from the previous period, it amounts to 521.2 kg, and in addition to this value, the values of 260.6 and 781.8 were taken as additional variants in the simulation. The last parameter σ refers to the deviation when defining the weight of the pallet, and it is always 0.1, which means that the deviation will have a value of 10% of the parameter μ . The parameters and values used for defining different simulation variants are presented in the Table 3.

Since four variable input parameters are defined, which have three different values, it is possible to form 81 different types of a new user (simulation variants). One simulation of 100 iterations was performed for each user, which represents a simulated operation of the distribution system for 100 months. Average iteration values represent the result of each simulation. The Table 4 shows the results of one of the simulations related to the arrival of the average user in the system. It requires 200 delivery facilities to be served with a probability of 0.5. The number of pallets in delivery is defined by an exponential distribution with an expected value of 0.4. In contrast, the weight of each pallet is defined by a normal distribution with an expectation of 521.1 kg and a deviation of 10%. The distribution of the company after the arrival of the average user has changed significantly compared to the current one. Total costs increase by as much as 67% to 16261 m.u. A similar increase occurs with other parameters, so the total distance travelled is 66825 km, the total number of pallets is 2348 pieces, and the total weight is 960 t. It is quite clear that as the volume of work increases, the total number of vehicle miles travelled increases, and thus the total cost. However, the Table 4 shows unit costs per pallet, as well as unit costs per kilogram of goods distributed. In this case, unit costs are smaller after the arrival of a new client, but they are greatly influenced by the structure of the new customer, that is, his distribution requirements. For this reason, in the next part of the paper, a comparative analysis is made in which the influence of the new user on the existing distribution system, in relation to its characteristics, is seen.

Table 3: Input parameters for different variants of the simulation model

Number of objects	Probability P	1/λ	μ	σ
100	0,25	0,2	260,6	-
200	0,50	0,4	521,1	0,10
300	0,75	0,6	781,8	-

Table 4: Distributive status after the arrival of the new client

Delivery	Costs (m.u.)	Distance (km)	Num. of Routes	Num. of pll	Weight (kg)	Num. of objects	Monetary units (m.u.)	
							pallet	kg
Direct	796	2719	42	426	186057	42	1,8690	0,0043
Multi stop	15464	64106	505	1922	774029	5194	8,0472	0,0200
Σ	16261	66825	548	2348	960086	5237	6,9260	0,0169

3.4 Comparative analysis of distribution before and after the arrival of a new client

The impact of the arrival of a new customer in the distribution system depends on its characteristics, i.e., the demand for the delivery of goods. Certainly, the user who requires delivery for a small number of objects with a low frequency and quantity of delivery will not have the same impact and the user who requires the daily delivery of a large number of objects with large quantities of goods. It is precisely the examination of this influence about the type of users that is the aim of the comparative analysis. First of all, the Table 5 shows the unit cost per kilogram concerning all input parameters that determine the characteristics of new users' requests. The unit costs in the table are expressed in m.u./kg. The parameter μ defines the weight of one pallet while the expected number of pallets is represented by the parameter $1/\lambda$. The P mark represents the probability of servicing each user on a given day. The table 5 shows that the unit costs vary and, in some cases, are higher and, in some cases, lower than the unit costs of the current distribution, which are 0.0280 m.u./kg. For this reason, it is necessary to present the results so that one can see in which cases and in what quantity unit costs are increasing or decreasing. The Table 6 shows the cost savings per unit cost per kilo by the arrival of a new customer who has certain characteristics of a delivery request. All values are expressed in percentages; negative ones are those where losses occur, i.e., unit costs increase, while positive values indicate savings and unit costs decrease.

Table 5: Unit cost per kilo after the arrival of a new client

Parameters	Num.	100			200			300		
		P	0,25	0,5	0,75	0,25	0,5	0,75	0,25	0,5	0,75
μ	0,2	0,0302	0,0306	0,0305	0,0307	0,0302	0,0291	0,0305	0,0291	0,0274
	0,4	0,0279	0,0265	0,0250	0,0264	0,0238	0,0216	0,0250	0,0216	0,0194
	0,6	0,0260	0,0234	0,0214	0,0234	0,0199	0,0179	0,0214	0,0179	0,0161
260,6	0,2	0,0277	0,0262	0,0247	0,0261	0,0233	0,0211	0,0247	0,0211	0,0187
	0,4	0,0239	0,0207	0,0186	0,0207	0,0169	0,0150	0,0185	0,0150	0,0134
	0,6	0,0212	0,0177	0,0156	0,0176	0,0143	0,0129	0,0156	0,0129	0,0118
521,2	0,2	0,0255	0,0228	0,0209	0,0229	0,0193	0,0170	0,0209	0,0170	0,0151
	0,4	0,0212	0,0176	0,0156	0,0176	0,0144	0,0129	0,0156	0,0129	0,0118
	0,6	0,0187	0,0152	0,0136	0,0153	0,0127	0,0116	0,0136	0,0116	0,0107
781,8	0,2	0,0255	0,0228	0,0209	0,0229	0,0193	0,0170	0,0209	0,0170	0,0151
	0,4	0,0212	0,0176	0,0156	0,0176	0,0144	0,0129	0,0156	0,0129	0,0118
	0,6	0,0187	0,0152	0,0136	0,0153	0,0127	0,0116	0,0136	0,0116	0,0107

The Table 6 shows two extreme cases. The first refers to the arrival of the customer, which requires extremely small deliveries, in which case unit costs per kilogram can be increased, which is a loss for the company. This is because new delivery locations are emerging that are not currently being served, and there are not enough goods to justify their visit. In other words, it is necessary to include new locations in the route, whose visit requires additional costs, while delivering a small amount of goods, which is certainly not profitable for distribution. On the other hand, there is a situation when a user enters the system, which requires an extremely large amount of goods compared to the existing system. In this case, unit costs can be reduced by over 50%. This is because the new user requires a large number of service locations, the network becomes denser and therefore more convenient for the distribution of goods. Also, a large number of locations coincide with those currently being served, causing some of them to exceed the defined limit (2.5 t and 8 pll) and become direct deliveries that are realized by larger vehicles. However, when the mentioned extreme cases are omitted and when the average values of input parameters that represent the requirements of average users are observed, it can be said that the arrival of a new user in the mentioned distribution system can save 5-35% in unit costs per kilogram. The Table 6 shows that each of the input parameters has a significant impact on savings. For example, a new customer who requires delivery of goods in 100 different facilities with a facility service probability per day (parameter P) of 0.5, and an expected number of pallets in delivery (parameter $1/\lambda$) of 0.4, has very different savings values in depending on the weight of one pallet in delivery (parameter μ). If the expected weight of the pallet according to the normal distribution is 260.6 kg, savings in unit cost per kilogram of 5% are achieved. When this weight is equal to 521 kg, the savings are significantly higher and amount to 26%, while in the case of a pallet weight of 781.8 kg, the savings can be up to 37%. This means that each of the characteristics of a potential customer has a significant impact on the

price of the service offered to him and that it must be defined separately for each customer. The advantage of this model in practice is that when defining the offer, the parameters are defined only for one user to whom the service is offered. This enables a much faster solution, as well as an increase in the number of iterations, which allows more precise output results.

Table 6: Savings per unit cost per pound upon arrival of a new client

Parameters	Num. obj. P	100			200			300		
		0,25	0,5	0,75	0,25	0,5	0,75	0,25	0,5	0,75
260,6	1/λ									
	0,2	-8	-10	-9	-10	-8	-4	-9	-4	2
	0,4	0	5	10	5	15	23	11	23	31
521,2	0,6	7	16	23	16	29	36	23	36	42
	0,2	1	6	12	7	17	25	12	25	33
	0,4	14	26	34	26	39	46	34	46	52
781,8	0,6	24	37	44	37	49	54	44	54	58
	0,2	9	18	25	18	31	39	25	39	46
	0,4	24	37	44	37	49	54	44	54	58
	0,6	33	46	51	45	55	59	51	59	62

4. CONCLUSION

The contribution of this work is reflected in the development of a simulation-optimization model that aims to look at the impact of the arrival of a new user in the existing distribution system. First of all, using different heuristic algorithms, the VRP model was formed. The second part of the paper deals with its application on real data provided by a logistics company in Serbia. This is where the current distribution state is obtained, and then the state after the new user arrives in the system. At the end of the paper, a comparative analysis was made, where the impact of the arrival of a new user was considered.

Based on the output, it is possible to define an adequate price for the service that can be offered to a particular user, depending on his requirements. In determining the price, the provider must be extremely careful because, as shown, some users can lead to an increase in unit distribution costs. However, most of the analyzed types of users have a positive impact on the distribution system. Of course, increasing the volume of work requires a more complex process of realizing the distribution of goods. Still, unit costs can be significantly reduced by the arrival of new users. In defining the price, the logistics company must cover all distribution costs and, at the same time, offer a low enough price to the user to compete with the market. Of course, this model may help in deciding on the offer, but in the future, it may come closer to the real world. One of the future improvements of presented approach can be the introduction of time windows, where each user will have a defined time when he can receive the goods, or application of other VRP heuristics and improvement algorithms.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the Ministry of Education, Science and Technical development of the Government of the Republic of Serbia [grant number TR36006], for the period 2011-2020.

REFERENCES

- [1] Gevaers, R., Van de Voorde, E., Vanelslender, T., 2014. Cost Modelling and Simulation of Last-mile Characteristics in an Innovative B2C Supply Chain Environment with Implications on Urban Areas and Cities. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 125, pp. 398-411.
- [2] Mičeta, D., Ostojić, I., Marković, L., Stojanović, F., 2019. Periodic replenishment with zoning: A distribution company case study. *Logic 2019*, Serbia, pp. 328-334.
- [3] Ružić, M., Popović, D., Mičeta, D., 2019. A heuristic approach to solving periodic vehicle routing problem with zoning. *Symopsis 2019*, 315-320.
- [4] Teodorović, D., *Transportne mreže*, University in Belgrade, Faculty of Transport and Traffic, Serbia, 2016.
- [5] Toth, P., Vigo, D., *Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications*, Second Edition, 2014. (MOS-SIAM Series on Optimization; No. 18). Philadelphia: SIAM.
- [6] Vidović, M., *Simulacija logističkih sistema*, University in Belgrade, Faculty of Transport and Traffic, Serbia, 2019.



FACILITY LOCATION USING A QUADRATIC ASSIGNMENT MODEL

BADRI TOPPUR¹, S. BHARADWAJ²

¹ Rajalakshmi School of Business, Chennai, India, badri.toppur@rsb.edu.in

² Sundaram Finance, Chennai, India, bharath.s92@gmail.com

Abstract: A manufacturing company, has three plants, in India. They manufacture headlamps and tail-lights for the automotive industry. This paper, looks at the facility location problem for one of the plants where 12 facilities, have to be placed in a two-column, multi-row, cellular layout. The machining sequence for 20 parts conveyed among the 12 facilities are specified. The Quadratic Assignment Problem has been classified, as an NP-hard problem for large instances. We have modelled the specific instance of facility location, as a QAP, and are reporting on the solution, obtained by an easily available non-linear solver.

Keywords: Facility Location, Quadratic Assignment Problem, Non-linear Solver, Case Study

1. INTRODUCTION

A company manufactures headlamps, rear combination lamps (RCL), and various other small lamps for automotive applications. Three plants produce about 2.8 million headlamps and 2.7 million RCL lamps per annum. The factory space is rectangular and cellular, with an aisle running down between two columns of cells. A number of facilities where-in the parts are machined, need to be placed in the best cell location, so that the products do not require to be conveyed long distances frequently. Some products may have higher priority, or may be hazardous and have to be treated differently. This is known to be a very hard industrial problem to solve and many methods and algorithms have been developed to obtain good solutions. Benchmark problems are also available to test the efficiency of a new algorithm. This problem instance was solved by the company team, using evolutionary algorithms. Our goal was to obtain a solution using traditional non-linear programming technique, which has not been tried upon the instance.

Section 2 contains the literature review relevant to this paper. Section 3 describes the industrial problem faced by the automotive manufacturing company. Section 4 explains the general formulation of the Quadratic Assignment Problem (QAP) and the concrete instance for which the data was made available. The last two sections are Section 5, that contain the computational results from the solver executions, and Section 6, with the conclusions from the output analysis.

2. LITERATURE REVIEW

The quadratic assignment problem becomes evident in a number of industrial settings. A survey of dynamic layout problems was done in 1998, by Balakrishnan and Cheng [9]. A more recent literature survey was conducted in 2006, by Drira *et al.* [6]. Solution approaches to the simple instances of QAP are explained in the textbook by Burkard *et al.* [7]. The Lawler form of the QAP which is a generalisation of the Koopmans-Beckmann form of the QAP is the traditional way to solve the problem [2]. Another exposition, by example, about how the partitioned matrix A in the quadratic objective function term $x^T A x$, is formed, is given on page 7 of the NSF report, by Bazaraa [8]. This is the methodology that we are using to formulate the problem.

Advanced algorithms for the QAP are reported by Adams and Waddell [10]. The QAP is NP hard, as proven by Garey *et al.*, and only problems of small size can be solved optimally in a reasonable amount of time [5]. This has lead many researchers to design heuristics and meta-heuristic approaches such as genetic algorithms, simulated annealing, ant colony optimisation, particle swarm optimization and other techniques to reach sub-optimal solutions in quick time. Tari *et al.* demonstrate a Tabu search approach for cellular layout design [1]. Hariprasad *et al.* present their CRAFT software package written in Java programming language, for solving facility layout problems [4]. Our interest in the study, is in using current day, spreadsheet solvers, on a specific real world instance of the problem. The algorithm used was the Generalized Reduced Gradient as designed by Lasdon *et al.* [3]. Observing and conveying the benefit of the optimised layout, to the business practitioner is the primary goal of the study.

3. PROBLEM DEFINITION

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 shopfloor 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 is 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 a feasible layout for the twelve work centres. The work centres have been numbered, and labelled according to the specifications in Table 1:. For example, the two work centres 2 and 12, 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/oriented 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 placed below the two work centres B and L, and are labelled, "3C", "5E", "8H", and "11K" in the diagram. There are other placements possible, with the twelve given work centres, but they are not more compact, in the sense of occupying less overall area, than this one. The rectilinear distance matrix, will vary to some extent between these layouts. Since we are more interested in facility location, than in facility layout, we have not branched out, in our exploration, to all the possible layouts. Rectilinear distances between the work centres can be calculated from the centroids

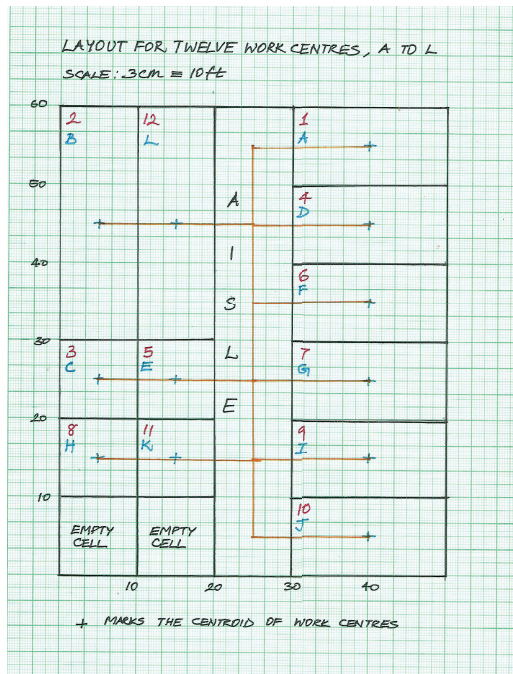


Figure 1: Layout for Work centres

of the work centres, that are indicated with a "+" symbol in the figure. 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.

We are also assuming that all material handling, and movement is within the 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:. Also provided in this table is the load that needs to be moved. These numbers can be consolidated to obtain the overall number of parts that need to be moved between the

facilities, without differentiating between the parts. This data is displayed in Table 3:, and the values in the first row indicate how many parts are moved from Facility 1, to the other eleven facilities. The other rows correspond to the flows from other facilities. Note, that some times the flow of parts is from a higher numbered facility to a lower numbered facility. This is because, the machining jobs required for some parts, are required much later in the sequence, then for other parts.

Table 1: Work Centre Area

Number	Work Centre	Area in SFT(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

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

4. GENERAL QUADRATIC ASSIGNMENT PROBLEM AND CONCRETE INSTANCE

Without explaining all the mathematical theory behind the model construction, we describe the how the matrix in the quadratic objective function is formed. 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:

$$A_{ij} = (A_{rs}^{ij}) \quad (r = 1, 2, \dots, n; s = 1, 2, \dots, n) \tag{1}$$

where if $i = j$, then

$$A_{rs}^{ij} = \begin{cases} f_{ir} & \text{if, } r = s \\ 0 & \text{if, } r \neq s \end{cases} \tag{2}$$

and if $i \neq j$, then

$$A_{rs}^{ij} = \begin{cases} 0 & \text{if, } r = s \\ d_{rs} & \text{if, } r \neq s \end{cases} \tag{3}$$

Table 4: Rectilinear Distance between Work Centres

Distance	WC 1	WC 2	WC 3	WC 4	WC 5	WC 6	WC 7	WC 8	WC 9	WC 10	WC 11	WC 12
WC 1	-	10	13.5	10.5	13.5	16.5	19.5	22.5	18	15	20.5	17.5
WC 2		-	10.5	7.5	10.5	13.5	16.5	19.5	15	12	18	15
WC 3			-	12	15	18	21	24	19.5	16.5	22.5	19.5
WC 4				-	12	15	18	21	16.5	13.5	19.5	16.5
WC 5					-	12	15	18	13.5	10.5	16.5	13.5
WC 6						-	12	15	10.5	7.5	13.5	10.5
WC 7							-	12	13.5	10.5	10.5	7.5
WC 8								-	16.5	13.5	13.5	10.5
WC 9									-	3	15	12
WC 10										-	12	9
WC 11											-	3
WC 12												-

obtained by maximising the cost function, was \$94,765.5; for that solution, the solver took 1094.515 seconds to obtain the solution; the algorithm took 2 iterations and solved 132 subproblems. The difference between the best and the worst solution is \$ 15,537.5 which is 19.6%. This implies that there is significant gain from optimising the location of the facilities, and it is not an improvement, of just a few percentage points.

The optimal assignment of facilities to work centres is as given in Table 5:. Sensitivity analysis was performed on the flow between the facilities, to determine what would happen if the workflow between two facilities increased or decreased. We took the work-flow between facilities Facility 1 and Facility 2, which is 345, and varied it in the range of 300 to 405. The optimal assignment was the same in four out of the eight scenarios, and the other four facility location assignments were all different. Thus high work flows facilities are not the sole determiner of the optimal assignment, and the interactions, between other facilities play an important role in the stability of the solution.

Table 5: Optimal Assignment of Facilities to Work Centres

Facility	Work Centre
1	4
2	10
3	12
4	11
5	9
6	7
7	6
8	3
9	8
10	5
11	2
12	1

6. CONCLUSIONS

We have modelled a real instance of a facility layout/location problem as a Quadratic Assignment Problem. The optimal assignment can be found using Excel add-in such as Frontline System's GRG solver. This model can be used by small and medium sized industries, that cannot afford to invest funds, in large commercial solvers. The distance matrix and the flow matrix can be modified easily, to do what-if analysis on the solution.

The solutions obtained from these methods can be compared with the nature inspired methods, such as genetic algorithms, particle swarm optimization, and bee colony algorithm, which were required due to the exponential time complexity of the problem. The problem size, at which they will be required would have certainly shifted further right along the number line, due to faster processors in present day computers.

Acknowledgement

The authors wish to thank Rajalakshmi School of Business, for providing financial support, and a congenial environment for research.

References

- 1 Tari, Farhad Ghassemi & Ahadi, Khatereh. (2019). Cellular Layout Design Using Tabu Search, A Case Study. *RAIRO-Oper. Res.* 53, 1475–1488.
- 2 Lawler, Eugene L. (1963). The Quadratic Assignment Problem. *Management Science*, 9(4),586–599.
- 3 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.
- 4 Hariprasad, N., Rajyalakshmi G., & Sreenivasulu Reddy A. (2014). A Typical Manufacturing Plant Layout Design Using CRAFT algorithm. *Procedia Engineering*, 97, 1808–1814.
- 5 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.
- 6 Drira, Amine, Henri Pierreval, & Sonia Hajri-Gabouj. (2006). Facility Layout Problems: A Literature Analysis, *IFAC Papers Online*.
- 7 Burkard, Rainer, Mauro Dell'Amico, & Silvano Martello. (2012). Assignment Problems - Revised Reprint, Chapter 7, SIAM, Philadelphia.
- 8 Bazaraa, Mokhtar S. (1975). The Quadratic Set Covering (Assignment) Problem: Applications and Computation. Report to NSF on Grant, GK-38337, 6–11.
- 9 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.
- 10 Adams, Warren & Waddell, Lucas. (2014). Linear programming insights into solvable cases of the quadratic assignment problem. *Discrete Optimization*, 14, 46–60.



FAZI VIŠEKRITERIJUMSKI MODEL ZA IZBOR BLOKČEJN TEHNOLOGIJE – PRIMENA U LANCIMA SNABDEVANJA

A FUZZY MULTICRITERIA MODEL FOR BLOCKCHAIN TECHNOLOGY SELECTION – APPLICATION IN SUPPLY CHAINS

JOVKO JAĆIMOVIĆ¹, BRANKA DIMITRIJEVIĆ², ŽARKO ILIČIĆ³, MIHAILO RISTIĆ⁴, VLADIMIR JOVANOVIĆ⁵, IVANA VLADISAVLJEVIĆ⁶, DEJAN JOVANOVIĆ⁷

¹ Clearcode d.o.o, Beograd, Srbija, jjacimovic@gmail.com

² Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, Srbija, b.dimitrijevic@sf.bg.ac.rs

³ Clearcode d.o.o, Beograd, Srbija, ilicic.zarko@gmail.com

⁴ Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet, Beograd, Srbija, mihailo_ristic@yahoo.com

⁵ Nectar d.o.o., Backa Palanka, Srbija, vladimir.jovanovic@nektar.com

⁶ Utah Department of Transportation, Salt Lake City, USA, ivana.vladisavljevic@gmail.com

⁷ Stanley Consultants, Salt Lake City, USA, Jov.Dejan@gmail.com

Rezime: Razvoj blokčejn tehnologije (BT), koji je omogućio postojanje pouzdanih decentralizovanih platformi, u kojima su zapisani podaci i/ili transakcije nepromenljivi, proverljivi i sledljivi, doveo je do toga da poslednjih nekoliko godina BT, pored oblasti finansija, nalaze primenu i u oblasti trgovine, lanaca snabdevanja itd. Ovaj rad ima za cilj da predstavi fazi višekriterijumski model izbora najpovoljnije softverske aplikacije zasnovane na BT, a primena modela je ilustrovana na primeru njenog izbora za upotrebu u lancima snabdevanja.

Ključne reči: blokčejn, višekriterijumska analiza, fazi logika, lanci snabdevanja.

Abstract: The development of blockchain technology (BT) has enabled the existence of reliable decentralized platforms in which recorded data and/or transactions are immutable, verifiable, and traceable. During the last few years, this technology has been successfully used in finance, but also in the field of trade, supply chain, etc. This paper aims to present a fuzzy multi-criteria model for the selection of the most convenient BT-based application software. The performance of the model is illustrated by the selection of BT for use in the supply chain.

Keywords: blockchain, multicriteria analysis, fuzzy logic, supply chain.

1. UVOD

Blokčejn (blockchain), predstavlja jednu od reprezentacija distribuiranih glavnih knjiga (distributed ledger), tehnologije koja ima potencijal za značajne promene u načinu savremenog poslovanja (Kshetri, 2018). Ovaj način obrade i čuvanja podataka izazvao je interes javnosti u različitim oblastima, a naročito u oblasti finansija, lanaca snabdevanja, intelektualne svojine i državne uprave, odnosno u oblastima u kojima je bitna izgradnja poverenja, transparentnost i sledljivost informacija i transakcija. Reč je o nizu (lancu) blokova međusobno povezanih zapisa transakcija, kriptografski zaštićenih i nepromenljivih nakon upisivanja. Tehnologije koje su danas obuhvaćene pojmom blokčejn zasnovane su na radu iz poslednje decenije prošlog veka (Haber and Stornet, 1991) o distribuiranim zapisima u mreži i njihovom vremenskom označavanju. Dvadesetak godina kasnije, objavljen je sada već čuveni rad na osnovu koga se realizuje prva blokčejn mreža - bitcoin (bitcoin) (Nakamoto, 2008). Razvoj blokčejn implementacija dobija dodatno ubrzanje objavljivanjem Ethereum White Paper (Buterin, 2014), kojim se omogućava integracija pametnih ugovora (smart contract) i otvara tehnologija za upotrebu i van finansijskih aplikacija. Danas se u blokčejn tehnologiju ubrajaju i ostali modeli zasnovani na distribuiranim i decentralizovanim rešenjima, kao što je, na primer, IOTA.

Zbog brzog prihvatanja blokčejn tehnologije (BT) u finansijskim institucijama, dolazi do uključivanja velikih tehnoloških kompanija u razvoj novih i prilagođavanje postojećih rešenja i platformi. Mogućnosti i ograničenja BT nisu još uvek dovoljno poznati poslovnim korisnicima, što im znatno otežava izbor platformi i aplikacija baziranih na blokčejnu. Ovaj izbor nije opredeljen samo karakteristikama koje su tehničko-tehnološke prirode, već i onima koje se odnose na organizacionu kulturu, mogućnost integracije sa postojećim

sistemima, zaštitu životne sredine itd, što upućuje na razvoj višekriterijumskog modela kojim bi se višedimenzionalna priroda ciljeva koje treba zadovoljiti adekvatno opisala.

Izborom BT su se do sada bavili malobrojni autori, jer je ovo pitanje vrlo aktuelno i značaj u stručnoj literaturi dobija tek u poslednjih nekoliko godina. Farshidi *et al.* (2020) su detaljno opisali karakteristike najkorišćenijih platformi i predložili sistem za podršku odlučivanju u izboru BT. Takođe, u ovom radu se može naći dobar pregled malobrojne literature vezane za modele izbora BT. Činjenica da je ova tema vrlo aktuelna, navela je autore da u ovom radu predstavite originalan model izbora BT, baziran na grupnom višekriterijumskom odlučivanju i fazi logici, a njegova primena ilustrovana je na primeru izbora BT u lancima snabdevanja. Çolak *et al.* (2020) su, uviđajući da mnogobrojne kompanije uvode BT sa idejom da povećaju kvalitet proizvoda/usluga i time poboljšaju performanse lanaca snabdevanja, razvili model baziran na višekriterijumskoj analizi i Hesitant fazi skupovima, kako bi rangirali industrijske sektore i konsekvatno lance snabdevanja po pogodnosti za primenu BT.

Nakon uvodnog dela u kome je dat kratak prikaz BT sa osvrtom na osnovne koncepte i karakteristike ove tehnologije, predstavljen je model izbora BT, a potom ilustrativni primer upotrebe u lancima snabdevanja.

2. OSNOVNI KONCEPTI I KARAKTERISTIKE BLOKČEJN TEHNOLOGIJE

Blokčejn funkcioniše zahvaljujući mrežnoj infrastrukturi interneta, pri čemu zainteresovani korisnici na svoj računar mogu da instaliraju softver koji im omogućava povezivanje na blokčejn mrežu. Tehnologija Distribuirane glavne knjige odnosi se na mogućnost korisnika da skladište i pristupaju informacijama deljene baze podataka, u međusobno povezanoj mreži računara sa više fizičkih lokacija i/ili institucija (čvorova) bez centralizovanog sistema za kontrolu, na osnovu sopstvenih protokola i standarda (Casino *et al.* 2019), omogućavajući pri tom kriptografsku zaštitu podataka. Blokčejn predstavlja niz koji se sastoji od međusobno povezanih "blokova" koji sadrže zapise transakcija koje su se dogodile unutar mreže. Dodavanje novih blokova tj. izmene podataka moguće su samo ako postoji konsenzus sa ostalim umreženim računarima. U nastavku su navedeni i ukratko objašnjeni osnovni koncepti na kojima se zasniva funkcionisanje BT.

Konsenzus predstavlja način potvrde dodavanja i upisivanja novog bloka u lanac i obezbeđivanje da kod svih čvorova bude upisan isti blok sa istim transakcijama i u istom redosledu. Od izabranog konsenzus algoritma zavisi otpornost mreže na zlonamerne napade, propusnost, skalabilnost, kao i potrošnja energije.

Dokaz posla je algoritam za postizanje konsenzusa i najčešće je korišćen u javnim blokčejn mrežama, poput bitcoina. Svi čvorovi u mreži imaju priliku da upišu nov blok i za to će dobiti nagradu u vidu dela bitcoina. Ovaj proces zahteva angažovanje značajnih računarskih resursa i potrošnje energije pa se zato naziva rudarenje (mining), a čvorovi koji učestvuju u njemu rudari (miners).

Dokaz posedovanja zasniva se na zamisli da mogućnost upisa bloka i uzimanje nagrade dobijaju čvorovi srazmerno uložnim sredstvima u mrežu. Ovaj metod je energetski efikasniji, ali omogućava koncentraciju sredstava i centralizaciju upravljanja mrežom.

Praktična vizantijska tolerancija greške je algoritam koji se odnosi na postizanje konsenzusa između dva čvora o prisustvu ometajućih i/ili obmanjujućih čvorova. Svi čvorovi komuniciraju međusobno, po definisanim pravilima, kako bi proverili verodostojnost transakcije. Ako više od 2/3 čvorova potvrdi transakciju, ona se, zajedno sa određenim brojem takođe potvrđenih transakcija, upisuje u blok koji postaje deo niza već upisanih blokova (Astarita *et al.* 2020). Blok se sastoji iz zaglavlja i sekcije podataka.

Kriptografska heš funkcija formira se od heš-a podataka i heš-a prethodnog bloka i jedna je od osnovnih karakteristika zaglavlja bloka. Ovakav način vezivanja blokova dovodi do toga da je praktično nemoguće izvršiti neovlašćene izmene u bloku, a da se ne izvrše promene u svim naknadno upisanim blokovima u lancu (Xu *et al.* 2019). Heš (Hash) funkcija slogu proizvoljne dužine dodeljuje niz fiksne dužine.

Kripto valute predstavljaju digitalna dobra koja nemaju fizičku reprezentaciju, niti su izdata od strane bilo kog autoriteta (npr. države, banke), a čija vrednost postoji jer njeni korisnici imaju poverenje da je mogu prihvatiti kao sredstvo plaćanja i menjati za robu, usluge ili drugu kripto valutu. Prva kripto valuta, koja je i danas najčešće upotrebljavana je bitcoin (Azzi *et al.* 2019).

Pametni ugovori su programi čije je izvršavanje podržano u okviru BT, koji reprezentuju poslovnju logiku, izvršavaju transakcije u zavisnosti od zadatih uslova (Saberu *et al.* 2019). Tokom izvršavanja programi mogu da menjaju sredstva i generišu nove zahteve i poruke (Xu *et al.* 2019). Ovo omogućava da čim se uslovi ugovora ispunе dođe do njegovog izvršavanja.

Pored pobrojanih osnovnih koncepata, u sagledavanju BT značajne su i mere njene efikasnosti, kao i način upravljanja kojim se uređuje mogućnost i pravo pristupa. Pod merama efikasnosti BT izdvajaju se: (1) propusnost (throughput) kao broj transakcija obrađenih u određenom vremenu i (2) kašnjenje (latency) koje predstavlja vreme potrebno za dodavanje bloka transakcija u lanac (Farshidi *et al.* 2020). Ove dve mere direktno su povezane sa skalabilnošću sistema i zavise pre svega od konsenzus protokola. Što se tiče

upravljanja, blokčejn mreže mogu biti organizovane tako da kontrolu aktivnosti na mreži vrši određeni entitet i/ili konzorcijum entiteta. U odnosu na prava korisnika da čitaju i/ili upisuju podatke i transakcije, mreže mogu biti bez dozvole (permissionless) ili sa dozvolom (permissioned), gde prava dodeljuju odgovarajući autoriteti (Astarita *et al.* 2020). Važna karakteristika vezana za poslovnu upotrebu je privatnost podataka i privatnost učesnika. U javnim mrežama poput bitkoina, sve transakcije su javne i svi učesnici mogu da ih pregledaju, ali identitet učesnika može da bude anoniman. Poslovna primena zahteva mogućnost da pristup bude omogućen samo određenim učesnicima, kao i da postoje podaci i transakcije koji su vidljivi samo određenim entitetima (Casino *et al.* 2019). Takve mreže gde je identitet učesnika poznat nazivaju se privatnim.

3. FAZI VIŠEKRITERIJUMSKI MODEL ZA IZBOR BLOKČEJN TEHNOLOGIJE

Autori predlažu model za grupno donošenje odluke o izboru BT koji su razložili na sledećih 6 faza: (1) identifikacija eksperata relevantnih za proces donošenja odluke; (2) definisanje kriterijuma na osnovu kojih će se vršiti izbor i skala na kojima će se izražavati; (3) određivanje važnosti kriterijuma; (4) definisanje skupa alternativa među kojima se vrši izbor; (5) vrednovanje alternativa po kriterijumima; (6) primena metode za dobijanje rešenja, analiza rešenja i finalni izbor.

Nakon detaljne analize raspoložive literature i razgovora sa ekspertima u oblasti BT, autori su generisali skup od 22 kriterijuma relevantna za izbor BT, koje su, u skladu sa svojom prirodom, podelili u pet grupa, koje čine 5 značajnih karakteristika kvaliteta BT. Prva grupa kriterijuma (G_1) naslovljena "Izgradnja poverenja" odnosi se na mogućnost mreže da obezbedi poverenje učesnika u tačnost i pouzdanost zapisa, kao i njihovu sledljivost i mogućnost provere. Ovu grupu čine: pouzdanost informacija (K_1), mogućnost provere podataka (K_2), nepromenljivost podataka (K_3) i sledljivost podataka (K_4). "Sigurnost" nosi naziv druga grupa kriterijuma (G_2) i podrazumeva privatnost i otpornost mreže na zlomerno pristupanje i/ili menjanje podataka i transakcija. Sigurnost podataka - otpornost na napad hakera (K_5), privatnost podataka (K_6), privatnost transakcija (K_7) i privatnost korisnika (K_8) su kriterijumi koji čine ovu grupu. Grupa kriterijuma "Upravljanje" (G_3) odnosi se na mogućnost mreže da upravlja aktivnostima i njen nivo kontrole. U G_3 spadaju: upotreba pametnih ugovora (K_9), interoperabilnost (K_{10}) i upravljanje nivoom kontrole (K_{11}). "Tehnologija" je naziv grupe kriterijuma (G_4) koji opisuju bitne tehnološke osobine BT i njihovu prilagođenost opšte prihvaćenim tehnološkim rešenjima. G_4 čine: zrelost (K_{12}), brzina izvršenja transakcije (K_{13}), skalabilnost (K_{14}), pristup tehnologijama (K_{15}), prilagođenost postojećem hardveru (K_{16}) i slobodno korišćenje softvera (K_{17}). "Organizacioni faktori" kao peta grupa kriterijuma (G_5) opisuje sposobnost prevazilaženja prepreka u prihvatanju organizacionih promena nastalih uvođenjem BT, kao i troškove nastale njegovom implementacijom i eksploatacijom. Ovu grupu kriterijuma čine: prilagođenost postojećem nivou znanja poslovnih korisnika (K_{18}), mogućnost prilagođavanja organizacionoj kulturi (K_{19}), mogućnost saradnje i razmene podataka sa drugim aplikacijama (K_{20}), zaštita životne sredine - potrošnja energije (K_{21}) i integracija sa postojećim platformama (K_{22}). U opštoj notaciji grupe kriterijuma čine skup $G = \{G_g \mid g = 1, \dots, 5\}$, a kriterijuma $K = \{K_j \mid j = 1, \dots, 22\}$.

Izbor blokčejn tehnologije, kao strateška odluka, podrazumeva uključivanje eksperata. U pitanju su eksperti predstavnici akademske zajednice i privrede, koji su upućeni u BT. Neka je, u opštem slučaju, skup eksperata koji učestvuju u donošenju odluke označen sa $E = \{E_p \mid p = 1, \dots, P\}$ i neka je njihov značaj u odlučivanju reprezentovan skupom težinskih koeficijenata $\beta = \{\beta_p \mid p = 1, \dots, P\}$, pri čemu važi da je $\sum_{p=1}^P \beta_p = 1$.

Na tržištu danas postoji veliki broj tehnoloških rešenja, namenjenih podršci poslovanju, baziranih na različitim BT. Globalne svetske kompanije, poput Walmart-a, Maersk-a, British Airways-a, UPS-a, Fedex-a i drugih, takođe razvijaju i implementiraju sopstvena blokčejn rešenja (Astarita *et al.* 2020). Bitcoin, Ethereum, Quorum i Hyperledger Fabric su primeri najpoznatijih blokčejn rešenja u upotrebi. Neka razmatrana blokčejn rešenja čine skup alternativa, u opštem slučaju, označen sa $A = \{A_i \mid i = 1, \dots, m\}$

Evaluacija alternativa po kriterijumima je predmet ekspertskog ocenjivanja. Imajući u vidu kvalitativnu prirodu velikog broja kriterijuma, kao i kompleksnost dolaska do preciznih podataka u slučaju nekih potencijalno kvantitativnih kriterijuma, predlaže se da eksperti, po većem broju ili svim kriterijumima, alternative vrednuju koristeći jedinstvenu sedmostepenu skalu sačinjenu od sledećeg skupa lingvističkih deskriptora {Neodgovarajuće (N), Skromno (S), Zadovoljavajuće (Z), Prihvatljivo (P), Dobro (D), Vrlo dobro (V) i Izuzetno (I)}. Ovi lingvistički deskriptori predstavljeni su trouglastim fazi brojevima u opsegu od 0 do 1, kao što je prikazano u tabeli 1.

Tabela 1: Lingvistički deskriptori i odgovarajući trouglasti fazi brojevi

N	S	Z	P	D	V	I
(0, 0, 0, 15)	(0, 0, 15, 0, 30)	(0, 15, 0, 30, 0, 50)	(0, 30, 0, 50, 0, 70)	(0, 50, 0, 70, 0, 85)	(0, 70, 0, 85, 1)	(0, 85, 1, 1)

Svaki ekspert generiše matricu vrednosti $\check{X}^p = \|\check{x}_{ij}^p\|_{m \times n}$, $p = 1, \dots, P$, gde je $\check{x}_{ij}^p = (x_{ijl}^p, x_{ijs}^p, x_{ijd}^p)$ trouglasti fazi broj, sa svojom levom (l), srednjom (s) i desnom (d) vrednošću, koji je rezultat ocenjivanja alternative A_i ($i=1, \dots, m$), po kriterijumu K_j ($j=1, \dots, n$) od strane eksperta E_p ($p=1, \dots, P$).

Neka je sa $\check{x}_{ij} = (x_{ijl}, x_{ijs}, x_{ijd})$ označena agregirana fazi ocena alternative A_i ($i=1, \dots, m$), po kriterijumu K_j ($j=1, \dots, n$), koje čine matricu $\check{X} = \|\check{x}_{ij}\|_{m \times n}$, gde važi:

$$\begin{aligned} x_{ijl} &= \min\{x_{ijl}^p\} \\ x_{ijs} &= \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P x_{ijs}^p \\ x_{ijd} &= \max\{x_{ijd}^p\} \end{aligned} \quad (1)$$

U određivanju težinskih koeficijenata pridruženih kriterijumima, kao pokazateljima njihove važnosti, takođe učestvuju eksperti, dogovarajući se da li će koristiti neku od subjektivnih i/ili objektivnih metoda. S obzirom da su kriterijumi dati kroz hijerarhiju na dva nivoa, neka su sa $W_g^E = \{W_g^p \mid g = 1, \dots, 5, p = 1, \dots, P\}$ označeni skupovi težinskih koeficijenata koje eksperti dodeljuju grupama kriterijuma, a sa $W_K^E = \{W_j^p \mid j = 1, \dots, 22, p = 1, \dots, P\}$ skupovi težinskih koeficijenata dodeljenih kriterijumima. Pojedinačni težinski koeficijenti agregiraju se u skup označen sa $W_G = \{W_g \mid g = 1, \dots, 5\}$ kada su u pitanju grupe kriterijuma, odnosno $W_K = \{W_j \mid j = 1, \dots, 22\}$ kada su u pitanju sami kriterijumi. Agregacija se najčešće obavlja računanjem neke od sredina, autori predlažu metod ponderisane aritmetičke sredine dat narednim izrazima:

$$W_g = \prod_{p=1}^P (W_g^p)^{\beta_p}, \quad g = 1, \dots, 5 \quad W_j = \prod_{p=1}^P (W_j^p)^{\beta_p}, \quad j = 1, \dots, 22 \quad (2)$$

Sintezom težinskih koeficijenata sa oba nivoa dobija se $\bar{W} = \{\bar{w}_j, j = 1, \dots, 22\}$ - skup prioriteta pridruženih kriterijumima, gde je $\bar{w}_j = W_g \times W_j$, pri čemu za $g=1, j=1, \dots, 4$, za $g=2, j=5, \dots, 8$, za $g=3, j=9, 10, 11$, za $g=4, j=12, \dots, 17$, za $g=5, j=18, \dots, 22$. Konačno, normalizovani težinski koeficijenti mogu se predstaviti skupom $w = \{w_j \mid j = 1, \dots, n\}$, pri čemu važi da je $\sum_{j=1}^n w_j = 1$. Postupak se lako može prilagoditi i fazifikovanom izražavanju važnosti kriterijuma.

Fazi TOPSIS (The Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution) metoda (Ertuğrul and Karakaşoğlu, 2008), kao proširenje jedne od najpoznatijih tehnika rešavanja problema višekriterijumske analize, je predložena i iskorišćena kao način da se utvrdi rang alternativa, a samim tim i najbolje rešenje, računajući udaljenost svake alternative u odnosu na hipotetičku idealnu i anti-idealnu alternativu. FTOPSIS metoda je u nastavku opisana kroz korake njenog algoritma.

Korak 1: Podaci \check{x}_{ij} se normalizuju i dobija se fazi normalizovana matrica $\check{R} = \|\check{r}_{ij}\|_{m \times n}$, gde je:

$$\check{r}_{ij} = (r_{ijl}, r_{ijs}, r_{ijd}) = \left(\frac{x_{ijl}}{x_{jd}^*}, \frac{x_{ijs}}{x_{jd}^*}, \frac{x_{ijd}}{x_{jd}^*} \right), \quad x_{jd}^* = \max_i x_{ijd}, \quad i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, 22 \quad (3)$$

Korak 2: Normalizovani fazi podaci po kriterijumima ponderišu se korespondentnim težinama i dobija se matrica $\check{V} = \|\check{v}_{ij}\|_{m \times n}$, gde je:

$$\check{v}_{ij} = (v_{ijl}, v_{ijs}, v_{ijd}) = w_j \cdot \check{r}_{ij}, \quad i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, 22 \quad (4)$$

Korak 3: Definišu se fazi idealno $\check{A}^* = (v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*)$ i anti-idealno $\check{A}^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-)$ rešenje čije koordinate mogu biti ili sve najbolje, odnosno najlošije, vrednosti alternativa po kriterijumima, ili zadati nivoi aspiracije po kriterijumima. Predlaže se da u ovom slučaju koordinate idealnog i anti-idealnog rešenja budu nivoi aspiracije određeni tako da važi: $\check{A}^* = ((w_1, w_1, w_1), (w_2, w_2, w_2), \dots, (w_n, w_n, w_n))$ i $\check{A}^- = ((0,0,0), (0,0,0), \dots, (0,0,0))$.

Korak 4: Računa se udaljenost svake alternative od \check{A}^* i označava sa (d_i^*) , kao i od \check{A}^- i označava sa (d_i^-) , pri čemu se ujedno obavlja i defazifikacija podataka, na sledeći način:

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d_v(\check{v}_{ij}, v_j^*) = \sum_{j=1}^n \sqrt{\frac{1}{3} [(v_{ijl} - v_{1l}^*)^2 + (v_{ijs} - v_{1s}^*)^2 + (v_{ijd} - v_{1d}^*)^2]} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d_v(\check{v}_{ij}, v_j^-) = \sum_{j=1}^n \sqrt{\frac{1}{3} [(v_{ijl} - v_{1l}^-)^2 + (v_{ijs} - v_{1s}^-)^2 + (v_{ijd} - v_{1d}^-)^2]} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

Korak 5: Računa se koeficijent relativne bliskosti svake alternative idealnom rešenju (C_i):

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^*} \quad (7)$$

gde je $0 \leq C_i \leq 1$. Što je C_i bliže 1 to je alternativa relativno bliža idealnom rešenju.

Korak 6: Analiziraju se dobijeni C_i , rangiraju alternative i nalazi kompromisno rešenje, koje je jedna ili više alternativa koje čine skup A^* , određen u skladu sa:

$$A^* = \left\{ A_i^* \mid C_i^* = \max_i C_i \right\} \quad (8)$$

4. ILUSTRATIVNI PRIMER PRIMENE U LANCIMA SNABDEVANJA

Nepromenljivost i sigurnost upisanih podataka i transakcija ostvarena kroz snažnu kriptografsku zaštitu i distribuiran način skladištenja, sa mogućnošću izvršavanja pametnih ugovora, privukla je naročitu pažnju stručnjaka i istraživača u lancima snabdevanja. Lanci snabdevanja, kao povezana serija aktivnosti koje se odnose na planiranje, koordinaciju i kontrolu toka sirovina, poluproizvoda, gotovih proizvoda i usluga od dobavljača do kupca (Azzi *et al.* 2019), sastoje se od različitih tokova informacija, vlasništva, znanja, finansija i materijala (Xu *et al.* 2019). Postoji jasna potreba da se tok kretanja materijala poveže sa ostalim tokovima u lancima snabdevanja, kao i da oni između sebe budu nedvosmisleno i jasno povezani (Wang *et al.* 2019).

Potreba da se, u kratkom vremenskom roku, izvrši povraćaj (recoling) određenih vrsta proizvoda specifičnih dobavljača, ne odnosi se više samo na hranu i lekove, već na gotovo sve proizvode, od elektronike do delova automobila i aviona. Stoga se povećanje vidljivosti i sledljivosti proizvoda najčešće i doživljava kao način za povećanje vrednosti lanca snabdevanja (Wang *et al.* 2019). Učesnici treba da verifikuju i potkrepe dokumentacijom svaku promenu stanja materijala, bilo da se odnosi na njegovo skladištenje, obradu, konsolidaciju, transport ili inspekciju. Dokumentaciju treba čuvati na takav način da informacije budu lako dostupne i pristupačne samo ovlašćenim licima. Učesnici u lancu snabdevanja imaju svoje protokole i pravila za čuvanje i pristup informacijama, što u slučajevima dugih internacionalnih lanaca snabdevanja u velikoj meri otežava praćenje tokova materijala, prava vlasništva, osiguranja i finansija. Uopšteno gledajući, lanci snabdevanja trenutno ne pružaju korisniku potrebne informacije (Saber *et al.* 2019). Osim toga, zbog velikog broja učesnika u lancu snabdevanja njegova ukupna efikasnost je smanjena, pre svega u pogledu nivoa usluge, povećanog broja i cene transakcija, povećanja zaliha i zarobljenog novca. BT može dati uvid u ključne dimenzije proizvoda: prirodu (koji je to proizvod), kvalitet (kakav je proizvod), količina (koliko imamo tog proizvoda), lokaciju (gde se nalazi) i vlasništvo (u čijem je posedu proizvod) (Kshetri, 2018), te u tom smislu povećanje vidljivosti svih transakcija u lancu snabdevanja jeste način za njegovu optimizaciju, jer samo ono što je izmereno može biti i unapređeno.

U nastavku je dat numerički primer u kome su na osnovu predloženog modela analizirane četiri najpoznatije BT za primenu u lancima snabdevanja: Bitcoin (A_1), Ethereum (A_2), Quorum (A_3) i Hyperledger Fabric (A_4). U procesu vrednovanja alternativa po kriterijumima (Tabela 2), kao i u određivanju težinskih koeficijenata kriterijuma, učestvovala su tri eksperta istog značaja. Oni su procenili da sve grupe kriterijuma imaju podjednaku važnost, kao i da kriterijumi u okviru grupa, takođe, imaju istu važnost. Otuda sledi da je: $w_1=w_2=w_3=w_4=0,050$; $w_5=w_6=w_7=w_8=0,050$; $w_9=w_{10}=w_{11}=0,067$; $w_{12}=w_{13}=w_{14}=w_{15}=w_{16}=w_{17}=0,033$ i $w_{18}=w_{19}=w_{20}=w_{21}=w_{22}=0,040$. Za vrednovanje alternativa po svim kriterijumima koristili su fazi skalu datu u tabeli 1. Rezultati primene predloženog modela dati su u tabeli 3.

Na osnovu tabele 3 zaključuje se da je najbolje rangirana alternativa A_4 -Hyperledger Fabric, potom A_3 -Quorum, pa A_2 -Ethereum, a naposljetku rang liste je A_1 -Bitcoin. Može se uočiti da je prvoplasirana alternativa Hyperledger Fabric skoro pa duplo bolja po ukupnom kvalitetu od poslednje na rang listi, oko 30% od treće i 4,5% od druge na rang listi. Ovo se objašnjava činjenicom da su Hyperledger Fabric i Quorum privatne mreže, dok su Bitcoin i Ethereum javne, što ih čini nedovoljno podobnim za primenu u lancima snabdevanja gde je potreba za privatnošću naglašena.

Tabela 2: Ekspertska vrednovanje alternativa po kriterijumima

	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_{10}	K_{11}	K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{15}	K_{16}	K_{17}	K_{18}	K_{19}	K_{20}	K_{21}	K_{22}
Ekspert 1																						
A_1	V	V	I	D	I	N	N	P	S	S	S	I	Z	D	S	V	V	S	S	S	S	N
A_2	V	V	V	D	V	S	S	D	V	D	Z	V	D	V	V	I	V	P	D	P	P	D
A_3	I	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	D	V	V	V	V	P	V	V	V	V	V
A_4	V	V	V	V	V	V	V	V	I	V	V	V	V	D	V	V	V	V	V	V	V	V
Ekspert 2																						
A_1	I	D	V	D	V	S	S	P	N	S	N	I	D	P	Z	V	I	N	N	S	Z	N
A_2	I	V	I	D	V	P	P	V	I	V	D	I	V	D	D	V	I	D	P	D	D	V
A_3	V	I	D	I	V	V	D	I	I	V	V	V	I	V	D	D	P	V	V	V	I	V
A_4	V	V	D	V	V	V	D	V	V	I	I	V	V	I	V	D	V	V	I	V	I	V
Ekspert 3																						
A_1	V	D	V	P	V	S	N	S	N	N	S	V	S	P	S	V	V	N	N	S	N	N
A_2	V	D	V	P	D	Z	N	S	V	P	Z	V	P	D	V	V	V	Z	P	P	Z	P
A_3	V	V	I	V	D	V	V	V	V	V	D	V	D	V	V	Z	D	V	D	V	V	V
A_4	V	V	I	V	V	V	V	V	V	I	I	V	V	V	I	I	I	V	I	V	V	I

Tabela 3: Rezultati ilustrativnog primera

Alternative	d_i^+	d_i^-	C_i	Rang
A_1	0,156	0,115	0,423	4
A_2	0,099	0,157	0,614	3
A_3	0,055	0,184	0,770	2
A_4	0,046	0,189	0,805	1

5. ZAKLJUČAK

BT su pouzdani sistemi za evidenciju podataka i transakcija, koji omogućavaju razmenu informacija među partnerima na siguran i bezbedan način. S obzirom da na tržištu postoji veliki broj tehnoloških rešenja baziranih na različitim BT, u radu je predstavljen višekriterijumski model za evaluaciju i izbor BT. U okviru modela kriterijumi su definisani i grupisani na originalan način, što predstavlja i glavni doprinos rada. Takođe, u skladu sa kvalitativnom prirodom velike većine kriterijuma predložena je i odgovarajuća fazi skala na kojoj bi se BT vrednovala, kao i FTOPSIS metoda inkorporirana u model da odredi ukupni kvalitet svake BT i u skladu sa tim i najbolje rešenje posmatranog problema. Pored toga, model je ilustrovan na primeru primene u lancima snabdevanja sa idejom da ukaže na značajne potencijale primene BT u logistici. Kao potencijalne BT razmatrane su referentne i globalno najčešće korišćene platforme: Ethereum, Quorum, Hiperledger Fabric i Bitkoin. Dobijeni rezultat pokazuje da je Hyperledger Fabric najbolje rangirana alternativa, što koresponira sa implementiranim rešenjima globalnih lidera u lancima snabdevanja kao što su Walmart i Maersk.

U budućim istraživanjima model će biti testiran na većem skupu BT, u konkretnom lancu snabdevanja i sa većim brojem eksperata. Takođe, biće analizirana i rešenja dobijena nekim drugim metodama višekriterijumskog odlučivanja, sa posebnim osvrtom na analizu osetljivosti rešenja na promenu težinskih koeficijenata pridruženih kriterijumima.

LITERATURA

- [1] Astarita, V., Giofrè, V. P., Mirabelli, G. & Solina, V. (2020). A Review of Blockchain-Based Systems in Transportation. *Information*, 11(1), 21.
- [2] Azzi, R., Chamoun, R. K. & Sokhn, M. (2019). The power of a blockchain-based supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, 135, 582–592.
- [3] Buterin V. (2014). *Ethereum White Paper: A next-generation smart contract and decentralized application platform*. https://cryptorating.eu/whitepapers/Ethereum/Ethereum_white_paper.pdf
- [4] Casino, F., Dasaklis, T. K. & Patsakis, C. (2019). A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues. *Telematics and Informatics*, 36, 55–81.
- [5] Çolak, M., Kaya, İ., Özkan, B., Budak, A. & Karasan, A. (2020). A multi-criteria evaluation model based on hesitant fuzzy sets for blockchain technology in supply chain management. *Journal of Intelligent Fuzzy Systems*, 38(1), 935–946.
- [6] Ertuğrul, İ. & Karakaşoğlu, N. (2008). Comparison of fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods for facility location selection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39, 783–795.
- [7] Farshidi, S., Jansen, S., España, S. & Verkleij, J. (2020). Decision Support for Blockchain Platform Selection: Three Industry Case Studies. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 1–20.
- [8] Haber, S. & Stornetta, W. S. (1991). How to Time-Stamp a Digital Document. In A. J. Menezes and S. A. Vanstone (Eds.), *Advances in Cryptology-CRYPTO' 90*, pp. 437–455, Springer.
- [9] Kshetri, N. (2018). Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of Information Management*, 39, 80–89.
- [10] Nakamoto S. (2008). *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*, <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- [11] Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J. & Shen, L. (2019). Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research*, 57(7), 2117–2135.
- [12] Wang, Y., Han, J.H. & Beynon-Davies, P. (2019). Understanding blockchain technology for future supply chains: a systematic literature review and research agenda. *Supply Chain Manag Int J*, 24, 62–84.
- [13] Xu, X., Lu, Q., Liu, Y., Zhu, L., Yao, H. & Vasilakos, A. V. (2019). Designing blockchain-based applications a case study for imported product traceability. *Future Generation Computer Systems*, 92, 399–406.



AN APPROACH FOR DETERMINING TIME ACCESS RESTRICTION MEASURES IN CITY LOGISTICS

SNEŽANA TADIĆ¹, MILOVAN KOVAČ², MLADEN KRSTIĆ³

¹ University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, s.tadic@sf.bg.ac.rs

² University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, kovac.g.milovan@gmail.com

³ University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, m.krstic@sf.bg.ac.rs

Abstract: Various city logistics (CL) initiatives have been implemented in practice with the goal of solving logistics problems in urban areas. Initiatives aiming at the regulation of logistics activities are applied most often, especially those that refer to time access restrictions for commercial vehicles (time windows). Certain positive effects are expected to follow the implementation of this type of initiatives, but in most cases, their application in practice results in several negative consequences for CL stakeholders. The failure of this group of initiatives is caused by the neglect of the real nature of the problem and the interests of other stakeholders by local authorities. In this paper, an approach for determining time access restriction measures in a city has been developed. For solving the problem, a metaheuristic approach is developed, based on the Bee Colony Optimization (BCO) that considers the heterogeneous structure of flow generators and logistics providers, and the spatial characteristics of urban area zones as well. The application of the developed BCO model upon a test instance has shown as a result that the most acceptable variant is the one with heterogeneous time windows in the zones.

Keywords: city logistics, initiatives, time access restrictions, metaheuristics, BCO.

1. INTRODUCTION

Goods delivery is the prerequisite for the conservation of urban lifestyle and business activities that support the achievement of prosperity and the development of urban areas (Zečević and Tadić 2013). Efficient realization of logistics activities affects sustainability and competitiveness, but also, their inappropriate planning can threaten the quality of life in urban areas. The problems that refer to the realization of goods flows are many, and their evasion and inadequate solving lead to the situation where the negative impact of logistics activities in urban areas has become critical. Therefore, in the last two decades, more and more research focuses on the problems of city logistics (CL). Most of the existing research focused on the analysis individual initiatives, measures and conceptions of CL (e.g. Guajardo and Ronnqvist 2015; Allen et al. 2012; Dablanc and Montonen 2015; Cattaruzza et al. 2017; Tadić and Zečević 2016; Tadić et al. 2014c; Tadić et al. 2014d; etc.) but some of the research considered different combinations of initiatives and technologies for solving the problems of urban logistics (Tadić and Zečević 2016; Tadić et al. 2014a; Tadić et al. 2014b).

Various CL initiatives for regulating logistics activities have been applied in the practice as well, where the most frequently applied were initiatives that introduce time access restrictions for goods delivery in cities (Quak and De Koster 2009). The measures of time access restrictions for commercial vehicles are being applied to enhance the social aspect of sustainability (Tadić et al. 2014c). Many literature papers analyzed the impact of time windows on logistics costs (Deflorio et al. 2012), and it is often stated that the narrowing of time windows leads to the exponential growth of distribution costs (Munuzuri et al. 2013; Quak and De Koster 2007). Even though the application of time access restrictions leads to negative effects in most cases, some of the research claim that the combination of time access restrictions and other CL initiatives, for example, the implementation of logistics centres, can lead to various positive effects on urban sustainability (Agkun et al. 2019, Zhao et al. 2019).

Only a small number of literature papers analyzed and solved the problem of defining time access restrictions considering the goals of different stakeholders. Eren Akyol and De Koster (2013) developed a framework for determining time access restrictions for an area with several municipalities, taking logistics costs, environmental pollution and the opinions of local authorities into consideration. They proved that harmonized time-windows among municipalities can result in greater logistics activities efficiency and the reduction of environmental pollution. The problem of determining time access restrictions for urban areas consisting of several zones is not present in the existing literature. Moreover, the previous research didn't consider the goals of all stakeholders, often neglecting the goals of customers.

Various techniques for solving CL problems, such as agent-based models (Anand *et al.* 2016), simulation models (Tadić and Zečević 2016; Comi and Rosati 2013), multi-criteria decision-making models (Tadić *et al.* 2018; Tadić *et al.* 2014a; Tadić *et al.* 2014b), metaheuristics, etc., have been applied. Metaheuristic approaches are especially popular for solving complex combinatorial problems because they are able to find satisfactory solutions with relatively small computational effort, which is not the case with the classical optimization approaches. Likewise, sometimes some particular elements of a problem can not be mathematically expressed, which excludes the possibility of the application of mathematical models. For solving CL problems, in the literature, various metaheuristic approaches have been developed (e.g. Munuzuri *et al.* 2010; Bhusiri *et al.* 2014; Silva *et al.* 2006; Kafle *et al.* 2017; Meihua *et al.* 2011; etc.).

This paper describes an approach for solving the problem of defining time access restrictions for an urban area consisting of multiple zones, considering the goals of logistics providers, residents, customers and local authorities. A metaheuristic model, based on the Bee Colony Optimization (BCO) (Lučić and Teodorović 2001), is developed, and its application upon a test instance is demonstrated. The test instance design included the heterogeneous structure of customers and logistics providers and multiple city zones.

The paper is organized into 4 sections. The next section explains the algorithmic steps of the BCO metaheuristic. Section 3 describes the problem of defining time access restrictions for an urban area, the models' setup and the results obtained from its application upon the test instance. The last section contains concluding remarks and future research directions.

2. THE BEE COLONY OPTIMIZATION METAHEURISTIC

BCO belongs to the class of collective intelligence-based metaheuristics (Lučić and Teodorović 2001). The approach is based on the behaviour of bees when searching for food in nature. The original BCO variant was constructive, but later, a variant of BCO based on an iterative approach for existing solution improvement was developed (Davidović *et al.* 2011). Input parameters for the BCO metaheuristic are the number of bees, the number of forward passes per iteration, termination criterion and the initial solution. On the beginning of every iteration, the best-known solution is assigned to every bee. In every iteration, every bee performs N forward passes. During a forward pass, the bee performs a modification of its solution. Upon finishing the forward passes of all bees, it is possible to assess the quality of their solutions. In maximization problems, the normalized objective value of the bee i (O_i) is calculated using the formula (Teodorović and Šelmić 2019):

$$O_i = \frac{T_i - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}}, \quad (1)$$

where T_i represents the objective function value of the bee i , T_{\min} represents the objective function value of the worst solution and T_{\max} refers to the best objective function value in the observed forward pass.

The objective function normalization is followed by the decision-making, whether the bees would remain loyal to their solution, based on the probability p_i^{loyal} (Davidović *et al.* 2014):

$$p_i^{\text{loyal}} = e^{-\frac{O_{\max} - O_i}{n}}, \quad (2)$$

where n refers to the number of the forward pass and O_{\max} refers to the highest normalized value of all solutions in that pass. For every bee, a random number in the interval between 0 and 1 is generated, and if the number is smaller than the probability p_i^{loyal} , the bee remains loyal to its solution.

If a solution better than the best-known is discovered at any moment, the best-known solution is then updated. Upon the return to the hive, the recruitment of unloyal bees takes place. The probability (p_l^{followed}) that the loyal bee l would be followed in the next pass is (Teodorović and Šelmić 2019):

$$p_l^{\text{followed}} = \frac{O_l}{\sum_{q \in L} O_q}, \quad (3)$$

where L refers to the set of all bees that remain loyal after the observed forward pass.

For every unloyal bee, the bee whose solution it will follow in the next forward pass is determined by the roulette wheel. After meeting the termination criteria (number of iterations, computational time, the number of consecutive iterations without solution improvement, etc.) the best-known solution is accepted as the solution to the observed problem.

3. SOLVING THE PROBLEM OF DETERMINING TIME ACCESS RESTRICTION MEASURES

The problem of defining time access restrictions in a city refers to the selection of time windows for all city zones during which the pickup/delivery of goods with commercial vehicles is allowed. This problem is complex because the restriction of access for commercial vehicles differently reflects on the goals of different CL stakeholders. Every stakeholder has its own criteria that are often in conflict with the criteria of other stakeholders. Logistics providers strive to the minimization of costs and the maximization of profit, while their customers want reliable and accurate services. The residents do not tolerate the presence of commercial vehicles but demand the availability of goods and services at all times. Local authorities aim to reduce logistics activities to make the city a more attractive place but also want to provide conditions for economic prosperity and better life quality in cities. Furthermore, the calculation of the satisfaction level of some stakeholders sometimes poses a complex combinatorial problem. More precisely, logistics providers costs are dependent on the routes of their commercial vehicles and their execution times, which in this case is an output value to the problem of capacitated vehicle routing with time windows. Taking all into consideration, it is clear that a problem as this one could not be solved with optimization approaches, therefore a metaheuristic model for its solving has been developed.

The application of the developed BCO model is demonstrated upon a test instance. A set of 80 generators is deployed upon an area with dimensions of 10x10 km. The flow generators, based on the delivery size and desired delivery time intervals, are classified into 4 categories (Table 1). For simplicity reasons, only deliveries between 6:00 and 14:00 h are considered.

Table 1: Flow generator characteristics

Generator type	Delivery size (kg)	Desired delivery time interval
Type 1 ●	U ~ [150, 300]	7:30 – 8:00 h
Type 2 ●	U ~ [300, 700]	7:00 – 8:00 h
Type 3 ●	U ~ [5, 100]	10:00 – 12:00 h
Type 4 ●	U ~ [50, 300]	9:00 – 10:00 h

Every generator is randomly assigned to one of the 4 different logistics providers. It is assumed that all logistics providers have a homogenous fleet of vehicles and identical working hours. Six different time zones are defined for which the most appropriate delivery time-windows have to be determined. Spatial distribution of generators per zones and the location of logistics centres of providers are shown in Figure 1.

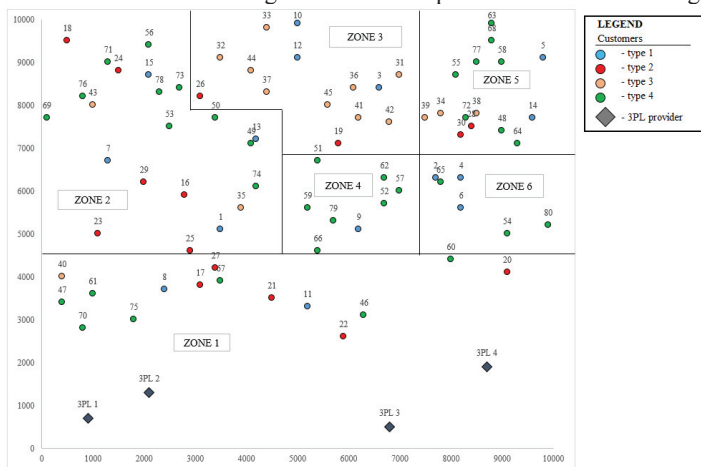


Figure 1: Test instance spatial characteristics

As an initial solution to the problem, the variant with restricted delivery between 7:00 and 8:00 h for every zone is adopted. In the BCO model, a homogenous structure of bees is present which means that every bee performs the same type of solution modification. The solution modification is performed in a simple way – every bee during its forward pass randomly selects one city zone and randomly defines a new time window for that zone in the interval between 6:00 and 14:00 h. The allowed step for determining the time window dimension is 30 minutes.

During the backward pass, the solution of every bee is assessed from the viewpoint of every stakeholder based on which the aggregated measure of solution quality is determined. The satisfaction of logistics providers refers to the distribution costs that would follow the application of observed time windows in city zones. The costs of the travelled distance (70 RSD/km) and the costs of labour hours (260 RSD/h) are taken into consideration. The cost estimation is based on the constructed vehicle routes with the application of the Nearest Neighbour heuristic (Rosenkrantz *et al.* 1977) for the capacitated vehicle routing problem with time windows. To make the normalization of the solution according to logistics providers possible, the costs in the variant without time windows (ideal solution) and the variant where every generator is served by one individual vehicle (anti-ideal solution) are taken into account. The normalization is performed according to:

$$v_i^{3PL} = \frac{C_{ai} - C_i}{C_{ai} - C_{id}}, \quad (4)$$

where C_{ai} refers to the logistics cost of the anti-ideal solution, C_{id} refers to the logistics cost of the ideal solution, and C_i stands for the logistics costs of the solution of the bee i . The capacity of all vehicles is 2000 kg, vehicle working hours are 8 h, and customer service time is 10 min. The normalized objective value from the aspect of the customers is calculated according to the reliability of the delivery, which is, in this case, the ratio between the number of deliveries that are received in the desired time and the number of all deliveries that are performed. Solution assessment according to the residents is performed for every zone individually, according to residents satisfaction with time windows (Figure 2a). Let z be the observed zone and $v_{zi}^{residents}$ the satisfaction of residents with the time window in zone z in the solution of the bee i . In that case $v_{zi}^{residents}$ is calculated according to:

$$v_{zi}^{residents} = \min_j(v_j), \quad (5)$$

where j are the intervals in figure 2 that intersect the time window of zone z , and v_j is the normalized value of residents satisfaction for those intervals. The aggregated normalized value of residents satisfaction with time windows in the solution of the bee i is calculated as follows:

$$v_i^{residents} = \frac{\sum_{z=1}^Z v_{zi}^{residents}}{Z}, \quad (6)$$

where Z is the overall number of zones. The normalized value of local authority satisfaction with the observed solution is calculated in the same manner, but according to the satisfaction of local authority with time windows (Figure 2b). The overall solution quality is obtained by summing the normalized values of every stakeholders' satisfaction level.

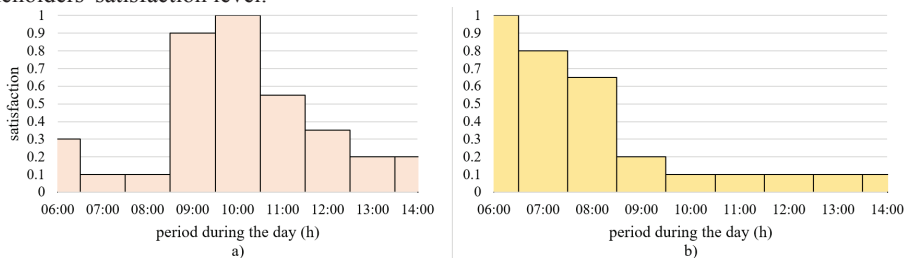


Figure 2: Satisfaction levels of residents (a) and local authorities (b) with time windows

Upon their return to the hive, a further solution normalization of all bees is done according to (1), after which the bees decide if they will remain loyal to their solution according to (2). For every loyal bee, the

possibility for being followed in the next pass is calculated according to (3), and then every unloyal bee decides which loyal bee will it follow in the next forward pass. After N forward passes, a new iteration begins where the current best-known solution is assigned to every bee. All described steps are repeated until the termination criterion is met, and for the problem solution, the best-known is accepted.

The described BCO metaheuristic is developed and applied in Python 2.7 programming language, on a computer with the following characteristics AMD FX-7500 Radeon R7, 10 Compute Cores 4C + 6G 2.10 GHz, 8 GB RAM. Input parameter values for the developed BCO model are: 10 bees, 10000 iterations and 5 forward passes per iteration. The computational time for this configuration was 28 minutes.

After 10000 iterations, by applying the described BCO model, the results have shown that the best variant is the one with heterogeneous time windows in the city zones. According to the results, the best variant is the one that restricts the delivery between 7:00 and 12:00 h in zone 1, between 7:30 and 12:30 h in zone 2, between 9:00 and 11:00 h in zones 3 and 5, between 9:30 and 11:00 h in zone 4 and between 9:30 and 10:30 h in zone 6. This result is the consequence of the heterogeneous structure of flow generators and their locations in the zones, as well of the consideration of the goals of all CL stakeholders. Furthermore, the results indicate that local authorities should consider the goals of other stakeholders when introducing such radical measures so that the applied measures could achieve sustainability. It is easier for logistics providers to organize the delivery in the case of harmonized time windows between different city zones, while different customers prefer different delivery time intervals. By reaching a compromise between all stakeholders, a quality and sustainable solution is accomplished.

4. CONCLUSION

Regulations, as one of CL initiative categories, are often orchestrated by local authorities antagonizing other stakeholders instead of treating them as potential partners. The most frequently applied measures without considering the goals and interests of other stakeholders by local authorities are time access restrictions. Considering the negative effects that often follow the implementation of these measures, the problem of determining appropriate time access restrictions becomes obvious.

For solving the problem of defining time access restriction measures, a BCO metaheuristic is developed and its application is demonstrated upon a test instance. The test instance is designed in a way to reflect on the heterogeneous structure of customers in an area served by 4 logistics providers. According to the BCO metaheuristic, the best solution is the variant with heterogeneous time windows among the city zones. Such results indicate that serious research regarding goods flows and the characteristics of generators must be conducted in order to solve any of the CL problems of an urban area. Also, the interests and goals of all stakeholders should be taken into account so that the implemented solutions could achieve sustainability.

Future research could focus on the problems of defining appropriate time access restrictions in a real-life scenario. Furthermore, the existing literature did not examine the interrelations and compatibility of time access restriction initiatives with other CL initiatives. The development of a model based on other approaches and methods, while considering a broader set of criteria for this and also other CL problems, always poses a potential direction for future research.

REFERENCES

- [1] Agkun, E. Z., Monios, J., & Fonzone, A. (2019). Supporting urban consolidation centres with urban freight transport policies: A comparative study of Scotland and Sweden. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 23(3), 1-20.
- [2] Allen, J., Browne, M., Woodburn, A., & Leonardi, J. (2012). The role of urban consolidation centres in sustainable freight transport. *Transport Reviews*, 32(4), 473-490.
- [3] Anand, N., Van Duin, R. J. H., & Tavasszy, L. Framework for modelling multi-stakeholder city logistics domain using the agent based modelling approach. *Transportation Research Procedia*, 16, 4-15.
- [4] Bhusiri, N., Qureshi, A. G., & Taniguchi, E. (2014). Application of the Just-in-Time concept in urban freight transport. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 125, 171-185.
- [5] Cattaruzza, D., Absi, N., Feillet, D., & Gonzalez-Feliu, J. Vehicle routing problems for city logistics. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 6, 51-79.
- [6] Comi, A., & Rosati, L. (2013). CLASS: a city logistics analysis and simulation support system. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 87, 321-337.

- [7] Dablanc, L., & Montonen, A. (2015). Impacts of environmental access restrictions on freight delivery activities. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2478(1), 12-18.
- [8] Davidović, T., Ramljak, D., Šelmić, M., & Teodorović, D. (2011). Bee colony optimization for the p-center problem. *Computers & Operations Research*, 38, 1367-1376.
- [9] Davidović, T., Teodorović, D., & Šelmić, M. 2014. Bee colony optimization part I: The algorithm overview. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 25(1), 33-56.
- [10] Deflorio, F., Gonzalez-Feliu, J., Perboli, G., & Tadei, R. (2013). The influence of time windows on the costs of urban freight distribution services in city logistics applications. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 12(3), 256-274.
- [11] Eren Akyol, D., & De Koster, R. (2013). Non-dominated time-window policies in city distribution. *Production and Operations Management*, 22(3), 739-751.
- [12] Guajardo, M., & Ronnqvist, M. (2015). Operations research models for coalition structure in collaborative logistics. *European Journal of Operational Research*, 240(1), 147-159.
- [13] Kafle, N., Zou, B., & Lin, J. (2017). Design and modeling of a crowdsourcing-enabled system for urban parcel relay and delivery. *Transportation Research Part B: Methodological*, 99, 62-82.
- [14] Lučić, P., & Teodorović, D. (2001). Bee system: modeling combinatorial optimization transportation engineering problems by swarm intelligence. Preprints of the TRISTAN IV Triennial Symposium on Transportation Analysis, Sao Miguel, Azores Islands, Portugal, 441-445.
- [15] Meihua, W., Xuhong, T., Shan, C., & Shumin, W. Hybrid ant colony optimization algorithm for two echelon vehicle routing problem. *Procedia Engineering*, 15, 3361-3365.
- [16] Munuzuri, J., Cortes, P., Onieva, L., & Guadix, J. (2010). Modelling peak-hour urban freight movements with limited data availability. *Computers & Industrial Engineering*, 59(1), 34-44.
- [17] Munuzuri, J., Grosso, R., Cortes, P., & Guadix, J. (2013). Estimating the extra costs imposed on delivery vehicles using access time windows in a city. *Computers, Environment and Urban Systems*, 41, 262-275.
- [18] Rosenkrantz, D., Stearns, R., Lewis II, P. (1977). An analysis of several heuristics for the traveling salesman problem. *SIAM Journal of Computing*, 6, 563-581.
- [19] Silva, C. A., Sousa, J. M. C., Runkler, T. A., & Costa J. (2006). Distributed optimisation of a logistic system and its suppliers using ant colonies. *International Journal of Systems Science*, 37(8), 503-512.
- [20] Tadić, S., & Zečević, S. (2016). Modelling city logistics concepts (in Serbian). Faculty of Transport and Traffic Engineering, University in Belgrade, Belgrade, Serbia.
- [21] Tadić, S., Zečević, S., & Krstić, M. (2014a). Ranking of logistics system scenarios for central business district. *Promet – Traffic & Transportation*, 26(2), 159-167.
- [22] Tadić, S., Zečević, S., & Krstić, M. (2014b). A novel hybrid MCDM model based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy VIKOR for city logistics concept selection. *Expert Systems with Applications*, 18, 8112-8128.
- [23] Tadić, S., Zečević, S., & Krstić, M. (2014c). City logistics initiatives aimed at improving sustainability within existing context of urban area (in Serbian). *Tehnika*, 61(3), 487-495.
- [24] Tadić, S., Zečević, S., & Krstić, M. (2014d). City logistics initiatives aimed at improving sustainability by changing the context of urban area (in Serbian). *Tehnika*, 61(5), 834-843.
- [25] Tadić, S., Zečević, S., & Krstić, M. (2018). Assessment of the political city logistics initiatives sustainability. *Transportation Research Procedia*, 30, 285-294.
- [26] Teodorović, D., & Šelmić, M. (2019). Computational intelligence in traffic (in Serbian). Faculty of Transport and Traffic Engineering, University in Belgrade, Belgrade, Serbia.
- [27] Zečević, S., & Tadić, S. (2013). City logistics (in Serbian). Faculty of Transport and Traffic Engineering, University in Belgrade, Belgrade, Serbia.
- [28] Zhao, B., Zhang, J., & Wei, W. (2019). Impact of time restriction and logistics sprawl on urban freight and environment: The case of Beijing agricultural freight. *Sustainability*, 11(12), 3675-3691.
- [29] Quak, H., & De Koster, (2007). Exploring retailers' sensitivity to local sustainability policies, *Journal of Operations Management*, 25(6), 1103-1122.
- [30] Quak, H., & De Koster, R. (2009). Delivering goods in urban areas: How to deal with urban policy restrictions and the environment. *Transportation Science*, 43(2), 211-227.



A PRELIMINARY REVIEW OF THE LITERATURE INVESTIGATING SERIOUS GAMES IN LOGISTICS

PRELIMINARNI PREGLED LITERATURE O OZBILJNIM IGRAMA U LOGISTICI

MILOŠ SPASIĆ¹, MARINKO MASLARIĆ^{1*}, SVETLANA NIKOLIČIĆ¹, DEJAN MIRČETIĆ¹, GABRIEL FEDORKO²

¹ University of Novi Sad – Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, * marinko@uns.ac.rs

² Technical University of Kosice – Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnologies, Košice, Slovak Republic, gabriel.fedorko@tuke.sk

Rezime: Efikasnost procesa upravljanja lancem snabdevanja zasniva se, između ostalog, na odgovarajućem zahtevanom nivou kompetentnosti. Stoga, razumevanje i primena savremenih principa upravljanja lancima snabdevanja zahteva kreiranje efikasne diseminacije logističkog znanja. Tradicionalne metode prenosa znanja imaju niz problema u kreiranju praktičnog znanja, tako da je neophodno napraviti korak dalje od tradicionalnih načina edukacije i obezbediti nove metode prenosa znanja. Jedan od novih načina za postizanje ovog cilja je gejmfikacija i primena ozbiljnih igara. Ozbiljne logističke igre se mogu posmatrati kao operativni i interaktivni prikaz stvarnog sistema, koji omogućava učesnicima i istraživačima da se doslovno „igraju“ sa elementima igre i posmatraju posledice pojedinih odluka. U ovom radu predložen je okvir za klasifikaciju i preliminarnu analizu ozbiljnih logističkih igara, po pitanju njihove sveobuhvatnosti, složenosti, uvažavanja pitanja neizvesnosti, kao i uvažavanja činjenice o ograničenim resursima i kapacitetima. Rezultati dobijeni na ovaj način mogu poslužiti kao ulaz za dalje, mnogo detaljnije analize.

Cljučne reči: Logistička kompetencija, ozbiljne igre, gejmfikacija, okvir.

Abstract: The efficiency of the supply chain management processes is based, inter alia, on the appropriate required level of competence. Therefore, understanding and applying the principles of modern supply chain management requires the creation of efficient dissemination of logistics knowledge. Traditional methods of knowledge transfer have a number of problems in providing practical knowledge, so it is necessary to go a step further from the traditional ways of education and provide new methods of knowledge transfer. One of the modern ways to achieve good learning outcomes is the method of gamification and serious games application. Serious logistics games can be viewed as an operational and interactive presentation of a real system, which allows participants and researchers to literally "play" with the elements of the game and observe the consequences of individual decisions. In this paper we proposed the framework for serious logistics games classification and preliminary analysis, in terms of their comprehensiveness, complexity, respect for the issue of uncertainty, as well as respect for the fact of limited resources and capacity. The results provided by this framework could be input for further more detailed analysis.

Keywords: Logistics competence, Serious games, Gamification, Framework.

1. INTRODUCTION

Supply chain management is the process of planning, managing and controlling all activities carried out during the realization of material and information flows within the supply chain (Wieland and Wallenburg 2011). Defined in this way, the supply chain consists of a series of activities with different characteristics in relation to the context of observation, the type of product and industry, the position in the chain, etc. The efficiency of the supply chain management process is based, inter alia, on the appropriate required level of competence. Therefore, understanding and applying the principles of modern supply chain management requires the creation of efficient dissemination of logistics knowledge, with the future and as well with the present employees. However, the representatives of logistics companies are very often dissatisfied with the level of knowledge shown by the newly employed workers, recent graduates. As stated by Soshko et al. (2005), a lack of knowledge and practical skills, which are crucial for logistical competitiveness in the market, are often observed. According to (Holt et al. 2003; Lombardi 2007) it can be stated that traditional methods of knowledge transfer, which provide a good theoretical basis, have a number of problems in

providing practical knowledge. In order to transfer all the necessary theoretical knowledge in the best possible way and ensure the practical applications and improvement of skills and organization, it is necessary to go a step further from the traditional ways of education and provide new methods of knowledge transfer. In addition, inadequate methods of acquiring practical knowledge lead to additional problems in mastering skills in a particular area, such as low student interest, especially when analyzing more abstract teaching material. Therefore, it is necessary to introduce new methods which increase the interactive type of teaching and learning. By applying such methods, it is possible to achieve better teaching results, as confirmed by Wood and Reefke (2010).

Gamification can be defined as “the use of game design elements in non-game contexts” (Deterding et al. 2011). This concept is achieved by using the design and structure of games when applying traditional learning methods. Gamification is not a game for learning purposes, but the application of “*motivational properties of games that overlap with other learning activities, integrating human desire to communicate and achieve set goals, to direct the attention of learners and motivate them to action*” (Landers and Callan 2011). In addition to the term gamification, the term “serious game” can be found in the literature, as is the case in the works of Deterding et al. (2011), Kurapati (2017) and Klabbers (2018). As defined by Juul (2005), a serious game is “*a rule-based formal system with variable and quantifiable outcome, where different outcomes are assigned different values. The player exerts effort in order to influence the outcome, and the consequences of his activities are optional and negotiable.*” As Juul (2005) himself claims, no part of this definition in itself is a game, but only together they create a clear picture of the term “game”. Serious games, depending on the study in which they are applied, can focus on analytical research with the help of already existing games or on the scientific design of future games for educational or analytical purposes (Klabbers 2018). A clear presentation of the elements and possibilities introduced by the use of serious games for educational purposes will be described in the following sections.

2. SERIOUS GAMES AS SUPORT TO THE EDUCATION PROCESS

Logistics and supply chain systems do not have sufficient elasticity for their analysis which would allow the identification of problem points and testing of measures for their remediation to be performed in real conditions. This characteristic of supply chains imposes the need to develop simulation models of the observed systems, in order to perform the necessary analyses at the lowest possible cost and with minimal risk. In addition, the previously mentioned increased demands for educated staff strengthened by practical knowledge increase the need for the introduction of additional methods in educating students on the basic principles of supply chain management, which will be based on models representing real systems and their practical problems. As a product of this aspiration, we have “serious games” which are most often based on models of real systems. By applying these games, players experience the consequences of their decisions in a protected environment, which enables the development of their skills and ways of making certain decisions (Lukosch and Comes 2019). Playing serious games is an increasingly accepted method, both in educational and in research, for studying complex systems (Kurapati et al. 2018).

2.1. Serious game structure

In order to achieve the set goals, it is necessary that the game design is not too complex so that the rules and the process of playing are easily understood, but on the other hand, it should not be too simple so that the observed system can be described as accurately as possible. In this, precision and complexity are in a mutually opposed, i.e. inversely related (Van Gigch 2002). This means that greater complexity diminishes the ability to make precise statements about system characteristics (Thorngate 1976). It can be concluded that it is impossible for the game to be general, accurate and simple at the same time. The more general and simple the game is, the less accurate it will be in predicting certain behaviors. Balancing these features has a big impact on design trade-offs when creating the right game (Klabbers 2009). Game design can vary depending on the system to be described, but regardless of its purpose, it encompasses three interrelated segments (Klabbers 2009): **actors**, **rules**, and **resources**.

Actors in the game usually represent players whose moves and activities define different states of the system. The **rules** are defined in advance and they represent the guidelines and procedures by which the situation in the game can be changed. All players must follow all the rules during the game. The **resources** are all the elements of the game that players coordinate during their moves. Playing the game according to the rules, actors define the state of resources (Bogost 2007). The intertwining of actors, rules and resources in the dynamics of the game leads to its circular organization, whereby participants become members of the so-called self-referential system. For example, with each move in a game of chess, the situation in the game

(position) changes, requiring both players to think about previous actions, to assess the current situation and to prepare the next moves. The end of one series (playing) is the beginning of the next (Klabbers 2018).

If a training game or a game used to teach a certain topic is observed, then the actors are exclusively the players of the game. However, if a serious game is used for research purposes, then in addition to the players, observers also appear as actors. Players are those actors who, based on subjective understandings, perform various actions according to defined rules and bring all the resources in the game to a certain state. Observers are those actors who have the task of determining which actions, carried out by individual players, bring the system to its current state.

2.2. Basic types and forms of serious games

Regarding their intention and purpose, serious games can be classified as follows (Shubik 1983): **(1) training games** - these games are widely used in industry, military and education, and their goal is that the players acquire certain skills without too many conceptual details; **(2) teaching games** - have a wider scope than training games and contain additional conceptual solutions with more abstract ideas; **(3) experimental games** - aim to test theories or hypotheses, and can also be used to test the effects of certain variables in a given situation; **(4) research games** - can be pre-designed before undertaking research or are designed specifically for a given situation. They are used to obtain data or empirical results in some real situations through set scenarios; **(5) operational games** - are used as an aid in decision making, in planning and implementing policy in specific situations.

Today, there are a large number of different games based on different technologies. They range from role-playing games, which do not require special additional materials, through physical board games, to high-end games that use advanced digital technology. Therefore, according to William et al. (2018), the basic categorization of serious games, depending on their appearance, implies the existence of: **(1) physical games** (board games, card games, sports games, etc.), and **(2) digital games** (computer games, mobile phones games, etc.). The most common physical games are board games (Gobel 2016). Physical board games have the advantage of enabling direct communication and collaboration between players of a relatively small group, but on the other hand data collection is limited to observation and reflection. Board games usually include the main board, balls, dice and cards. Each of these games has a set of rules that all players must follow. Points or prizes are awarded according to pre-defined rules. The players have the flexibility to change some of the rules based on their mutual agreement (Gobel 2016). The advantages of these games are that they enable active communication between all players during the game as well as timely feedback.

Digital games are becoming more and more acceptable nowadays and are becoming part of everyday life. Digital games have higher development costs and longer development times, but they enable easier collection and automated processing of data (Lukosch and Comes 2019), which also enables better conclusions (Merkuryeva 2000). Implementing and customizing scenarios is much easier with digital than with physical games. One of the most widely used digital games is airplane flight simulation, which is used for educational purposes at universities and military academies, as well as in highly developed companies (Federal Aviation Administration 2013). Regardless of the appearance of the game, common to all serious games is the possibility of using them for learning purposes (Brauner and Bente 2010). In order to achieve the best learning outcomes, depending on the specific case, it is possible to apply an appropriate, already existing, serious game, create and apply a new game, or create and apply an additional scenario of an existing game.

3. APPLIED SERIOUS LOGISTICS GAMES

Active learning is a basic method for increasing student engagement for better improvement and is supported by the inclusion of serious games in the teaching process. Although there are numerous other activities such as quick quizzes or solving certain numerical tasks, the use of games focused on the supply chain achieves much better results for students (Wood and Reiners 2012). Serious logistics games can be viewed as an operational and interactive presentation of a real system, which allows participants and researchers to literally "play" with the elements of the game and observe the consequences of individual decisions (Lukosch and Comes 2019). Numerous studies have been done on the topic of defining the beneficial effects of serious games for educational purposes. Logistics games belong to the group of serious simulation-based games, and as such provide multiple advantages, such as (Oblinger 2004): motivation to learn, complex approach to learning processes and outcomes, student engagement, and active learning techniques.

There are a number of different logistics games that can be used for educational purposes. Each of them has different characteristics and a different field of application. Some of the most frequently used games, as

Table 1: Overview of the existing logistics games

The name of the game	Platform	Level of decision making	Number of the supply chain members	Number of different goods	The existence of uncertainty	Existence of capacity constraints
Log Dis Supply Chain (Pecherska and Merkurjeva, 2004)	Board game	Tactical level (chain creation and inventory distribution)	Multistage supply chain (production, distribution, storage, retail)	One type of goods	Defined by throwing a dice that simulates demand	No limit
International Logistics Management Game (Merkuryeva et al., 2004)	Digital game (Online)	Operational, tactical and strategic level (depends on the scenario)	Multistage supply chain (marketing, distribution, production, sales, storage)	Multiple types of goods	There is no uncertainty	No limit
Fish Bank (Soshko et al., 2005)	Digital and Board game	Tactical level (determining the necessary resources)	Single-stage supply chain (production)	One type of goods (one type of fish)	Defined by the decisions of other players	No limit
Plaitra (Lukosch and Comes, 2019)	Board game	Operational level (make delivery on request), strategic level (investment in equipment)	Multistage supply chain (horizontal distribution of participants)	One type of goods	Uncertain situations defined by tasks, but in a safe environment	Limitations in the amount of resources
Beer game (Serman, 2000)	Board, Digital and online game	Operational level (distribution decision making)	Four-stage supply chain (production, distribution, wholesale and retail)	One type of goods (packaging unit)	There is no uncertainty	No limit
Blood Supply Chain Game (Mustafee and Katsaliaki, 2010)	Digital game (microso ft excel)	Operational level (distribution decision making)	Five-stage supply chain (supplier, manufac., distrib., wholesale and retail)	One type of goods (units of blood)	There is no uncertainty (pre-known demand)	Limitations in the amount of resources
Distribution game (Corsi et al., 2006)	Digital game (Online)	Strategic level (strategic leadership of distribution processes)	Single-stage supply chain (distributors)	One type of goods	Defined by the decisions of other players, it is played in real time	No limit
ThinkLog (William et al., 2018)	Board game supported by the application	Operational level (deliver on request), Strategic level (facility locations)	Multiple nodes in the supply chain (number of nodes depends on scenario)	One type of goods	Defined by drawing a card with demand and disturbances (traffic jams, floods, breakdowns)	No limit
Supply Chain Collaboration Game (Kaneko et al., 2016)	Board game	Tactical level (implementation of procurement, production and distribution)	Multistage supply chain (procurement, production, sales)	Multiple types of goods	Defined by throwing a dice that shows the quality of the product	Limited quantities of procurement
Yard crane scheduler (Kurapati, 2017)	Digital game	Operational level (execution of transshipment and storage activities in the terminal)	One node in the supply chain (container terminal) with 4 operations	One type of goods (container)	There is no uncertainty	Restrictions: the number of operating units and vehicles
Disruption management game (Kurapati, 2017)	Board game	Operational level (execution of storage activities in the terminal), strategic level (investment in equipment)	One node in the supply chain (container terminal) with 5 operations	One type of goods (container)	Card withdrawal disorders (equipment failure, terminal accident and truck driver strike)	Restrictions: the number of operating units and vehicles

well as their basic characteristics, are shown in Table 1. In fact, Table 1 can be viewed as a kind of framework for classification and preliminary analysis of the existing logistics games, in terms of their comprehensiveness (whether it covers the problems concerning all or only some of the levels of decision making in a chain supply), complexity (both in terms of the number of participants in the chain and the type of goods), respect for the issue of uncertainty (which gives a certain dynamics to the supply chain), as well as respect for the fact of limited resources and capacity. The results provided by this framework could be input for further more detailed analysis. For example, this framework could serve to identify the logistics game that has achieved the highest degree of holistic approach to solving supply chain management problems.

Depending on the goals of using a logistics game, the games that meet all the set requirements in terms of their characteristics and method of application can be used. It is necessary to define in advance the curriculum goals that need to be achieved, then choose a logistics game that can achieve these results, make its adjustment and validation, after which it can be actively used in teaching. This approach allows for obtaining the best results and providing significant theoretical and practical experience for future logistics actors.

4. CONCLUSION

In an increasingly uncertain and complex environment, it is becoming more and more difficult to predict the exact conditions that logisticians will face, and it is especially difficult to predict the impact of new technologies on future operations (Lukosch and Comes 2019). This kind of environment requires a variety of preparation capabilities related to general skills such as flexibility, adaptability, creativity, communication and effective decision making. In order to develop these skills, it is necessary to take a new step and go beyond the traditional ways of education in order to ensure students' extended exposure to practical, real-life problems, which can be largely achieved by using various logistics games.

Each of the currently applied logistics games has, in addition to its numerous advantages, certain disadvantages that leave room for future improvement. Some games are easier to apply, and some, due to their complexity, provide a better insight into the real system. For obtaining the best possible effect, it is necessary to find the right balance between providing the most realistic presentation of the real problems in the field of logistics and achieving this in the simplest and most accessible way. One of the important aspects that can be identified in the analysis of the currently utilized logistics games is the insufficiently introduced notion of risk. With the underrepresentation of risk, the emphasis is put solely on the organization of the functioning of the system and solving delivery problems where the focus is on the time and cost of the delivery.

Based on the preliminary review of the existing logistics games, it can be concluded that the modern approach to support education by using of serious games offers great potential, but that there is also a need for further improvement of this concept. Future research and scientific papers can be based on developing the logistics games whose highest possible comprehensiveness will reflect the reality of the range of possible problems in this area.

REFERENCES

- [1] Bogost, I. (2007). *Persuasive games*. Cambridge, MA: MIT Press.
- [2] Breuer, J. & Bente, G. (2010). Why so serious? On the relation of serious games and learning. *Journal for Computer Game Culture*, 4(1), 7-24.
- [3] Corsi, T.M., Boyson, S., Verbraeck A., Van Houten S.P., Han, C. & Macdonald, J.R. (2006). The real-time global supply chain game: New educational tool for developing supply chain management professionals. *Transportation Journal*, 45(3), 61-73.
- [4] Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R. & Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: defining "gamification"; *Proceedings of the 15th International Academic Mind Trek Conference (MindTrek 2011)*, Tampere, Finland, 9-15.
- [5] Federal Aviation Administration. (2013). *Aeronautical information manual: FAR 121 Subpart N-Training Program*. New York: Skyhorse Publishing.
- [6] Gobel, S. (2016). Serious game application examples. In Dörner, R., Gobel S., Effelsberg, W. & Wiemeyer, J. (Eds.), *Serious games: foundations, concepts and practice* (319-405). Darmstadt, Wiesbaden: Springer.
- [7] Holt, D., Mackay, D. & Smith, R. (2003). Educating for professional capability in the field of information technology: integrating industry-based learning with the academic curriculum. *Proceedings of 13th World Conference on Cooperative Education*. Rotterdam, the Netherlands, 1-15.

- [8] Juul, J. (2005). *Half-real: video games between real rules and fictional worlds*. Cambridge, MA: MIT Press.
- [9] Kaneko, T., Hamada, R., Hiji, M. (2016). Developments of BASE supply chain collaboration game. *Developments in Business Simulation and Experiential Learning*, 43, 8-16.
- [10] Klabbers, J.H.G. (2009). *The magic circle: principles of gaming & simulation*. Rotterdam, the Netherlands: Sense Publishers.
- [11] Klabbers, J.H.G. (2018). On the architecture of game science. *Simulation and Gaming*, 49(3), 356-372.
- [12] Kurapati, S. (2017). *Situation awareness for socio technical systems: a simulation gaming study in intermodal transport operations*. PhD thesis, TRAIL Thesis Series no. 2017/7, the Netherlands TRAIL Research School.
- [13] Kurapati, S., Kourouniotti, I., Lukosch, H., Tavasszy, L. & Verbraeck, A. (2018). Fostering sustainable transportation operations through corridor management: a simulation gaming approach. *Sustainability*, 10(2), 455-472.
- [14] Landers, R.N. & Callan, R.C. (2011). Casual social games as serious games: The psychology of gamification in undergraduate education and employee training. In Ma, M., Oikonomou, A. & Jain, L.C. (eds.) *Serious Games and Edutainment Application*, Springer, London.
- [15] Lombardi, M.M. (2007). Authentic learning for the 21st century: an overview. Oblinger D.G. (ed.) *ELI Paper 1. EDUCAUSE Learning Initiative*, 1-13.
- [16] Lukosch, H. & Comes, T. (2019). Gaming as a research method in humanitarian logistics. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 9(3), 352-370.
- [17] Merkuryeva, G. (2000). Computer simulation in industrial management games. *Proceedings of the IFAC Symposium. Rio, Greece*, 71-75.
- [18] Merkuryeva, G., Bikovska, J., Grubbström, R.W. & Weber, J. (2004). Development of learning scenarios for network-based logistics simulation game. *Scientific Proceedings of Riga Technical University, Ser. 5. Computer Science, 20, Information Technology and Management Science, RTU, Riga*, 148-156.
- [19] Mustafee, N. & Katsaliaki, K. (2010). The blood supply game. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, 327- 338.
- [20] Oblinger, D.G. (2004). The next generation of educational engagement. *Journal of Interactive Media in Education*, 2004(1), p.Art. 10. DOI: <http://doi.org/10.5334/2004-8-oblinger>.
- [21] Pecherska, J. & Merkuryeva, G. (2004). Experiences using simulation-based case-games in logistics management studies. *Scientific Proceedings of Riga Technical University, Ser. 5. Computer Science, 20, Information Technology and Management Science, RTU, Riga*, 122-129.
- [22] Shubik, M. (1983). Gaming: a state of the art survey. In Stahl et al. (Eds.), *Operational Gaming: An International Approach*. Pergamon, Oxford, 15-22.
- [23] Soshko, O., Merkuryevs, Y, Merkuryeva, G. & Bikovska, J. (2005). Development of active training and educational methods in logistics. In *ICTE in Regional Development: Annual Proceedings of Vidzeme University College*. Valmeira: Vidzeme University College, 103-108.
- [24] Sterman, J.D. (2000). *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. Boston, MA: McGraw-Hill.
- [25] Thorngate, W. (1976). "In general" vs. "it depends": Some comments on the Gergen-Schlenker debate. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 2, 404-410.
- [26] Van Gigch, J. (2002). Comparing the epistemologies of scientific disciplines in two distinct domains: modern physics versus social sciences. *Systems Research and Behavioral Science*, 19(3), 199-209.
- [27] Wieland, A. & Wallenburg, C.M. (2011). *Supply Chain Management in sturmischen Zeiten*. Berlin: Universitätsverlag der TU, Germany.
- [28] William, L., Rahim, Z.B.A., Souza, R., Nugroho, E. & Fredericco, R. (2018). Extendable board game to facilitate learning in supply chain management. *The Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 3(4), 99-111.
- [29] Wood, L.C. & Reefke, H. (2010). Working with a diverse class: reflections on the role of team teaching, teaching tools and technological support. In: Huai, H., Kommers, P. & Isaías, P. (eds.) *Proceedings of the international conference on international higher education (IHE 2010)*, Perth, Australia. 72-79.
- [30] Wood, L.C. & Reiners, T. (2012). Gamification in logistics and supply chain education: extending active learning. In: Kommers, P., Issa, T. & Isaías, P. (Eds.) *Proceedings of the International Conference on Internet Technologies & Society (IADIS 2012)*, 101–108.

A RIGOROUS MATHEMATICAL MODEL OF STOCHASTIC INVENTORY POLICY WITH BACKLOG SALES AND GENERAL DEMAND DISTRIBUTIONS

Md Abu Helal¹, Alain Bensoussan², Viswanath Ramakrishna³, Suresh P. Sethi⁴

¹ The University of Texas at Dallas - Department of Mathematical Sciences, Richardson, Texas, USA, abu.helal@utdallas.edu

² The University of Texas at Dallas - Professor of Risk and Decision Analysis, Texas, USA, alain.bensoussan@utdallas.edu

³ The University of Texas at Dallas - Professor of Mathematics, Richardson, Texas, USA, vish@utdallas.edu

⁴ The University of Texas at Dallas - Professor of Operations Management, Richardson, Texas, USA, sethi@utdallas.edu

Abstract: *This article is concerned with stochastic inventory control problems with backlog sales in stockout situations. We examine the model for piecewise linear concave ordering costs with general demand distributions and an infinite horizon. Unlike finite horizons, however, infinite horizons lead to a functional equation for the value function. Due to the complexity of the mathematical expressions, in most cases, the problems are solved using an iterative method. We give a rigorous theory that explicitly solves this functional equation without the use of generalized K -convexity. We consider both the scenario in which an optimal selection can be made among two suppliers, as well as the scenario in which inventory can be purchased with incremental quantity discounts from a single supplier. Finally, we set out conditions that guarantee the optimization of (s, S) policy for the problem under consideration.*

Keywords: *Inventory (s, S) Policy, Backlog Sales, General Demand Distributions, Multiple Suppliers.*

1. INTRODUCTION

This paper focuses on the widely used (s, S) inventory policy under general demand distributions and fixed ordering costs. In (s, S) inventory policy, an order is placed when the inventory level falls to the reorder point s or lower so that inventory can be replenished to the level S . We consider an infinite-horizon problem with instantaneous deliver systems. Our cost function considers two supplier inventory problems as well as single supplier inventory problems with quantity discounts. In [2] a similar cost function was studied for lost sales cases. In this paper we consider a backlog sales strategy, i.e., if any excess demand beyond the available stock occurs, then either an emergency order will be placed or the excess amount will be added to the next ordering cycle.

A substantial body of research exists in the discipline of inventory control. The classical (s, S) policy was introduced by [7], where he proved the optimality of the (s, S) policy for a scenario with a fixed cost and linear per unit costs. Our problem is concerned with piecewise concave ordering costs. In practice it frequently happens that an ordering cost or production cost has a number of breaking points, resulting in a piecewise concave function. For example, when incremental discounting is applied, the cost function is piecewise concave. Porteus [6] was the first to study problems with this kind of cost structure. Later on, Benjaafar et. al. [1] explored this inventory problem with a finite horizon and general demand. They used the notion of generalized K -convexity to show its optimality, and conjectured the optimality under horizons which are sufficiently long. We refer the reader to [4, 5, 8] for more information on the concave cost function and backlog sales. The first reference in particular has an extensive bibliography on the subject.

We formulate the Bellman equation which, in our infinite horizon case, becomes a functional equation. We provide a rigorous mathematical theory to solve this functional equation and show that the optimality of the (s, S) policy for inventory control problems with piecewise linear concave ordering costs. The theory is constructive and does not rely on the notion of generalized K -convexity. We allow demand distributions which are more general than those considered by [6]. Furthermore, we prove the conjecture of [1] about the infinite-horizon setting. While we examine only the case of dual suppliers in this article, our methodology is more general and can be used to extend the results to situations with an arbitrary number of suppliers.

2. Formulation of the Problem

The generalization of the cost structure concerns the ordering cost, which is now the concave function $c(v)$, $v > 0$, given by the formula

$$c(v) = \min_{i=1, \dots, n} (K_i + c_i v), \quad (1)$$

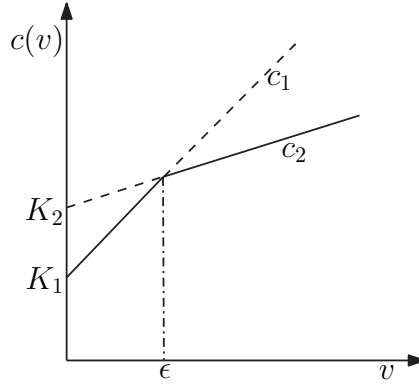


Figure 1 The graph of cost function given in equation (1) for $n = 2$.

with the conditions $0 \leq K_1 < K_2 < \dots < K_n$, $c_1 > c_2 > \dots > c_n \geq 0$, where v is the total amount of order, c_i and K_i is the per unit cost and fixed cost respectively of the i^{th} supplier. We begin with the assumption that our cost function is piecewise linear concave comprised of two pieces, See in the Figure 1. To provide a practical justification for choosing $n = 2$, we claim that the structure of equation (1) applies not just to the problem of choosing among several suppliers, but can also represent the situation of rebates for large quantities in the case of a single supplier. Assume that $n = 2$ in equation (1), and let $\epsilon = (K_2 - K_1)/(c_1 - c_2)$. From here, one can readily verify that

$$c(v) = K_1 \mathbb{1}_{v>0} + (c_1 - c_2)v \mathbb{1}_{v<\epsilon} + c_2v + (c_1 - c_2)\epsilon \mathbb{1}_{v \geq \epsilon}. \quad (2)$$

If the volume is greater than ϵ , we observe that the variable ordering cost c_1 will reduce to c_2 . Here, as usual $\mathbb{1}_v$ is an indicator function.

Denote by x the initial inventory and let y denote the inventory once the order has been received. We denote the generic demand by D . D is a random variable with $f(\xi)$ as its probability density function. The $F(x) = \int_0^x f(\xi)d\xi$ is the cumulative distribution function of D . We note that the complement of $F(x)$ is $\bar{F}(x) = 1 - F(x)$. We denote with $u(x)$ the expected value of the discounted costs for an inventory problem. Then, $u(x)$ satisfies the following Bellman functional equation:

$$u(x) = hx^+ + px^- + \inf_{y \geq x} \{K_1 \mathbb{1}_{y>x} + (c_1 - c_2)(y - x) \mathbb{1}_{y-x<\epsilon} + (c_2(y - x) + (c_1 - c_2)\epsilon) \mathbb{1}_{y-x \geq \epsilon} + \alpha E u(y - D)\}, x > 0. \quad (3)$$

where h and p represents the holding cost and penalty cost respectively. We apply the transformation

$$u(x) = hx^+ + px^- - c_2x + H(x) + \rho, \quad (4)$$

to the preceding equation, where ρ is an arbitrary constant. Substituting equation (4) into equation (3) results in the following equation for $H(x)$:

$$H(x) + \rho(1 - \alpha) = \inf_{y \geq x} \{K_1 \mathbb{1}_{y>x} + (c_1 - c_2)(y - x) \mathbb{1}_{y-x<\epsilon} + (c_1 - c_2)\epsilon \mathbb{1}_{y-x \geq \epsilon} + g(y) + \alpha E H((y - D))\}, \quad (5)$$

where,

$$g(y) = c_2(1 - \alpha)y + \alpha h E(y - D)^+ + \alpha p E(y - D)^- + \alpha c_2 \bar{D}. \quad (6)$$

The idea is to find an optimal policy in order to minimize the expected total discounted cost or in other words, to achieve the minimum on the right hand side of equation (5).

2.1. Primary Discussions

The above described problem is an extension of the following classical problem, corresponding to $\epsilon = 0$. We write $K_1 = K_2 = K$ and $c_1 = c_2 = c$, then equation (5) specializing in

$$H(x) + \rho(1 - \alpha) = \inf_{y \geq x} \{K \mathbb{1}_{y>x} + g(y) + \alpha E H((y - D)^+)\}, \quad (7)$$

which leads to the classical (s, S) policy solution. We describe briefly how to proceed in this classical case, to foresee the steps for the extension to (5). The solution is described as follows. For any $s > 0$, take $\rho(1 - \alpha) = g(s)$ and solve for $H_s(x)$, the solution of

$$\begin{cases} H_s(x) = g(x) - g(s) + \alpha E H_s(x - D), & \text{if } x > s, \\ H_s(x) = 0, & \text{if } x \leq s. \end{cases}$$

Since $g(x)$ is a convex function, $H_s(x)$ attains its minimum at a point (if there are several points we will take the smallest one). We define the minimum point to be S so that, $H_s(S) = \inf_{y > s} H_s(y)$. Then define s so that

$$0 = K + \inf_{y \geq s} H_s(y).$$

A unique s can be defined, to which one associates $S = S(s)$. This is the well known (s, S) policy.

2.2. Rewriting Bellman Equation

Considering the case $\varepsilon > 0$, one can expect that as ε is small, we expect to find a $(s_\varepsilon, S_\varepsilon)$ policy that is optimal. To do so, we begin by rewriting the Bellman functional equation defined in equation (5) as follows:

$$\begin{aligned} H(x) + \rho(1 - \alpha) = \min & \left\{ g(x) + \alpha E H((x - D)), \right. \\ & K_1 + \inf_{x < y \leq x + \varepsilon} ((c_1 - c_2)(y - x) + g(y) + \alpha E H((y - D))), \\ & \left. K_2 + \inf_{y > x + \varepsilon} (g(y) + \alpha E H((y - D))) \right\}. \end{aligned} \quad (8)$$

To see that this reduces to a (s, S) policy of two parameters, we show that $K_1 + \inf_{x < y \leq x + \varepsilon} ((c_1 - c_2)(y - x) + g(y) + \alpha E H((y - D)))$ can be eliminated from equation (8) as follows:

$$H(x) + \rho(1 - \alpha) = \min \left\{ g(x) + \alpha E H(x - D), K_2 + \inf_{y > x + \varepsilon} (g(y) + \alpha E H(y - D)) \right\}. \quad (9)$$

In the next section we set out the necessary conditions for optimality and show that there exists a pair $(s_\varepsilon, S_\varepsilon)$ that satisfy equation (9) and hence $(s_\varepsilon, S_\varepsilon)$ policy is optimal.

3. Optimality of $(s_\varepsilon, S_\varepsilon)$ Policy

Analogous to the case where $\varepsilon = 0$, for any $s > 0$, we take $\rho(1 - \alpha) = g(s)$ and solve the problem:

$$\begin{cases} H_s(x) = g(x) - g(s) + \alpha E H_s(x - D), & \text{for } x > s, \\ H_s(x) = 0, & \text{for } x \leq s. \end{cases} \quad (10)$$

To obtain a solution to the above equation, we fix s such that

$$\inf_{y > s + \varepsilon} (g(y) + \alpha E H(y - D)) = -K_2$$

We take the derivative of (10) with respect to x and obtain

$$\begin{cases} H'_s(x) = g'(x) + \alpha E H'_s(x - D), & \text{for } x > s, \\ H'_s(x) = 0, & \text{for } x \leq s. \end{cases} \quad (11)$$

As $g'(x)$ is bounded, we have a contraction problem. Therefore, by the Contraction Mapping Theorem, we know that the function has a unique fixed point. Accordingly, the above problem has exactly one solution. Since $H'_s(x - 0) = 0$ but $H'_s(x + 0) = g'(x)$, we have that $H'_s(x)$ is not continuous at s . But we can make $H'_s(x)$ continuous by letting $s = \bar{s}$ such that $g'(\bar{s}) = 0$, which implies that $\alpha(h + p)F(\bar{s}) = \alpha p - c_2(1 - \alpha)$, and therefore,

$$F(\bar{s}) = \frac{\alpha p - c_2(1 - \alpha)}{\alpha(h + p)}. \quad (12)$$

From equation (6), we observe that

$$\begin{aligned} g'(y) &= c_2(1 - \alpha) - \alpha p + \alpha(h + p)F(y); \quad \text{for } y > 0, \\ g'(y) &= c_2(1 - \alpha) - \alpha p; \quad \text{for } y < 0. \end{aligned}$$

Next, we assume that

$$\alpha(p + c_2) > c_2, \quad (13)$$

Then, since $p > c_2$, the function $g'(x)$ must be increasing from $c_2(1 - \alpha) - \alpha p$ to $c_2(1 - \alpha) + \alpha h$. Therefore, $c_2(1 - \alpha) - \alpha p < g'(x) < c_2(1 - \alpha) + \alpha h$. From equation (11) it follows that

$$\frac{c_2(1 - \alpha) - \alpha p}{1 - \alpha} \leq H'_s(x) \leq \frac{c_2(1 - \alpha) + \alpha h}{1 - \alpha}. \quad (14)$$

Moreover, $H'_s(\infty) = \frac{c_2(1 - \alpha) + \alpha h}{1 - \alpha}$. Therefore, the function $H_s(x)$ is defined by

$$H_s(x) = \int_s^x H'_s(\zeta) d\zeta, x \geq s \quad (15)$$

$H_s(x)$ goes to ∞ as x goes to ∞ , and since $H_s(x)$ is continuous, we have that the function attains its minimum on the interval $[s, \infty)$. Therefore, we claim that there exists a unique $S(s)$ such that

$$H_s(S(s)) = \inf_{y \geq s} H_s(y). \quad (16)$$

We will necessarily have that $S(s) \geq \bar{s} \forall s < \bar{s}$, for otherwise if $s > \bar{s}$ then we would have that $S(s) = s$. We want to find s_ε such that s_ε is a solution of

$$K_2 + \inf_{y \geq s_\varepsilon + \varepsilon} H_{s_\varepsilon}(y) = 0. \quad (17)$$

Of course, $s_\varepsilon + \varepsilon < \bar{s}$, which implies that

$$\varepsilon < \bar{s}. \quad (18)$$

This suggests that ε is small. From the inequality $s_\varepsilon + \varepsilon < \bar{s}$, the definition of \bar{s} , and equation (11), we can conclude that $H'_{s_\varepsilon}(y) < 0$, if $y \in [s_\varepsilon, s_\varepsilon + \varepsilon]$. Therefore, $y \rightarrow H_{s_\varepsilon}(y)$ is decreasing on $[s_\varepsilon, s_\varepsilon + \varepsilon]$. Hence

$$\inf_{y \in [s_\varepsilon, s_\varepsilon + \varepsilon]} H_{s_\varepsilon}(y) = H_{s_\varepsilon}(s_\varepsilon + \varepsilon) \geq \inf_{y \geq s_\varepsilon + \varepsilon} H_{s_\varepsilon}(y).$$

So we can write equation (17) as

$$K_2 + \inf_{y \geq s_\varepsilon} H_{s_\varepsilon}(y) = 0 \quad (19)$$

► **Lemma 1.** *We claim that*

$$s \mapsto \inf_{y \geq s} H_s(y) = H_s(S(s)) \quad (20)$$

is increasing on $(-\infty, \bar{s})$

Proof. Indeed, writing equation (11) as

$$H_s(x) = g(x) - g(s) + \alpha \int_0^{x-s} H_s(x - \xi) f(\xi) d\xi, x > s.$$

we see that $\frac{\partial H_s(x)}{\partial s}$, $x > s$, is a solution to the equation

$$\frac{\partial H_s(x)}{\partial s} = -g'(s) + \alpha \int_0^{x-s} \frac{\partial H_s(x - \xi)}{\partial s} f(\xi) d\xi, x > s$$

For $s < \bar{s}$, we have that $g'(s) < 0$. Therefore, $\frac{\partial H_s(x)}{\partial s} > 0, x > s$. Next $\inf_{y>s} H_s(y) = H_s(S(s))$ and $\frac{d}{ds} H_s(S(s)) = \frac{\partial H_s(S(s))}{\partial s}$ because of the optimality of $S(s)$. Moreover, $H'_{-\infty}(x) = g'(x) + \alpha E H'_{-\infty}(x - D)$ and

$$H_{-\infty}(x) = \int_{-\infty}^x H'_{-\infty}(\xi) d\xi = -\infty, \forall x$$

This result is true because $g'(x)$ is a constant $\forall x < 0$. Finally, since $\inf_{y \geq s} H_s(S(s))$ is increasing on s and it is 0 at \bar{s} , the integral evaluates to $-\infty$ when $x = -\infty$. This proves the property asserted in (20). So, it is clear that there exists a single s_ε for which $\inf_{y \geq s_\varepsilon} H_{s_\varepsilon}(y) = -K_2$. Now we can state the following:

► **Proposition 2.** *Assume that inequalities (13) and (18) hold. Then there exists a unique $s_\varepsilon < \bar{s} - \varepsilon$ which is a solution of equation (19) with $H_s(x)$ uniquely defined by equation (10). The solution of equation (10) is given by equation (15).*

We want now to check that the solution $H_{s_\varepsilon}(x)$ is a solution to our original problem, (8), with $\rho(1 - \alpha) = g(s_\varepsilon)$. Denoting $S_\varepsilon = S(s_\varepsilon)$, this defines the $(s_\varepsilon, S_\varepsilon)$ policy that we will show to be optimal. Doing so will require use of the following theorem.

► **Theorem 3.** *In addition to the assumptions of Proposition 2, assume that*

$$\alpha p < c_1(1 - \alpha) \quad (21)$$

Then the function $H_{s_\varepsilon}(x)$ is a solution to equation (8), with $\rho(1 - \alpha) = g(s_\varepsilon)$.

Proof. Lacking the assumption that (21) holds, we can still prove that $H_{s_\varepsilon}(x)$ is solution of (9). That is, we can show that

$$H_{s_\varepsilon}(x) = \min \left(g(x) - g(s_\varepsilon) + \alpha E H_{s_\varepsilon}(x - D), K_2 + \inf_{y>x+\varepsilon} (g(y) - g(s_\varepsilon) + \alpha E H_{s_\varepsilon}(y - D)) \right) \quad (22)$$

Now assume that $x \leq s_\varepsilon$. Then $H_{s_\varepsilon}(x) = 0$ and $g(x) - g(s_\varepsilon) + \alpha E H_{s_\varepsilon}(x - D) = g(x) - g(s_\varepsilon) > 0$, since $g(x)$ decreases whenever $x < \bar{s}$. Next, if $x + \varepsilon < s_\varepsilon$, then

$$\begin{aligned} \inf_{y>x+\varepsilon} (g(y) - g(s_\varepsilon) + \alpha E H_{s_\varepsilon}(y - D)) &= \min \left(\inf_{x+\varepsilon < y < s_\varepsilon} (g(y) - g(s_\varepsilon)), \right. \\ &\quad \left. \inf_{s_\varepsilon \leq y} (g(y) - g(s_\varepsilon) + \alpha E H_{s_\varepsilon}(y - D)) \right) \\ &= \min \left(\inf_{x+\varepsilon < y < s_\varepsilon} (g(y) - g(s_\varepsilon)), \inf_{s_\varepsilon \leq y} H_{s_\varepsilon}(y) = -K_2 \right) \end{aligned}$$

since $\inf_{x+\varepsilon < y < s_\varepsilon} (g(y) - g(s_\varepsilon)) > 0$. Therefore, the right hand side of (22) is 0, which is indeed the value of $H_{s_\varepsilon}(x)$ when $x \leq s_\varepsilon$. Accordingly, $H_{s_\varepsilon}(x)$ is solution of (22) when $x + \varepsilon \leq s_\varepsilon$. When $s_\varepsilon \geq x > s_\varepsilon - \varepsilon$,

$$\inf_{y>x+\varepsilon} (g(y) - g(s_\varepsilon) + \alpha E H_{s_\varepsilon}((y - D)^+)) = \inf_{y>x+\varepsilon} H_{s_\varepsilon}(y) = H_{s_\varepsilon}(S_\varepsilon) = \inf_{y \geq S_\varepsilon} H_{s_\varepsilon}(y) = -K_2$$

Thus, $H_{s_\varepsilon}(x)$ is a solution of (22) when $x \leq s_\varepsilon$. If $x > s_\varepsilon$, then (22) implies that

$$H_{s_\varepsilon}(x) = \min(H_{s_\varepsilon}(x), K_2 + \inf_{y>x+\varepsilon} H_{s_\varepsilon}(y)) \quad (23)$$

To check (23) we must prove that

$$H_{s_\varepsilon}(x) \leq K_2 + H_{s_\varepsilon}(y), \forall y > x + \varepsilon \quad (24)$$

But we have

$$H_{s_\varepsilon}(x) \leq K_2 + H_{s_\varepsilon}(y), \forall y > x \quad (25)$$

which is a classical result. For more details we refer the reader to the similar proof in [3], when the case is $\varepsilon = 0$.

So far we have proven that $H_{s_\varepsilon}(x)$ is a solution of (22) which means that it is also a solution of equation (9) with $\rho(1 - \alpha) = g(s_\varepsilon)$. The assumption of (21) was not needed for this. To prove that $H_{s_\varepsilon}(x)$ is a solution of equation (8), it remains to be proven that

$$H_{s_\varepsilon}(x) \leq K_1 + \inf_{x < y \leq x + \varepsilon} ((c_1 - c_2)(y - x) + g(y) - g(s_\varepsilon) + \alpha E H_{s_\varepsilon}(y - D)) \quad (26)$$

If $x + \varepsilon \leq s_\varepsilon$, then equation (26) can be rewritten as

$$0 \leq K_1 + \inf_{x < y \leq x + \varepsilon} ((c_1 - c_2)(y - x) + g(y) - g(s_\varepsilon))$$

which we know to be true because $g(y) - g(s_\varepsilon) > 0$ for $y \leq s_\varepsilon$. So we may assume $s_\varepsilon < x + \varepsilon$. If $x \geq s_\varepsilon$ then (26) means that

$$H_{s_\varepsilon}(x) \leq K_1 + \inf_{x < y \leq x + \varepsilon} ((c_1 - c_2)(y - x) + H_{s_\varepsilon}(y)) = K_1 + H_{s_\varepsilon}(x)$$

on account of assumption (21) and the fact that estimate (14) means that the function $(c_1 - c_2)y + H_{s_\varepsilon}(y)$ is monotone increasing when $y > s_\varepsilon$. So, (26) is true if $x \leq s_\varepsilon - \varepsilon$ or $x \geq s_\varepsilon$. Finally, if $s_\varepsilon - \varepsilon < x < s_\varepsilon$, (26) means that

$$0 \leq K_1 + \min \left(\inf_{x < y \leq s_\varepsilon} ((c_1 - c_2)(y - x) + g(y) - g(s_\varepsilon)), \inf_{s_\varepsilon < y \leq x + \varepsilon} ((c_1 - c_2)(y - x) + H_{s_\varepsilon}(y)) \right)$$

which previous arguments have shown to be true. This completes our proof. ■

The significance of equation (21) is briefly summarized in the following remark:

► Remark. Assumption (21) serves to ensure that a standard (s, S) policy will be optimal, and requires the penalty cost to be small. Assumption (21) ensures that $H_{s_\varepsilon}(x)$ is a solution of equation (8). Moreover, since (21) implies that $p \leq c_1$, we have that $c_2 < p \leq c_1$. Therefore, any purchase from supplier 1 will cost c_1 in addition to any fixed cost. On the other hand, electing to not meet the demand will only cost p , which is less than c_1 . In such a situation, orders will only be placed with the second supplier. Furthermore, if we make ε small solely by increasing K_1 and/or c_1 , then the optimal policy is exactly the (s, S) policy of the classical problem with only the second supplier. This will hold for every ε as long as it is small and (21) continues to hold. Therefore, we have shown that the $(s_\varepsilon, S_\varepsilon)$ policy is optimal.

4. CONCLUSION

In this article, we focused on a stochastic inventory model for an infinite horizon problem in which the ordering cost is piecewise linear. We analyzed the model for backlog sales situations with general demand distributions. We offered a rigorous mathematical theory and set out the conditions which are necessary to show that $(s_\varepsilon, S_\varepsilon)$ policy is optimal. The theory we provided is constructive and does not rely on K -convexity. This approach has the advantage of giving an explicit functional equation for the value function. Although we have examined this inventory control problem only for a situation with two suppliers, our method is general and can be extended to an arbitrary number of suppliers using a similar approach. Of course, the functional details are more intricate.

The crucial assumption (21) eliminated the possibility that the minimum on the right hand side of equation (8) be attained by the second term. If we do not make this assumption, this possibility is no longer excluded, leading to a generalized optimal policy which is more complex. This is our ongoing work.

REFERENCES

- [1] Benjaafar, S., Chen, D., & Yu, Y. (2018). Optimal policies for inventory systems with concave ordering costs. *Naval Research Logistics*, 65:291-302.
- [2] Bensoussan, A., Helal, M.A., Ramakrishna, V., & Sethi, S.P. (2020). Inventory policies for piecewise concave linear ordering cost. Submitted to *Operations Research (INFORMS)*.
- [3] Bensoussan, A. (2011). *Dynamic programming and inventory control*. Volume 3 of *Studies in Probability, Optimization and Statistics*, IOS Press.
- [4] Chen, X.D., Simchi-Levi, D. (2008). Pricing and inventory management. Working paper, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana.
- [5] Karlin, S., & Fabens, A. (1959) The $(s; S)$ inventory model under Markovian demand process", *Mathematical Methods in the Social Sciences*, Stanford University Press.
- [6] Porteus, E.L. (1971). On the optimality of generalized (s, S) Polices. *Management Science*, 17:411-426.
- [7] Scarf, H. (1959). The optimality of (S, s) policies in the dynamic inventory problem. *Mathematical Methods in the Social Sciences*, Stanford University Press, Stanford, 196-202.
- [8] Singha, K., Buddhakulsomsiri, J., & Parthanadee, P. (2017). Mathematical Model of (R, Q) Inventory Policy under Limited Storage Space for Continuous and Periodic Review Policies with Backlog and Lost Sales. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017, Article ID 4391970.



COMPARISON OF PYTHON AND GAMS OPTIMIZATION SOFTWARE TOOLS FOR CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM

IVAN BREZINA¹, JURAJ PEKÁR¹, MARIAN REIFF¹

¹ University of Economics in Bratislava - Faculty of Economic Informatics, Bratislava, marian.reiff@euba.sk

Abstract: *There are currently many software tools to solve optimization tasks. In the paper, the authors compare two Python and GAMS products, an appropriate tool for solving large-scale optimization problems, like Capacitated Vehicle Routing Problem. The selection of products was chosen based on their different nature, one being freely available (Python) and the other being paid (GAMS). The authors point to the time-consuming difficulty of solving different dimensions problems, pointing out the suitability of use for practical tasks.*

Keywords: *Python, GAMS, capacitated vehicle routing problems, optimization.*

1. INTRODUCTION

One of the often solved distribution companies' problems is the determination of the distribution routes for material deliveries and pickups. Such a problem is based on the requirement that a certain required quantity of material at minimum transport costs is distributed into the individual material collection, demand nodes from a service, supply node. The class of such distribution problems is called Vehicle Routing Problem (VRP) or Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP). From broad literature we can note for example (Müller-Merbach, 1970), (Laporte & Nobert, 1987), (Pelikán, 2001), (Janáček, 2003), (Brezina, Čičková, Gežik, & Pekár, 2009) and (Brezina, 2015). The problem aims to find the optimal (shortest, fastest or least costly) round trip from the supplier's node (both start and end of the round trip) to individual customers' nodes (places of consumption) based on customers' orders.

2. CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM

The vehicle routing problem is usually defined on the transport network (e.g. on the road or rail network, but it can also be telephone or computer networks used to transport information data). Let's have a transportation network containing the nodes (municipalities, towns, telephone exchanges, computer servers) and arcs – edges between nodes (roads or cables), which can be represented by a planar graph¹.

The basic premise of the formulation of the routing problem is the existence of a continuous edge-rated chart with rated arcs d_{ij} ($i, j = 0, 1, \dots, n$), which may represent the shortest distances between the different nodes of the network v_i ($i = 0, 1, \dots, n$), one node represents the starting and the ending point (service center u_0). The aim of the routing problem in the network is at the known limited capacity of the vehicle V find such a sequence of arcs from the starting node u_0 to all destination nodes u_i ($i = 1, 2, \dots, n$) with a return to the starting node u_0 , for which the sum of its arcs is a minimum (i.e. the shortest, fastest or, in any other sense, the least costly round trip) and each node can only pass once (this condition can only be modified in terms of stopping once in each node, since the nature of the road network does not always meet the condition of passing the node only once, e.g. dead-end streets, etc.) for known required quantities of material for individual customers (demand nodes) $q_i \leq V$ for all nodes in the network ($i = 1, 2, \dots, n$). In this formulation, we consider that the orders of individual nodes can be fulfilled by a maximum of one vehicle visit with a limited vehicle capacity V .

Problem definition

Let suppose that there is a transportation network with $n+1$ nodes and $(n+1).n/2$ arcs, whose assessment is determined by the matrix of shortest distances $\mathbf{D} = \{d_{ij}\}$, ($i, j = 0, 1, \dots, n$). Each of the consumption nodes demands q_i units of material from the service center u_0 , which has transportation vehicle available with a capacity of V ($q_i \leq V$, $i = 1, 2, \dots, n$).

¹ We call an unoriented graph an orderly pair $G = (V, E)$, for which set $V = \{v_i\}$ ($i = 1, 2, \dots, n$) is the final non-empty set of n nodes and $E = \{e_{ij}\}$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$) is a set of arcs, arcs e_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$) form a set of two-element subsets of the V set (E is any subset of a set of all second class combinations of set elements V).

Mathematical formulation

The capacitated vehicle routing problem can be formulated in bivalent programming categories, using binary variables x_{ij} , $i, j = 0, 1, \dots, n$.

The problem aims to find a route that minimize total distance traveled (or, in another sense, the least costly round trip), given the known minimum distance matrix between the nodes, $\mathbf{D} = \{d_{ij}\}$, ($i, j = 0, 1, \dots, n$). The following problem requirements must be fulfilled, do not exceed the vehicle capacity V and the round trip does not break down into unrelated subcycles. For each node, it must be the case that the vehicle must leave the node just once (except node 0 – service center, as there may be more routs), into each node, the vehicle can arrive just once (except node 0 – service center).

The mathematical model (1) of the problem can be formulated as follows:

$$\begin{aligned} f(\mathbf{x}, \mathbf{y}) &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} &= 1, \quad i = 2, 3, \dots, n, \quad i \neq j \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} &= 1, \quad j = 2, 3, \dots, n, \quad i \neq j \\ y_i + q_i - V(1 - x_{ij}) &\leq y_j \quad i = 1, 2, \dots, n \quad j = 2, 3, \dots, n \quad i \neq j \\ q_i &\leq y_i \leq V \quad i = 2, 3, \dots, n \\ x_{ij} &\in \{0, 1\}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \tag{1}$$

where V – is vehicle capacity,

q_i – are orders of i -th node

y_i – are variables representing the vehicle's capacity used on the road to the node i , while the value of the variable y_i is greater than the required capacity of the service center i and less than the capacity of the vehicle.

3. SOLUTION OF CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM

When solving capacitated vehicle routing problem, a conflict between computing difficulty and the quality of the solution achieved is considered to be typical. The success of individual algorithms' used depends on the determination of the parameters of the problem and the determination of the appropriate method (algorithm) of the solution. As the capacitated vehicle routing problems are becoming more complex, it also corresponds to the development of the appropriate exact optimization algorithms and heuristics, but also the use of metaheuristics created to solve other problems, which can also be successfully used to solve the tasks of graph theory.

While the optimal solution can usually be identified only after a relatively long and often unacceptable time, by using heuristic methods it is usually possible to quickly get a solution, but the quality tends to be lower. The approximate solution provides heuristic approaches², or metaheuristic approaches³, based mostly on methods of genetic algorithms, etc. For the optimal solution-seeking of this class of problem, integer programming methods⁴ are most often used, which are very challenging in terms of problem formulation and computing time consumption⁵. The use of exact optimization methods for problem solutions of this type is

² Heuristic methods are represented by a sequence of steps that allows to find a suboptimal solution in real time. Unlike exact methods, these methods do not guarantee to find an optimal solution, but on the other hand they allow in a relatively short time to calculate a 'good' tolerable solution even for complex tasks.

³ Metaheuristics (sometimes cold modern heuristics) are such heuristic approaches that, enables to deal with complex problems in certain circumstances, they allow to get out of the local minimum, in which most heuristic methods get stuck. This also corresponds to their name, since the Greek "meta" represents something at a higher level and a 'heuristic' search, which is to find a solution at a higher level.

⁴ The mathematical programming model with integer constraints on some variables.

⁵ Time complexity indicates how the amount of time needed to solve a problem increases as input data grows.

quite complicated (NP-complete tasks⁶) because there are no polynomial algorithms⁷ to solve them. Practical applications, therefore, quite often use heuristic methods.

The most well-known exact algorithms for solving multi-ton tasks include methods for solving integer programming models, backtracking, branch and bound methods and more. From heuristics can be mentioned Clark and Wright Savings Algorithm, Sweep Algorithm, Fisher and Jaikumar Algorithm, Petal Algorithm, Mole and Jameson Algorithm, Taillard, Christofides, Mingozzi and Toth Algorithm, k-Opt Algorithm and more.

When solving CVRP tasks various software tools can also be used. For example, on the webpage (Google's OR-Tools, 2020) procedures are available in Python, C++, Java, C#. CVRP solution linkage via Google Optimization Tools with products OptimoRoute, Badger Maps, Route4Me, MapQuest, WorkWave Route Manager and Routific is presented on webpage (Altexsoft, 2020).

Further CVRP solution will be presented in Python (Santos & Toffolo, 2020) and GAMS program products (GAMS Development Corporation, 2019). Python is a freely accessible, interpreted, object-oriented, interactive and relatively simple programming language that is increasingly popular and widespread in large companies such as Facebook, Apple and Google using Python, but is often used in universities for scientific calculations, data analysis and the like. General Algebraic Modeling System GAMS is suitable for mathematical modeling. GAMS is a high-level programming language using the natural mathematical formulation of models, with approximately thirty solvers available to solve optimization tasks. GAMS does not solve the modelled tasks, it acts as a middleman between the user and the corresponding solver, so the real tasks only move to a compatible standalone program to solve them.

The advantage of Python programming language is its free availability⁸, the advantage of using GAMS is its high professionalism and, at the same time, direct connectivity to optimization solvers, such as Gurobi, CPLEX, Xpress-Optimizer and others.

In the calculations carried out for the CVRP, we based on various hypothetical scenarios for vehicle capacity V requirements of demand nodes q_i :

1. Vehicle capacity $V = 50$, the same requirements of all demand nodes $q_i = 10, i = 1, 2, \dots, n$, while $n = 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19$.
2. Vehicle capacity $V = 50$, for $n = 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19$, different requirements of demand nodes $q_1 = 20, q_2 = 5, q_3 = 15, q_4 = 3, q_5 = 12, q_6 = 7, q_7 = 18, q_8 = 4, q_9 = 14, q_{10} = 6, q_{11} = 11, q_{12} = 7, q_{13} = 8, q_{14} = 3, q_{15} = 19, q_{16} = 5, q_{17} = 11, q_{18} = 5, q_{19} = 6$.
3. Vehicle capacity V equals to the sum of all requirements minus 10, i.e. the need to implement at least two routes, the same requirements of all demand nodes $q_i = 10, i = 1, 2, \dots, n$, while $n = 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19$.

There is also a matrix of minimum arch distances between nodes $\mathbf{D} = \{d_{ij}\}, (i, j = 0, 1, \dots, n)$ of dimension $n+1 \times n+1$ (maximum dimension 20×20) gradually for $n = 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19$.

Example of input data format for eight nodes in Python is in illustrated in table 1 (1st row node marking, next matrix of shortest distances between nodes, last row vehicle capacity in column 0 and other columns of demand node requirements).

Table 1: Example of input data format for eight nodes in Python

0	1	2	3	4	5	6	7
0	207.8	212.8	119.4	195.3	141.5	165.8	88.5
207.8	0	390.7	88.4	403.1	126.5	47	199.9
212.8	390.7	0	302.3	35	302.5	348.7	230.4
119.4	88.4	302.3	0	314.7	84.7	46.4	140
195.3	403.1	35	314.7	0	293	361.1	220.9
141.5	126.5	302.5	84.7	293	0	78	73.4
165.8	47	348.7	46.4	361.1	78	0	151.4
88.5	199.9	230.4	140	220.9	73.4	151.4	0
50	10	10	10	10	10	10	10

⁶ NP (non-deterministic polynomial) tasks – no polynomial algorithm is known for this problem class.

⁷ For a polynomial algorithm, it is time to process input data size n bounded from the top by $n, \log n, n^2, n^3$, etc.. So there is such a polynomial p , that the number of steps the algorithm performs in the calculation is limited by $p(n)$.

⁸ Price of basic model GAMS/Base Module (required) is 3,200 USD and optimization module GAMS/CPLEX 9,600 USD.

Source code for GAMS to solve CVRP:

```

Sets
i index uzla /0*n/
subi(i) /1*n/
alias (i,j)
alias (subi,subj);
Sets offdiag1(i,j)
    offdiag2(i,j);
offdiag1(i,i)=yes;
offdiag1(i,i)=no;
offdiag2(i,j)=offdiag1(i,j);
offdiag2(i,'0')=no;
table d(i,j);
Scalar g;
Parameters q ;
Binary Variable x(i,j);
Variables f, u(j);
Equations
ohr1(i)
ohr2(j)
ohr3(i,j)
ohr4(i)
ohr5(i)
ucel;
ucel.. f=e=sum((i,j),d(i,j)*x(i,j));
ohr1(subi(i)).. sum(j,x(i,j)$offdiag1(i,j))=e=1;
ohr2(subj(j)).. sum(i,x(i,j)$offdiag1(i,j))=e=1;
ohr3(i,j)$offdiag2(i,j).. u(i)-u(j)+q(j)-g*(1-x(i,j))=l=0;
ohr4(subi(i)).. q(i)=l=u(i);
ohr5(subi(i)).. u(i)=l=g;
Model vrp /all/;
Solve vrp using mip minimizing f;

```

Python source code to solve CVRP:

```

import pandas as pd
from itertools import product
from mip import Model, xsum, minimize
df = pd.read_excel(r'mesta vzdialenostix.xls')
places = df.columns
d=df.to_numpy()
n, V = len(d)-1, set(range(len(d)-1))
Vs=V-{0}
kapacita=d[n,0]
q=d[n,]
q[0]=0
d=d[0:n,]
model = Model()
x = [[model.add_var(var_type="B") for j in V] for i in V]
y = [model.add_var() for i in V]
model.objective = minimize(xsum(d[i][j]*x[i][j] for i in V for j in V))
for i in Vs:
    model += xsum(x[i][j] for j in V - {i}) == 1

```

```

for i in Vs:
    model += xsum(x[j][i] for j in V - {i}) == 1
for (i, j) in product(V - {0}, V - {0}):
    if i != j:
        model += y[i] + q[i] - kapacita*(1-x[i][j]) <= y[j]
for (i) in V - {0}:
    model += q[i] <= y[i]
for (i) in V - {0}:
    model += y[i] <= kapacita
model.optimize()

```

4. COMPARING THE TIME INTENSITY OF THE SOLUTION IN GAMS AND PYTHON

All the experiments were run on PC with Intel® Core™ i7-3770 CPU with a frequency of 3.40 GHz and 8 GB of RAM under MS Windows 8. The individual scenarios referred to in part three were calculated sequentially for 8 nodes (1 starting node, 7 demand nodes), 10 nodes (1 starting node, 9 demand nodes) and further for 12, 14, 16, 18 a 20 nodes:

Scenario 1: $V = 50, q_i = 10, i = 1, 2, \dots, n$, while $n = 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19$,

Scenario 2: $V = 50$, for $n = 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, q_1 = 20, q_2 = 5, q_3 = 15, q_4 = 3, q_5 = 12, q_6 = 7, q_7 = 18, q_8 = 4, q_9 = 14, q_{10} = 6, q_{11} = 11, q_{12} = 7, q_{13} = 8, q_{14} = 3, q_{15} = 19, q_{16} = 5, q_{17} = 11, q_{18} = 5, q_{19} = 6$,

Scenario 3: V equals to the sum of all requirements minus 10, $q_i = 10, i = 1, 2, \dots, n$, while $n = 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19$.

Table 2: Calculation times for individual scenarios and different node counts in seconds

Scenario 1	Number of nodes						
	8	10	12	14	16	18	20
GAMS	0.05	0.19	2.33	4.34	60.84	584.42	13391.41
Python	0.91	1.84	5.34	14.33	43.79	2829.44	6943.22
Scenario 2	8	10	12	14	16	18	20
GAMS	0.11	0.28	1.39	4.56	137.22	647.14	2082.8
Python	0.68	2.35	6.38	18.04	364.75	1568.72	8672.29
Scenario 3	8	10	12	14	16	18	20
GAMS	0.03	0.08	0.38	0.3	0.7	2.91	11.95
Python	0.42	0.62	1.56	1.55	1.89	6.77	19.71

Table 2 shows the calculation times in seconds needed to calculate the optimal solution utilizing GAMS and Python products for Scenarios 1, 2 and 3 and different node counts. The mentioned times are represented on the vertical axis in Figure 1, the horizontal axis represents the numbers of nodes. The calculated time values according to Scenario 1 are noted as GAMS 1, Python 1, and the corresponding scenario number.

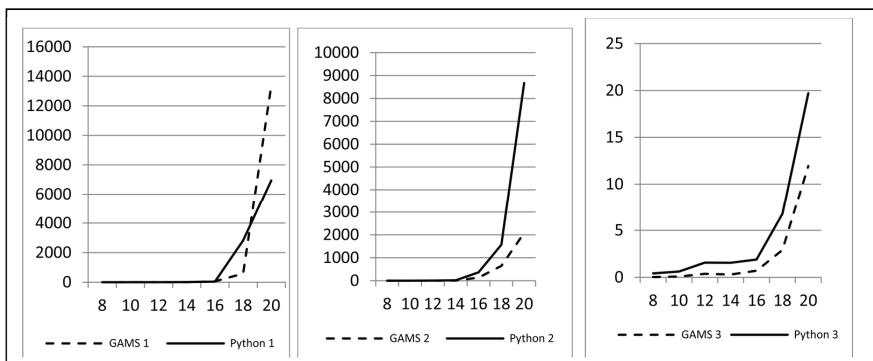


Figure 1: Calculation times for each analyzed scenario

We can conclude that Python and GAMS found the same value for the optimal solutions. It is clear from the comparison of the times needed to calculate the optimal solution for each that for a larger number of nodes the GAMS calculation is significantly faster (for the number of nodes $n \geq 10$ with the exception of Scenario 1 for 16, 20 nodes). With a small number of nodes for each scenario, the differences in calculation times in absolute values are relatively negligible, both programming languages found optimal solutions for all scenarios in a few seconds. For a larger number of nodes ($n \geq 10$) the difference between the times of finding the optimal solution is starting to be substantially different.

5. CONCLUSION

It is clear from the comparison of the times needed to calculate the optimal solution for each scenario that for a larger number of nodes, the calculation via GAMS is significantly faster (for the number of nodes $n \geq 10$). Of course, the calculation time determines the decision on the software used in the case of an operational or tactical management decision. If the roundtrip decision is not limited by the calculation speed (e.g. daily route planning), it is sufficient to use the freely available Python software, which, in a reasonable time, provides an optimal solution for a sufficient number of demand nodes (in distribution logistics it is difficult to predict case with more than 20 demand nodes). In the case of an operational decision (e.g. when a round trip needs to be changed due to changed entry conditions), the calculation time may play a substantial role and at that case, a substantial weighting may be assigned to the calculation time and give priority to the GAMS programming language calculation.

Acknowledgement

This paper is supported by the Slovak research and development agency, grant no. SK-SRB-18-0009 „Optimizing of logistics and transportation processes based on the use of battery operated vehicles and ICT solutions“

REFERENCES

- [1] Brezina, I. (2015). Minimalizácia emisií CO₂ v rozvozných úlohách. AIESA – budovanie spoločnosti založenej na vedomostiach. Medzinárodná vedecká konferencia. Bratislava: Vydavateľstvo EKONÓM. 554-558.
- [2] Brezina, I., Čičková, Z., Gežík, P., & Pekár, J. (2009). Modelovanie reverznej logistiky – optimalizácia procesov recyklácie a likvidácie odpadu. Bratislava: Vydavateľstvo EKONÓM.
- [3] Janáček, J. (2003). Optimalizace na dopravních sítích. Žilina: EDIS,
- [4] Laporte, G., & Nobert, Y. (1987). Exact algorithms for the vehicle routing problem. In North-Holland Mathematics Studies (Vol. 132, pp. 147-184): Elsevier.
- [5] Müller-Merbach, H. (1970). Optimale Reihenfolgen innerhalb mathematischer Algorithmen. In Optimale Reihenfolgen (pp. 205-212): Springer.
- [6] Pelikán, J. (2001). Diskrétní modely v operačním výzkumu. Praha : Professional Publishing
- [7] Google's OR-Tools. (2020, June 29) Retrieved from https://developers.google.com/optimization/routing/vrp#compute_matrix
- [8] Altexsoft. (2020, June 29) How to Solve Vehicle Routing Problems: Route Optimization Software and Their APIs Retrieved from <https://www.altexsoft.com/blog/business/how-to-solve-vehicle-routing-problems-route-optimization-software-and-their-apis/>
- [9] Santos, H.G., & Toffolo, T.A.M. Mixed Integer Linear Programming with Python (2020, June 28). Retrieved from <https://buildmedia.readthedocs.org/media/pdf/python-mip/latest/python-mip.pdf>
- [10] GAMS Development Corporation. (2019) General Algebraic Modeling System (GAMS), Fairfax, VA, USA, Retrieved from <https://www.gams.com/download/>



OPTIMIZACIJA NIVOVA PORUČIVANJA U UPRAVLJANJU ZALIHAMA PRIMENOM ARENA SIMULACIONOG MODELA

OPTIMIZATION OF INVENTORY ORDER LEVEL USING ARENA SIMULATION MODEL

DRAŽEN POPOVIĆ¹, MILICA MITROVIĆ², MILORAD VIDOVIĆ³, GORDANA RADIVOJEVIĆ⁴

¹ University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, d.popovic@sf.bg.ac.rs

² University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, milica.mitrovic@sf.bg.ac.rs

³ University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, m.vidovic@sf.bg.ac.rs

⁴ University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, g.radivojevic@sf.bg.ac.rs

Rezime: Kompanije adekvatnim upravljanjem zalihama vremenski usklađuju potražnju i nabavku radi obezbeđenja potrebne robe u cilju zadovoljenja zahteva kupaca i stvaranje profita. Simulacija je odličan alat za optimizaciju upravljanja zalihama putem ispitivanja ponašanja sistema u različitim postavkama. U ovom radu je predstavljen simulacioni model razvijen u ARENA softveru radi optimizacije upravljanja zalihama, odnosno radi određivanja nivoa zaliha pri kojem je potrebno poručivanje robe za koji sistem generiše minimalne ukupne troškove.

Ključne reči: Simulacija, Optimizacija, Zalihe, ARENA.

Abstract: By adequately managing inventories, companies adjust demand and supply over time to provide the necessary goods to meet customer requirements and make a profit. Simulation is a great tool for optimizing inventory management by examining system behavior in a variety of settings. This paper presents a simulation model developed in ARENA software to optimize inventory management, ie to determine the level of inventory at which it is necessary to order goods for which the system generates minimal total costs.

Keywords: Simulation, Optimization, Inventories, ARENA.

1. UVOD

Modeliranje poslovanja pojednostavljuje prikazivanje složenog sistema sa ciljem da se predvide značajne mere performanse sistema. Takav pojednostavljen prikaz se naziva model. Model predstavlja ponašanje modeliranog sistema na osnovu kog kreator modela stiče znanje i uvid u ponašanje sistema. Svrha simulacije je kreiranje eksperimentalnog modela koji predstavlja ponašanje realnog sistema u određenom vremenskom periodu izbegavajući vremenske i troškovne gubitke u cilju optimalnog planiranja (Altiok i dr., 2007). Simulacija se široko primenjuje u oblastima inženjerstva, poslovanja, prirodnih i društvenih nauka. Metodologija simulacije se oslanja na računarske tehnologije, statistiku i operaciona istraživanja (Bratey i dr., 1987).

Simulacioni model se kreira u računarskom programu i koristi se kao alternativa analitičkog modeliranja. Razlika između analitičkog i simulacionog modeliranja je njihova priroda rešenja. Analitički model zahteva rešavanje matematičkog problema, izvođenje matematičkih formula i algoritamskog postupka za dobijanje značajnih mera performansi. Simulacioni model zahteva pokretanje simulacionog programa zasnovanog na izračunavanju statističkih parametara na osnovu istorijskih podataka za formiranje značajnih mera performansi (Altiok i dr., 2007). Simulacioni softverski alati kao što su Arena, FlexSim, Extend i Simio olakšavaju razvoj računarskih simulacionih modela, njihovo korišćenje i pružaju mogućnost vizuelnog praćenja toka simuliranog procesa. Primena simulacije podrazumeva nekoliko aktivnost koje odgovaraju fazama sistemske analize (Vidović, 2020):

- Formulisanje problema,
- Razvoj konceptualnog modela sistema,
- Razvoj računarskog programa,
- Testiranje i verifikacija modela,
- Realizovanje simulacionog eksperimenta i
- Interpretacija rezultata.

Konceptualno modeliranje podrazumeva kreiranje pojednostavljenog modela realnog sistema i predstavlja najvažniju fazu simulacionog modeliranja. Kreiranje modela utiče na sve faze modeliranja koje se odnosi na prikupljanje podataka, brzinu razvoja modela i realizacije eksperimenta, tačnost modela i poverenje koje se polaže u izlazne rezultate. Dobro kreiranje modela je uslov za uspešno simulaciono modeliranje. Konceptualno modeliranje se odnosi na uočavanje problema realnog sistema koje treba rešiti pomoću simulacionog modela. Simulacione faze modela se neprestano ponavljaju kroz niz iteracija u životnom ciklusu simulacione studije. Stoga, konceptualno modeliranje nije jednokratni proces, već se ponavlja i doraduje nekoliko puta tokom simulacije. Četiri ključna procesa u razvoju i korišćenju simulacionog modela su: konceptualno modeliranje, kodiranje modela, eksperimentisanje i implementacija. Rezultat svakog procesa je konceptualni model, računarski model, rešenje problema i bolje razumevanje realnog sveta (Robinson, 2008).

Konceptualni model predstavlja fazu u simulacionom modelu koji određuje komponente i strukture modela simulacije nekog sistema. Kreator modela mora da razume tačan problem i predmet simulacije i da ga pretvori u pogodan simulacioni model. Konceptualni model se sastoji od četiri glavne komponente: određivanje ciljeva modeliranja, identifikovanje ulaza u model, definisanje izlaza iz modela i definisanje sadržine modela. Postoje dva tipa određivanja ciljeva modeliranja. Prvi tip ciljeva se odnosi na opis svrhe modela i modeliranja projekta. Drugi tip se odnosi na opšte ciljeve projekta koji se vezuju za vremenski parametar projekta, prirodu modela, brzinu rada, vizuelni prikaz i jednostavnost korišćenja modela. Različiti ciljevi modeliranja dovode do različitih modela i suštinski opisuju konceptualni model. Identifikovani ulazi modela su elementi koji se mogu menjati tokom simulacije radi poboljšanja i boljeg razumevanja problema realnog sistema prema određenim ciljevima. Definisani izlazi iz modela predstavljaju rezultate izveštavanja simulacionog modela na osnovu kojih se utvrđuje da li su postignuti ciljevi modeliranja, a ako nisu ukazuju na razlog zašto se ciljevi ne ostvaruju. Definisanje sadržine modela se sastoji od komponenti u modelu i njihove međusobne povezanosti. Konceptualno modeliranje je proces kreiranja konceptualnog modela koji zahteva sledeće aktivnosti (Robinson, 2008):

- Razumevanje problema realnog sistema,
- Određivanje modela i opštih ciljeva simulacije,
- Definisanje izlaza iz modela,
- Identifikovanje ulaza modela,
- Određivanje sadržine modela (obim i nivo detaljnosti), identifikovanje pretpostavki i pojednostavljenja.

Cilj ovog rada je utvrđivanje nivoa zaliha pri kojem se vrši poručivanje sa najmanjim ukupnim troškovima, primenom simulacionog modela razvijenog u ARENA (Rockwell Automation) softveru. Na ukupne troškove utiču troškovi poručivanja, troškovi posedovanja zaliha i nedostatka zaliha. Svrha ovog modela je praćenje ponašanja realnog sistema zaliha u određenom vremenu kako bi se utvrdio nivo zaliha sa najmanjim ukupnim troškovima pri kojem se vrši poručivanje i koji zadovoljava zahteve kupaca.

Koncept rada je organizovan u tri poglavlja. U drugom poglavlju rada se opisuje upravljanje zalihama, obeležja potrošnje i koja se strategija upravljanja zalihama koristi za ovaj simulacioni model. U trećem poglavlju se opisuje simulacioni model odnosno parametri modela i način razvijanja modela. Na kraju su prikazani izlazni rezultati simulacionog modela i zaključna razmatranja.

2. UPRAVLJANJE ZALIHAMA

U logističkom procesu upravljanja zalihama veoma je značajno da se uz minimalno vezivanje obrtnih sredstava i korišćenja potrebnih osnovnih sredstava, radne snage i energije omogući maksimizacija dobit od formiranih zaliha. Za određivanje željenog stanja zaliha potrebno je poznavanje načina funkcionisanja poslovnog sistema u kome se istražuju problemi zaliha. Na upravljanje zalihama utiču faktori, odnosno tehnokonomske karakteristike koje su od najvećeg značaja za funkcionisanje sistema zaliha. Tehnokonomske karakteristike koje su značajne za određivanje stanja zaliha su (Vukićević, 1995): vrste zaliha i njihova struktura, fizička i hemijska svojstva zaliha, sistem snabdevanja i potrošnje zaliha, popunjavanje zaliha, funkcija troškova nastalih postojanjem zaliha, funkcija troškova nastalih odsustvom zaliha, strategija upravljanja zalihama, sistem kontrole i ograničenja.

Na osnovu značaja potrošnje se formiraju zalihe sa ciljem da se po ukazanoj potrebi i potražnji odgovori zahtevima tržišta. U različitim poslovnim sistemima potrošnja može imati različita obeležja koja mogu biti (Vukićević, 1995):

- Kontinualna ili diskontinualna,
- Konstantna ili promenljiva,

- Deterministička ili stohastička,
- Stacionarna ili nestacionarna,
- Sa ograničenjem ili bez ograničenja,
- Zavisna ili nezavisna u odnosu na potrošnju drugih proizvoda, sezonskog karaktera, dana u nedelji itd.

Zalihama se upravlja prema unapred definisanoj strategiji. Strategija upravljanja zalihama zavisi od drugih tehnoeкономskih karakteristika koje su prisutne u poslovnom sistemu. Važan faktor odabira strategije predstavlja izbor veličina preko kojih se upravlja zalihama. U poslovnom sistemu najčešće strategije upravljanja zalihama su (Vukićević, 1995):

- (q^*, r_n^*) – količina koja se nabavlja i nivo zaliha pri kome se naručuje,
- (q^*, W^*) – količina koja se nabavlja i vreme između dve susedne nabavke,
- (M^*, r_n^*) – maksimalno dozvoljena količina zaliha i nivo zaliha pri kome se naručuje,
- (M^*, W^*) – maksimalno dozvoljena količina zaliha i vreme između dve susedne nabavke,
- (q^*, Y) – količina koja se nabavlja uz poznat rok isporuke (Y) za statističke modele,
- $(q^*, R_n^*, W_p^*), (M^*, R_n^*, W_p^*)$ – gde veličina (W_p^*) predstavlja vreme između dve susedne provere stanja zaliha (sistem sa periodičnom proverom).

U ovom radu za simulacioni model se koristi strategija $(q^*, R_n^*, W_p^*), (M^*, R_n^*, W_p^*)$ upravljanja zalihama koju opisuju četiri parametra:

- q^* – količina koja se nabavlja,
- R_n^* – nivo zaliha pri kome se naručuje,
- W_p^* – vreme između dve susedne provere stanja zaliha i
- M^* – maksimalna dozvoljena količina zaliha.

Strategija $(q^*, R_n^*, W_p^*), (M^*, R_n^*, W_p^*)$ se javlja u situacijama kada kupac vrši nabavku robe uz definisan rok isporuke, a ima stohastičnu potrošnju robu i fiksni kapacitet skladišta, pri čemu je važno da mu prispela roba uvek napuni skladište. Osnovni problem kod ove strategije je što kupac zna količinu robe koju može da prihvati tek u trenutku kad mu se roba isporučuje. U ovom slučaju ugovorena količina predstavlja orijentacionu količinu isporuke, što dobavljaču stvara određene poteškoće pri planiranju isporuke. Kod ove strategije se može dogoditi da kupac ostane bez zaliha određeno vreme tokom roka isporuke (Vukićević, 1995).

3. SIMULACIONI MODEL

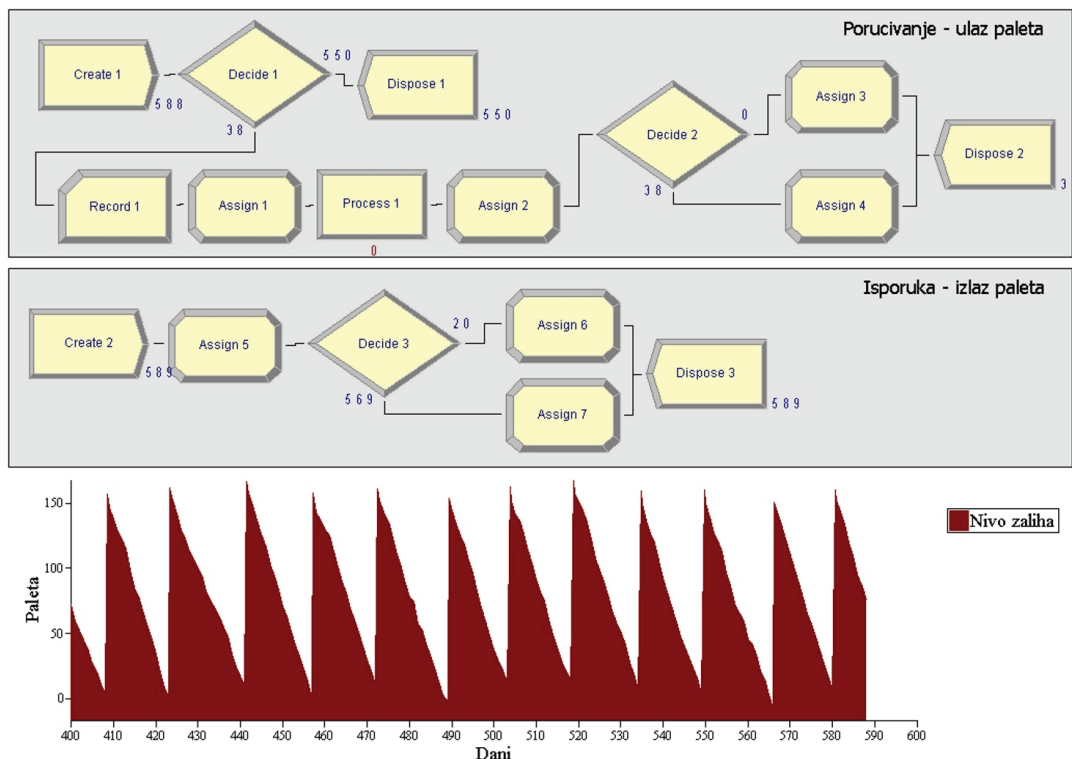
U ovom radu se koristi softverski alat ARENA za kreiranje simulacionog modela upravljanja zalihama jednog artikla u kojem se dnevno proveravaju zalihe i u slučaju da su manje od nivoa rezerve, vrši se poručivanje od dobavljača. Potražnja za artiklom (izlaz iz skladišta) je stohastična veličina i generiše se na nivou dana u paletama. Od momenta naručivanja pa do momenta prispeća robe u skladište prođe nekoliko dana. U sistemu je moguća naknadna opsluga, odnosno ako u nekom danu ne postoji dovoljno zaliha na stanju za zadovoljenje izlaza, ti zahtevi se mogu opslužiti u narednom periodu po prispeću robe od dobavljača (sistemsko stanje zaliha može imati negativnu vrednost u tom slučaju, *engl. - backordering*).

Izabrani parametri modela koji utiču na kreiranje simulacije se opisuju dalje u tekstu. Dnevna potražnja je definisana sa normalnom raspodelom ($\mu^{izlaz} = 10, \sigma^{izlaz} = 2.5$) u paletama. Maksimalni nivo zaliha do kojeg se računa količina naručivanja iznosi $Q_{max} = 150$ paleta. Potrebno vreme da roba stigne od dobavljača nakon poručivanja je definisano sa normalnom raspodelom ($\mu^{vreme} = 3, \sigma^{vreme} = 0.5$) u danima. Poručivanje robe od dobavljača se vrši za slučajeve kada nivo zaliha padne ispod Q_{min} i ova vrednost predstavlja rešenje optimizacije. U simulacijama su posmatrane različite vrednosti ovog parametra, a u radu su prikazani rezultati za sledeće vrednosti (vrednosti Q_{min} koje se nalaze u blizini rešenja sa minimalnim ukupnih troškovima po varijantama puštanja simulacionog modela): 20, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 40 i 50 paleta.

Količina porudžbine (Q) zavisi od trenutnog stanja zaliha (S), maksimalnog stanja zaliha (Q_{max}), očekivanog vremena isporuke (μ^{vreme}) i očekivane tražnje (μ^{izlaz}): $Q = ANINT(Q_{max} + \mu^{vreme} \cdot \mu^{izlaz} - S)$, gde ANINT predstavlja komandu u ARENA softveru putem koje se brojevi zaokružuju na cele vrednosti (moguće je naručivanje isključivo celih paleta proizvoda). Kada se generiše poručivanje robe, dodatna poručivanja nisu moguća sve dok porudžbina nije isporučena tj. tek kad poručena roba stigne moguće je generisati narednu porudžbinu. Početno stanje zaliha na početku simulacije je $S = 100$ paleta. Stanje zaliha može biti pozitivno ili negativno (negativno u slučaju da klijenti traže robu a ista se ne nalazi na stanju, u kom slučaju se opsluga odlaže za naredni dan kada bude dovoljno robe na stanju). Sistemski se prati stanje zaliha

(S^{zalihe}) tj. kada je stanje zaliha $S \geq 0$ računa se trošak posedovanja zaliha. Ova promenljiva uzima vrednost 0 kada su zalihe u minusu. Sistemski se prati manjak zaliha (S^{manjak}) tj. kada je stanje zaliha $S < 0$ računa se trošak manjka zaliha. Ova promenljiva uzima vrednost 0 kada su zalihe u plusu. Dnevni trošak posedovanja zaliha po jednoj paleti iznosi $C^{stanje} = 0.1$ €, dnevni trošak manjka zaliha po jednoj paleti iznosi $C^{manjak} = 3$ €, i trošak naručivanja je $C^{naručivanje} = 5$ €. U simulaciji se posmatraju ukupni troškovi za dva slučaja od 5 i 10 replikacija za dužine replikacija od 365, $10 \cdot 365$, $20 \cdot 365$ i $50 \cdot 365$ dana (8 varijanti različitih dužina i broja replikacija radi analize osetljivosti).

Za ovu simulaciju se kreiraju dva paralelna podmodela. Prvi podmodel se odnosi na dnevnu proveru stanja i poručivanje zaliha gde je entitet nabavka tj. ulaz paleta u skladište. Drugi podmodel se odnosi na isporuku gde je entitet potrošnja tj. izlaz paleta iz skladišta. Sistemski se prati broj poručivanja, pozitivno stanje zaliha i manjak zaliha. Na slici 1 je prikazan simulacioni model upravljanja zalihama i vizualni prikaz kretanja nivoa zaliha u vremenu.



Slika 1: ARENA Simulacioni model upravljanja zalihama i sa prikazom kretanja nivoa zaliha u vremenu

U podmodelu poručivanja (ulaz paleta) modul *Create 1* definiše ulazak entiteta u sistem. Sledeći korak je modul *Decide 1* u kojem se proverava da li je neophodno da se generiše poručivanje robe od snabdevača (ako već ne postoji porudžbina na putu i ako su zalihe ispod minimalnog nivoa Q_{min} vrši se naručivanje). Modul *Record 1* beleži broj naručivanja kako bi se kasnije utvrdili troškovi poručivanja. U *Assign 1* modulu se određuje količina poručivanja Q . Zatim sledi modul *Process 1* koji simulira transport robe definisan normalnom raspodelom ($\mu^{vreme} = 3, \sigma^{vreme} = 0.5$) u danima. U *Assign 2* modulu se beleži uvećano stanje pristigle poručene robe. Zatim se dodaje *Decide 2* modul radi razdvajanja tokova za sistemsko praćenje pozitivnog stanja zaliha i manjka zaliha. Ukoliko je stanje zaliha manje od 0 *True* grana predstavlja *Assign 3* modul koji uvodi dve promenljive pozitivno stanje i manjak zaliha, u tom slučaju pozitivno stanje je jednako 0, a manjak zaliha beleži umanjenje traženog stanja. *False* grana predstavlja *Assign 4* modul koji, takođe, beleži navedene dve promenljive, u tom slučaju manjak zaliha je jednak 0, a pozitivno stanje je trenutno stanje. U oba slučaja entitet napušta sistem sa *Dispose 2* modulom.

U podmodelu isporuka (izlaz paleta) modul *Create 2* definiše prispeće tražnje od strane klijenata tj. izlaz paleta iz sistema. Sledeći korak je uvođenje promenljive za umanjenje stanja zaliha sa normalnom raspodelom ($\mu^{izlaz} = 10, \sigma^{izlaz} = 2.5$) preko *Assign 5* modula. *Decide 3* modul se koristi za razdvajanje tokova pozitivnih

zaliha i manjka zaliha koji proverava da li stanje manje od 0, ukoliko jeste *True* grana *Assign 6* modul u tom slučaju pozitivno stanje zaliha je jednako 0, a manjak zaliha beleži umanjenje traženog stanja. *False* grana je modul *Assign 7* gde je manjak zaliha jednako 0, a pozitivno stanje je jednako trenutnom stanju. U oba slučaja entitet napušta sistem sa *Dispose 3* modulom.

Nakon realizovanih svih koraka modela se izvršavaju potrebna podešavanja u *Run Setup* obrascu. Nakon završene poslednje replikacije u *Reports/User Specified* se uočavaju posmatrani parametri, a to su prosečan broj naručivanja, prosečno stanje pozitivnih zaliha i prosečno stanje manjka zaliha. Na osnovu navedenih parametara se utvrđuju ukupni troškovi po različitim nivoima zaliha pri poručivanju i dužinama replikacija.

4. REZULTATI

U tabeli 1 su prikazani ukupni troškovi za različite varijante nivoa poručivanja (Q_{min}), broja i dužine replikacije simulacije. U modelu su posmatrane simulacije od 5 i 10 replikacija za dužine replikacije od 365, 10*365, 20*365 i 50*365 dana kako bi se izvršila analiza uticaja intenziteta simulacije odnosno dužine simulacionog vremena na rešenje. Na osnovu prosečnih vrednosti parametara se utvrđuju ukupni troškovi posmatranih perioda koji se uporedno analiziraju i pomoću kojih se odlučuje koji je nivo zaliha najbolji za poručivanje. Uporedna analiza uticaja broja replikacija na rešenje koje generiše najmanje ukupne troškove ukazuje na veliku sličnost dobijenih rezultata sa malim odstupanjem kod perioda od 365 i 20*365 dana. Što se tiče dužine simulacionog vremena, pri dužini od 50*365 dana broj replikacija ne utiče na rešenje Q_{min} pri kojem se sistem generiše minimalne troškove. U tabeli 1 su prikazani rezultati za nivoe zaliha pri kojima se vrši poručivanje od 25 do 35 paleta sa korakom 1 (u tom opsegu se i nalaze najbolja rešenja za 8 varijanti broja i dužina replikacija), kao i za dva ekstrema koji se odnose na ekstrem niskog nivoa zaliha od 20 paleta i na ekstrem visokog nivoa zaliha od 50 paleta radi upoređivanja njihovih troškova. Ekstremno niske zalihe generišu manje troškove poručivanja i posedovanja zaliha a veće troškove nedostatka zaliha, dok ekstremno visoke zalihe imaju obrnut efekat. U oba slučaja, ukupni troškovi su značajno veći od rešenja u kojem postoji dobar balans između posedovanja i nedostatka zaliha, kao i frekvencije poručivanja.

U slučaju 5 replikacija ukupni troškovi su najmanji na nivou od 33 palete, dok u slučaju 10 replikacija su troškovi najmanji na nivou od 30 paleta. Kod dužine replikacije 20*365 je odstupanje još manje, za slučaj od 5 replikacija najmanji troškovi su na nivou od 31 palete, a u slučaju 10 replikacija su najmanji na nivou od 32 palete. Apsolutna podudarnost dobijenih rezultata nivoa pri kojem se vrši poručivanje kod obe replikacije je za dužine replikacije od 10*365 i 50*365, a to je nivo od 31 palete. Mala odstupanja u rešenjima su posledica stohastičnosti procesa i nedovoljne dužine i intenziteta simulacije u varijantama sa manjim brojem replikacija i kraćim simulacionim vremenom.

Tabela 1: Ukupni troškovi za različite varijante Q_{min} , broja i dužine replikacija simulacije

Broj replikacija	Dužina replikacije [dana]	Q_{min}														
		20	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	40	50	
5	365	3407	3145	3114	3109	3114	3090	3067	3070	3057	3056	3062	3082	3153	3339	
	10*365	33072	31311	31019	30982	30753	30682	30719	30748	30675	30761	30899	30926	31618	33320	
	20*365	65958	62486	61971	61926	61441	61341	61405	61329	61349	61487	61684	61708	63102	66659	
	50*365	165108	156327	155126	154565	153827	153400	153353	153188	153361	153509	153887	154161	157475	166447	
10	365	3361	3129	3100	3100	3092	3074	3060	3061	3063	3617	3068	3073	3159	3335	
	10*365	31965	30170	29844	29789	29558	29531	29520	29487	29441	29541	29594	29649	30364	31963	
	20*365	66134	62559	62000	61822	61430	61355	61390	61291	61264	61481	61562	61660	63114	66657	
	50*365	159763	150650	149373	148727	147968	147647	147451	147281	147315	147556	147754	148044	151246	159822	

U tabeli 2 su prikazana detaljnija rešenja za različite vrednosti Q_{min} za najintenzivniju varijantu modela sa 10 replikacija i simulacionim vremenom od 50*365 dana. Ukupni troškovi zaliha (ΣT) predstavljaju sumu troškova poručivanja (TP), troškova posedovanja zaliha (TZ+) i troškova nedostatka zaliha (TZ-). Prosečan broj poručivanja (P, prosek ukupnog broja poručivanja) i posedovanja zaliha (Z+, dnevni prosek) raste sa većim nivoom zaliha što se direktno odnosi i na njihove troškove. Dok prosečan broj manjka zaliha (Z-, dnevni

prosek) i njegovi troškovi se smanjuju sa većim nivoom zaliha pri kojem se vrši poručivanje. Na osnovu posmatranih različitih varijanti nivoa zaliha pri poručivanju može se zaključiti da za vrednost $Q_{min}=31$ paleta sistem ostvaruje najniže ukupne troškove u odnosu na ostale vrednosti Q_{min} .

Tabela 2: Parametri i pojedinačni troškovi za varijantu simulacije sa 10 replikacija i simulacionim vremenom od 50*365 dana

Q_{min}	20	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	40	50
P	1104.4	1138.6	1146.6	1153.7	1160.7	1168.2	1176.3	1183.5	1191.3	1199.0	1206.5	1214.5	1256.5	1349.7
Z+	73.0	75.4	75.8	76.3	76.7	77.2	77.7	78.2	78.7	79.2	79.6	80.0	82.5	87.6
Z-	0.48	0.24	0.20	0.17	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07	0.05	0.04	0.04	0.01	0.0003
TP	5522	5693	5733	5769	5804	5841	5882	5918	5957	5995	6033	6073	6283	6749
TZ+	133221	137570	138280	139332	139958	140819	141839	142757	143615	144559	145312	146039	150640	159808
TZ-	26543	13080	11092	9395	8010	6827	5612	4524	3700	2997	2442	2005	606	14
ΣT	159763	150650	149373	148727	147968	147647	147451	147281	147315	147556	147754	148044	151246	159822

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu je primenom ARENA softvera razvijen simulacioni model za određivanje nivoa zaliha pri kojem se vrši poručivanje robe sa najmanjim ukupnim troškovima. Primenom predstavljenog simulacionog modela može se steći uvid u ponašanje sistema upravljanja zalihama, odnosno uticaj promene poslovne odluke o minimalnom nivou zaliha pri kojem se vrši poručivanje robe od snabdevača na pojedinačne troškove posedovanja zaliha, nedostatka zaliha i poručivanja. Na osnovu dobijenih rezultata simulacije nivo zaliha od 31 palete ostvaruje najmanje ukupne troškove za posmatranu postavku problema. U budućim istraživanjima, simulacioni model se može proširiti radi detaljnijeg i složenijeg posmatranja realnog sistema upravljanja zalihama (veći broja artikala, dodatni troškovi, otkazi u sistemu kako sa strane klijenata koji ne žele da čekaju robu tako i sa strane resursa u sistemu i sl.).

NAPOMENA

Ovaj rad je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru projekta TR 36006 za period 2011-2020.

LITERATURA

- [1] Bratley, P., Fox, L. B., & Schrage, E. L. (1987). A Guide to Simulation. Springer Science+Business Media New York, 1-393.
- [2] Altiok, T., & Melamed, B. (2007). Simulation Modeling and Analysis with ARENA. Academic Press is an imprint of Elsevier, 1-435.
- [3] Robinson, S. (2008). Conceptual modelling for simulation Part I: definition and requirements. Journal of the Operational Research Society, 59(3), 278-290.
- [4] Vukićević, S. (1995). Skladišta. Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd.
- [5] Vidović, M. (2020). Priroda simulacije i istorijski osvrt. Materijal sa predavanja iz predmeta Simulacije logističkih sistema. Univerzitet u Beogradu. Saobraćajni fakultet.



EVALUATION AND SELECTION OF KPI IN PROCUREMENT LOGISTICS USING SWARA-QFD APPROACH

VUKAŠIN PAJIĆ¹, MILAN ANDREJIĆ¹, MILORAD KILIBARDA¹

¹ University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, v.pajic@sf.bg.ac.rs, m.andrejic@sf.bg.ac.rs, m.kilibarda@sf.bg.ac.rs

Abstract: *Efficient procurement is one of the key parameters of a company's competitiveness. For that reason, it is necessary for logistics companies to monitor and measure the performance of their procurement. One of the tools they can use on this occasion is the KPIs. In this paper, 15 KPIs of procurement logistics were analyzed in order to determine the 5 most important ones. In the assessment of the significance of the KPI, 10 experts in the field of logistics participated. The results of their assessment were then used in the SWARA method to obtain the weights of each of the KPIs. After determining the weights, the QFD method was applied to determine the priorities of the observed and analyzed KPIs. The results of the application of these methods showed that order to delivery time, cost per shipment, average delivery time, revenue per order and percentage of on-time deliveries stand out as the five most important KPIs in procurement logistics.*

Keywords: *procurement logistics, SWARA, QFD, KPI.*

1. INTRODUCTION

Procurement logistics, in addition to distribution, is one of the most important segments of the company, given that the efficiency of procurement depends on the ability to meet customer requirements. With this in mind, it can be said that the competitiveness of a company depends on the efficiency of procurement since the satisfaction of customer requirements directly affects the increase in customer satisfaction. In addition to the procurement itself, the procurement logistics is also in charge of market research, supplier analysis, receipt and processing of bids, selection of suppliers, etc. Based on all previously said, it can be concluded that this segment of logistics is of great importance.

In order to monitor their performance but also to achieve cost savings and increase business efficiency, companies define, measure and monitor KPIs. The purpose of the KPI application is to enable the measurement of achieved performance within the company but also within the industry sector in order to start the benchmark process. Based on the value of the KPI, companies can find out the efficiency of their business. In this paper, two methods were used to assess the significance of KPIs, SWARA and QFD. SWARA is a method where experts apply their own experiences, knowledge and information in order to determine the weight of each attribute. The main feature of the SWARA method is reflected in the possibility of estimating the experts' opinions about the significance of the attributes in the process of weight determination. The first attribute (criterion) after ranking is considered to be the most significant, while the last one is the least significant. The advantage of this method is reflected in the fact that it is not time-consuming and is not complicated to apply (Mardani et al., 2017). The QFD method was developed with the aim of meeting customer requirements through the design and improvement of products and services. One of the main drivers of this method is the „voice of the customer“, where it seeks to determine what users want from the product/service, and then define the steps to fulfill it. In addition to the „voice of the customer“, another basic element of the QFD method is the House of Quality (HoQ). The HoQ consists of user requirements (WHATs), resources (HOWs) and a matrix.

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 QFD 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 procurement on the one hand includes purchasing and supply management while on the other hand includes managing inbound and outbound logistics. These activities consume a lot of time so it should be managed in order to achieve all the benefits that efficient procurement provides. Also, the task of procurement

is supplier selection which can play a significant role as it can influence the delivery lead times. Besides delivery, influence on cycle time also has the procurement transaction process (Bag et al., 2020). Given that procurement logistics can have an impact on a large number of other activities, it is extremely important to monitor and manage this process. Different authors define different procurement logistics KPIs. In the report (USAID, 2013) the authors defined the following KPIs: product price variance, effective contract utilization, expiration management, supplier performance, procurement cycle time, payment processing time, emergency procurement, procurement cost, staff training, transparent price information and transparent tendering. On the other hand, Saad et al. (2016) defined the following KPIs: integrity, the productivity of the system, timeliness, quality, price, management, policies and procedures of supplier selection, e-procurement and ease of procurement.

The aim of this paper is to determine the most important KPIs in procurement logistics that logistics companies should monitor. To reach this conclusion, the experts were given 15 KPIs (Chan and Qi, 2003; Soni and Kodali, 2010) which were then ranked by importance, from most significant to the least significant. In this paper, the following KPIs were analyzed (adapted from Bressolles and Lang, 2019):

- Inventory cycle time,
- Inventory carrying costs,
- Order to delivery time,
- Order entry time,
- Percentage of shipments arriving in good condition,
- Enquiry-to-response time,
- Percentage of on-time deliveries,
- Stock-out rate,
- Shrinkage,
- Invoice accuracy,
- Shipping accuracy,
- Cost per shipment,
- Average delivery time,
- Revenue per order,
- Average return rate per supplier.

Inventory cycle time represents the time that elapses from the moment when the product enters the warehouse to the moment when the product is shipped from the warehouse. Inventory carrying costs represent the cost of keeping a product in stock which contains material handling costs, inventory capital costs, storage space costs and risk cost. Order to delivery time represents the time that elapses from the moment of ordering to the moment of product delivery to the user. Order entry time represents the time that elapses from the moment of receiving the order to the moment of its entry, ie. processing. Percentage of shipments arriving in good condition represents the percentage of deliveries without damage observed in relation to the total number of deliveries. Enquiry-to-response time represents the time that elapses from the moment the request is received to the moment it is answered. Percentage of on-time deliveries represents the percentage of deliveries that were realized by the requested delivery date. Stock-out rate is the rate of non-stock (when it is not possible to respond to customer requirements). Shrinkage is a commodity that must be written off for one of a number of reasons (defect of goods, expiration date, damage, etc.). Invoice accuracy is a measure of the accuracy of the invoice, ie. whether all that was requested was delivered. Shipping accuracy is a measure of delivery accuracy, ie. whether what was requested has been delivered and whether it is in an adequate (requested) quantity. Cost per shipment represents the financial KPI which is expressed as a monetary unit (m.u.) per shipment. Average delivery time is the average time required for delivery, which is obtained as a quotient of the sum of the time required for the realization of certain numbers of deliveries and the number of realized deliveries. Revenue per order, similar to cost per shipment, is a financial KPI that is also expressed in m.u. Average return rate per supplier represents the average number of returns of goods per supplier, where there are various reasons for return such as inadequate quantity, inadequate product, damage, wrong address, etc.

The importance of both SWARA and QFD methods has been recognized in the literature, as evidenced by a large number of papers in which either only one of the listed methods or a combination of them has been applied. Thus (Radović and Stević, 2018) applied the SWARA method in their paper in order to determine the most important KPIs in transport. The results showed that the coefficient of time utilization, number of km per vehicle and number of routes per vehicle stood out as the KPIs with the highest importance (priority). Alimardani et al. (2013) used SWARA in agile supplier selection. Stanujkic et al. (2015) used SWARA for the selection of packaging design. Shukla et al. (2016) used SWARA and PROMETHEE to select the best ERP

system and competent in the company. Yazdani et al. (2016) in their paper applied a combination of SWARA and QFD methods for the selection of green suppliers.

3. METHODOLOGY

In order to determine the priorities of KPIs in procurement logistics, the QFD method was used in this paper. As the application of this method involves determining the weight of each of the KPIs, in order to obtain the value of the total weight for each of the KPIs, the SWARA method was used. 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 (Yazdani et al., 2016; Radović and Stević, 2018):

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 w_j represents the relative weight value of the criterion j .

3.2. QFD method

The process of implementation of the QFD method includes the following steps (adapted from Yazdani et al., 2016):

Step 1 – Identify the WHATs (in this case KPIs).

Step 2 – Identify the HOWs (in this case planning in different sectors).

Step 3 – Assign priority weights to the WHATs (in this paper, SWARA method was used for this step).

Step 4 – Determine the relationship between WHATs and HOWs using a three point scale: weak relationship (1), moderate relationship (3) and strong relationship (9). These relationships are based on the opinion of experts.

Step 5 – Compute the overall priorities of WHATs and HOWs in the following way: the relative weights of the WHATs are multiplied by the strength of the relationship after which a row and column sums are determined in order to obtain the values of the total weights for WHATs and HOWs.

4. RESULTS

In order to determine the priority of KPIs, first, it is necessary to determine the weight of each of the observed KPIs in this paper. The previously mentioned KPIs were first ranked according to the importance by experts, after which the other steps described in the previous section of this paper were moved on. The results of the application of the SWARA method are presented in Table 1. As more experts (10 experts) were involved in the evaluation, the geometric mean of the judgments was used in order to obtain a single assessment (Bottani et al., 2018).

Table 1. Results of the SWARA method

KPI	S_i	$K_i = S_i + 1$	Q_i	W_i
Order to delivery time	-	1	1	0.137
Revenue per order	0,05	1,05	0,952	0.130
Percentage of on-time deliveries	0,2	1,2	0,793	0.109
Enquiry-to-response time	0,14	1,14	0,695	0.095
Cost per shipment	0,04	1,04	0,669	0.092
Order entry time	0,23	1,23	0,544	0.075
Average delivery time	0,08	1,08	0,503	0.069
Inventory cycle time	0,11	1,11	0,453	0.062
Inventory carrying costs	0,27	1,27	0,357	0.049
Stock-out rate	0,09	1,09	0,327	0.045
Percentage of shipments arriving in good condition	0,36	1,36	0,241	0.033
Average return rate per supplier	0,06	1,06	0,227	0.031
Shrinkage	0,07	1,07	0,212	0.029
Shipping accuracy	0,13	1,13	0,188	0.026
Invoice accuracy	0,39	1,39	0,135	0.019
Σ			7,296	

Based on Table 1, it can be concluded that order to delivery time stood out as the most significant KPI with a weight of 0,137 while invoice accuracy stood out as the least significant with a weight of 0,019. After obtaining these values, the strengths of the relationships between KPIs and planning within specific sectors were determined, Table 2. For each KPI, the experts then determined the strength of the relationships between that KPI and planning within specific sectors of the company. Thus when looking at order to delivery time, it can be seen that experts assessed a strong relationship (9) between this KPI and ordering, procurement and transport planning and a medium one (3) with the inventory planning process. A strong relationship between revenue per order and order planning has been assessed as the quantities ordered can have a direct impact on revenue. In addition, the medium strength of the relationship (3) with procurement and inventory planning was estimated (where quantities can again have a decisive influence in determining revenue, given that inventories represent tied-up capital). The medium strength of the relationship (3) was estimated between the percentage of on-time deliveries and procurement and inventory planning, given that the level of inventory (and therefore procurement) directly affects the ability of on-time deliveries as well as meeting customer requirements. Transport planning directly affects on-time deliveries and for that reason, a strong relationship was estimated (9). Enquiry-to-response time depends on the order planning process and for that reason, a strong relationship was assessed (9) but also on procurement planning where if several procurements are consolidated into one there is a direct reduction of this time compared to the situation when a large number of smaller procurements are realized. Cost per shipment directly depends on order planning (the larger the order is, the lower unit costs will be), procurement (the larger the procurement is, the lower unit costs will be) and transport (for larger quantities it is possible to use a larger vehicle thus reducing unit costs) and for these reasons, a strong relationship was estimated (9). Order entry time is primarily related to order planning (where the method of ordering can have a great impact on this time) but also to procurement planning (where the frequency of procurement is important). A strong relationship (9) was assessed between average delivery time and procurement planning (if the procurement sector did not require adequate quantity or type of goods, this indicator will directly increase), transport (if adequate vehicle routing is not performed) and inventory (if there is no required quantity in stock then this time increases significantly). Ordering also has an impact on average delivery time and for this reason the medium strength of the relationship was estimated (3). Inventory cycle time, carrying costs and stock-out directly depend on the order and inventory planning (and for that reason a strong relationship was estimated) as well as on order planning where the medium strength of the relationship was estimated (3). Percentage of shipments arriving in good condition directly depends on the transport planning process and for that reason a strong relationship was estimated (9). Average return rate per supplier directly depends on procurement and inventory planning (and for that reason a strong relationship was estimated) but also on ordering planning (where the medium strength of the relationship was estimated) and transport planning (where the weak relationship was estimated). Shrinkage is a consequence of poorly planned ordering, procurement and inventory (and for this reason a strong relationship was estimated) but can also be a consequence of poorly planned transport (where damage can occur during transport) and therefore a weak relationship was estimated. Shipping accuracy directly depends on the process of transport planning (and route selection) and procurement planning (when procurement from a supplier is observed). For this reason, a strong

relationship was assessed (9). Order and procurement planning has a direct impact on invoice accuracy, which is why a strong relationship has been assessed (9).

Table 2. QFD matrix

WHATs	Weight by SWARA	HOWs				Total weight	Priority
		Order planning	Procurement planning	Transport planning	Inventory planning		
Order to delivery time	0.137	9 1,233	9 1,233	9 1,233	3 0,411	4,11	1
Revenue per order	0.130	9 1,17	3 0,39		3 0,39	1,95	4
Percentage of on-time deliveries	0.109		3 0,327	9 0,981	3 0,327	1,635	5
Enquiry-to-response time	0.095	9 0,855	3 0,285			1,14	7
Cost per shipment	0.092	9 0,828	9 0,828	9 0,828		2,484	2
Order entry time	0.075	9 0,675	3 0,225			0,9	10
Average delivery time	0.069	3 0,207	9 0,621	9 0,621	9 0,621	2,07	3
Inventory cycle time	0.062	3 0,186	9 0,558		9 0,558	1,302	6
Inventory carrying costs	0.049	3 0,147	9 0,441		9 0,441	1,029	8
Stock-out rate	0.045	3 0,135	9 0,405		9 0,405	0,945	9
Percentage of shipments arriving in good condition	0.033			9 0,297		0,297	15
Average return rate per supplier	0.031	3 0,093	9 0,279	1 0,031	9 0,279	0,682	12
Shrinkage	0.029	9 0,261	9 0,261	1 0,029	9 0,261	0,812	11
Shipping accuracy	0.026		9 0,234	9 0,234		0,468	13
Invoice accuracy	0.019	9 0,171	9 0,171			0,342	14
Total weight		5,961	6,258	4,254	3,693		
Priority		2	1	3	4		

Based on Table 2, it can be concluded that order to delivery time, cost per shipment, average delivery time, revenue per order and percentage of on-time deliveries stand out as the five most important KPIs in procurement logistics. These results can provide a good basis for the companies when it comes to choosing KPIs in procurement logistics. On the other hand, the procurement planning process stood out as the most important, followed by the planning of order, transport and inventory. This confirms that the procurement process is one of the most important processes in logistics and that it is necessary for companies to work on efficient management of this process in order to achieve business efficiency. Procurement logistics management, in addition to increasing efficiency, also reduces costs and increases flexibility in order to meet customer requirements. The implementation of e-procurement achieves even greater benefits such as improved visibility along the entire chain, cost reduction, global procurement, better operational performance, standardized workflow, simplified processes, improved data accuracy, etc.

5. CONCLUSION

As procurement logistics is one of the key factors of a company's competitiveness, it is very important to select and monitor adequate KPIs. In this paper, 15 KPIs of procurement logistics were observed in order to determine 5 key (most important) ones that logistics companies should monitor. In order to determine the 5 most important KPIs, a combination of SWARA and QFD methods was used. The SWARA method was used to determine the weights of each of the KPIs, which is one of the steps of the QFD method. After determining the weights, the HoQ matrix was filled in order to obtain the values of total weights per KPI. The results of this research showed that order to delivery time, cost per shipment, average delivery time, revenue per order and percentage of on-time deliveries stand out as the five most important KPIs in procurement logistics. In addition to the KPI priorities, based on the QFD matrix, it was determined that the procurement planning process stood out as the most important, which is a confirmation of the importance of this process. The implementation of the described methodology on the distribution process, as well as on the logistics subsystems in order to determine the most significant KPIs that need to be monitored, stands out as the direction of future research. In addition, the application of other methods for KPI assessment in order to compare the obtained results stands out as a direction of future research as well.

ACKNOWLEDGMENT

This paper was supported by the Ministry of Education, Science and Technological development of the Republic of Serbia, through the project TR 36006.

LITERATURA

- [1] Alimardani, M., Hashemkhani Zolfani, S., Aghdaie, M.H., & Tamošaitiene, J. (2013). A novel hybrid SWARA and VIKOR methodology for supplier selection in an agile environment. *Technological and Economic Development of Economy*, 19, 533-548.
- [2] Bag, S., Wood, L.C., Mangla, S.K., & Luthra, S. (2020). Procurement 4.0 and its implications on business process performance in a circular economy. *Resources, Conservation & Recycling*, 152, 1-14.
- [3] Bottani, E., Centobelli, P., Murino, T., & Shekarian, E. (2018). A QFD-ANP Method for Supplier Selection with Benefits, Opportunities, Costs and Risks Considerations. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 17 (3), 911-939.
- [4] Bressolles, G., & Lang, G. (2019). KPIs for performance measurement of e-fulfillment systems in multi-channel retailing. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 48 (1), 35-52.
- [5] Chan, F.T.S., & Qi, H.J. (2003). Feasibility of performance measurement system for supply chain: a process-based approach and measures. *Integrated Manufacturing Systems*, 14 (3), 179-190.
- [6] Mardani, A., Nilashi, M., Zakuan, N., Loganathan, N., Soheilrad, S., Zamani Mat Saman, M., & Ibrahim, O. (2017). A systematic review and meta-Analysis of SWARA and WASPAS methods: Theory and applications with recent fuzzy developments. *Applied Soft Computing*, 57, 265-292.
- [7] Radović, D., & Stević, Ž. (2018). Evaluation and selection of KPI in transport using SWARA method. *Transport & Logistics: the International Journal*, 18 (44), 60-68.
- [8] Saad, S., Kunhu, N., & Mohamed, A. (2016). A fuzzy-AHP multi-criteria decision making model for procurement process. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 23 (1), 1-24.
- [9] Shukla, S., Mishra, P., Jain, R., & Yadav, H. (2016). An integrated decision making approach for ERP system selection using SWARA and PROMETHEE method. *International Journal of Intelligent Enterprise*, 3, 120-147.
- [10] Soni, G. & Kodali, R. (2010). Internal benchmarking for assessment of supply chain performance. *Benchmarking: An International Journal*, 17 (1), 44-76.
- [11] Stanujkic, D., Karabasevic, D., & Zavadskas, E.K. (2015). A framework for the Selection of a packaging design based on the SWARA method. *Engineering Economics*, 26, 181-187.
- [12] USAID (2013). *Procurement Performance Indicators Guide: Using Procurement Performance Indicators to Strengthen the Procurement Process for Public Health Commodities*. Report, Arlington.
- [13] 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.



ANALIZA EFIKASNOSTI EVROPSKIH KOPNENIH TRIMODALNIH TERMINALA

EFFICIENCY ANALYSIS OF THE EUROPEAN INLAND TRIMODAL TERMINALS

MLADEN KRSTIĆ¹, SNEŽANA TADIĆ², SLOBODAN ZEČEVIĆ³

¹ Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, m.krstic@sf.bg.ac.rs

² Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, s.tadic@sf.bg.ac.rs

³ Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, s.zecevic@sf.bg.ac.rs

Rezime: U cilju zadovoljenja sve kompleksnijih zahteva u oblastima logistike i transporta neophodan je intenzivni razvoj i primena intermodalnog transporta, pri čemu je adekvatno planiranje i razvoj efikasnih intermodalnih terminala (IT) od presudnog značaja. U skladu sa tim ovaj rad se bavi analizom efikasnosti intermodalnih terminala sa ciljem identifikovanja terminala koji bi poslužili kao uzori za unapređenje postojećih i razvoj novih terminala, kao i utvrđivanja parametara koje ih čine efikasnim. Za utvrđivanje efikasnosti terminala u radu je korišćena DEA (eng. Data Envelopment Analysis) metoda, a istraživanje je sprovedeno na uzorku od 35 realnih kopnenih trimodalnih terminala u Evropi. Rezultati istraživanja su pokazali da su za definisani uzorak najveći uticaj na postizanje efikasnosti terminala imali parametri skladišni kapacitet i dužina železničkih koloseka.

Ključne reči: intermodalni transport, trimodalni terminal, efikasnost, DEA.

Abstract: In order to meet the increasingly complex requirements in the fields of logistics and transport, intensive development and application of intermodal transport is necessary, whereas the adequate planning and development of efficient intermodal terminals (IT) is crucial. Accordingly, this paper deals with the analysis of the efficiency of intermodal terminals with the aim of identifying terminals that would serve as the benchmarks for the improvement of the existing and development of the new terminals, as well as determining the parameters that makes them efficient. The DEA (Data Envelopment Analysis) method is used to determine the efficiency of the terminals, and the research is conducted on a sample of 35 real-life inland trimodal terminals in Europe. The results of the research showed that for the defined sample, the parameters of storage capacity and length of the railway tracks had the greatest influence on achieving the efficiency of the terminals.

Keywords: intermodal transport, trimodal terminal, efficiency, DEA.

1. UVOD

Globalizacija generiše trend sve intenzivnijeg rasta međunarodne trgovine, a to dovodi do značajnog povećanja kompleksnosti lanaca snabdevanja. Transportni sektor se suočava sa ozbiljnim problemima jer generiše negativne ekonomske, socijalne, ekološke i druge uticaje kao rezultat zagušenja drumskih saobraćajnica. Tradicionalne metode razvoja i unapređenja pojedinačnih vidova transporta nisu u mogućnosti da se izbore sa rastućim problemima u transportnom sistemu (Barysienè, 2012). Integracija različitih vidova transporta koja se postiže intenzivnijim razvojem intermodalnog transporta, sa ciljem prebacivanja teretnih tokova sa drumskog na alternativne vidove transporta smatra se najboljim rešenjem za postojeće probleme (EC, 2011). Intermodalni transport podrazumeva transport robe u jednoj te istoj tovarnoj jedinici ili vozilu uz primenu više vidova transporta, pri čemu ne dolazi do pretovara robe pri promeni vida transporta (ECMT, 1993). Osnovni cilj je primena različitih vidova transporta u cilju smanjenja ukupnih troškova, poboljšanja kvaliteta usluga, uštede u energiji, troškovima i vremenu, smanjenja zagađenja životne sredine itd.

Jedan od osnovnih podsistema intermodalnog transporta su intermodalni terminali (IT) koji predstavljaju mesta za skladištenje i pretovar intermodalnih transportnih jedinica (eng. *Intermodal Transport Unit* - ITU) između različitih vidova transporta (UNECE, 2009). Uzimajući u obzir da se prva i poslednja milja svakog robnog i transportnog toka realizuje na kopnu, poseban značaj imaju kopneni IT (Notteboom and Rodrigue, 2009). Kopneni IT formiraju mrežu u zaleđima velikih luka i predstavljaju ključne faktore za širenje geografskog uticaja luka, a samim tim i ekonomski razvoj regiona u kojima se nalaze. Efikasnost ovih mreža u najvećoj meri zavisi od efikasnosti samih terminala, a prisustvo više vidova transporta dodatno olakšava povezivanje terminala i naglašava pozitivne efekte intermodalnog transporta. U skladu sa tim, predmet ovog

rada su kopneni trimodalni (drumsko-železničko-rečni) terminali, a cilj je identifikovanje efikasnih terminala koji bi poslužili kao uzor (eng. *benchmark*) za razvoj ostalih terminala, kao i utvrđivanje osnovnih parametara koje ih čine efikasnim. U radu je za analizu efikasnosti korišćena DEA (eng. *Data Envelopment Analysis*) metoda, a primenjena je na uzorku od 35 realnih kopnenih trimodalnih terminala u Evropi.

Ostatak rada je organizovan na sledeći način. U narednom poglavlju je dat kratak pregled istraživanja efikasnosti intermodalnih terminala. Nakon toga je opisana korišćena metoda i njena primena za analizu efikasnosti kopnenih trimodalnih terminala. Na kraju rada su dati zaključci i pravci budućih istraživanja.

2. EFIKASNOST INTERMODALNIH TERMINALA

IT predstavlja kompleksan sistem u kom dolazi do dinamične interakcije između opreme, mehanizacije, intermodalnih transportnih jedinica i infrastrukture u uslovima neizvesnosti budućeg stanja tržišta. Osim toga, upravljanje terminalom zahteva stalno donošenje strateških i operativnih odluka, kao i planiranje u realnom vremenu (Kim and Günther, 2007). Zbog navedenog, kao i zbog velikog broja parametara koji utiču na njegove performanse, veoma je teško proceniti efikasnost IT-a (Wiśnicki *et al.*, 2017). Efikasnost predstavlja odnos između efekata (izlaznih parametara) i upotrebljenih resursa (ulaznih parametara). Može se posmatrati sa različitih aspekata: ekonomskog, tehničkog ili alokacijskog, a postoji više različitih načina za njeno merenje (Wiśnicki *et al.*, 2017). Generalno se metode za merenje efikasnosti mogu podeliti na parametarske i neparametarske (Smith *et al.*, 2015). Neke od najčešće korišćenih parametarskih metoda su: LSM (eng. *Least Square Method*) koja polazi od pretpostavke da su sve posmatrane jedinice jednako efikasne, DF (eng. *Deterministic Frontier*) metoda koja u analizu uključuje i neefikasnosti posmatranih jedinica odlučivanja i SFA (eng. *Stochastic Frontier Analysis*) metoda koja pored neefikasnosti u obzir uzima i mogućnost pojave greške. Najčešće korišćene neparametarske metode su: TFP (eng. *Total Factor Productivity*) metoda koja se bazira na izračunavanju odnosa između ulaznih i izlaznih parametara, uzimajući u obzir i njihove težine, DEA metoda koja koristi matematičko programiranje za određivanje granice efikasnosti i udaljenosti analiziranih jedinica odlučivanja od nje i FDH (eng. *Free Disposal Hull*) metoda koja se zasniva na relaksiranju pretpostavke konveksnosti koju ima DEA metoda.

Od pomenutih metoda, u literaturi se mogu naći primeri vrednovanja efikasnosti IT primenom DEA metode (npr. Wiegman and Witte, 2017; Serebrisky *et al.*, 2016; Ding *et al.*, 2015; Almawsheki and Shah, 2015; itd.), SFA metode (npr. Wiegman and Witte, 2017; Cullinane and Wang, 2006) i FDH metode (npr. Wang *et al.*, 2003). Pored klasičnih metoda u literaturi ima i primera razvoja posebno definisanih matematičkih modela za vrednovanje efikasnosti IT (npr. Blonigen and Wilson, 2008), ali je njihova primena znatno ređa. DEA je najčešće korišćena metoda u istraživanju efikasnosti IT jer u poređenju sa tradicionalnim sistemima procene performansi ima nekoliko prednosti. Može istovremeno da uzima u obzir više ulaznih i izlaznih parametara, ne zahteva pretpostavku i opis prirode funkcionalne veze između parametara, jedinice odlučivanja se direktno porede sa svojim konkurentima, parametri mogu imati različite izmeritelje (jedinice mere), itd. (Zbraneck, 2013; Manoharan *et al.*, 2009; Trick, 1996). Metoda je takođe veoma jednostavna za korišćenje, zbog čega je našla široku primenu u raznim oblastima. Zbog svega navedenog u ovom radu je za analizu efikasnosti kopnenih trimodalnih terminala korišćena DEA metoda. Osnovne karakteristike i koraci primene metode su opisani u nastavku.

3. ANALIZA EFIKASNOSTI KOPNENIH TRIMODALNIH TERMINALA

Analiza efikasnosti kopnenih trimodalnih terminala je izvršena na primeru 35 realnih terminala u Evropi. Kao što je pomenuto, za analizu njihove efikasnosti je korišćena DEA metoda koja predstavlja neparametarsku metodu za procenu efikasnosti primenom alata linearnog programiranja. Osnovni DEA model se naziva DEA-CCR, a naziv je dobio po prvim slovima prezimena autora modela (Charnes, Cooper and Rhodes, 1978). Metoda se zasniva na kombinovanju nekoliko ulaznih parametara (eng. *input*) i izlaznih parametara (eng. *output*), koje predstavljaju osnovne karakteristike različitih entiteta, kako bi se formirao jedinstveni sveobuhvatni indikator, odnosno izmeritelj nivoa efikasnosti svakog entiteta (Zbraneck, 2013). Ovi entiteti se nazivaju jedinice odlučivanja (eng. *Decision Making Unit* - DMU) a mogu biti firme, bolnice, škole, policijske stanice, logistički centri itd. DEA metoda zapravo ocenjuje relativnu efikasnost homogenog skupa DMU-a koje karakterišu višestruki *input*-i (In) i *output*-i (Ou). DMU se smatra relativno neefikasnim ako je izmeritelj efikasnosti manji od 1. Stepen neefikasnosti nekog DMU-a se meri u odnosu na skup efikasnijih DMU-a. Zbog toga se za DMU ne može reći da je apsolutno efikasan, već relativno efikasan u odnosu na ostale DMU-e koji se posmatraju (Yu and Lee, 2013). Glavni cilj metode je identifikovati efikasne DMU-e koji generišu najviše *output*-a sa najmanje *input*-a (Lotfi and Shirouyehzad, 2010).

DEA-CCR model se može definisati sledećim problemom linearnog programiranja (Charnes *et al.*, 1978):

$$\max \theta = \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \quad (1)$$

uz ograničenja:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \forall j = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$v_i \geq 0, \forall i = 1, \dots, m \quad (4)$$

$$u_r \geq 0, \forall r = 1, \dots, s \quad (5)$$

gde je θ vrednost ciljne funkcije koja maksimizira vrednost relativne efikasnosti za DMU j ($j = 1, \dots, n$), j je indeks DMU-a, a n ukupan broj DMU koji se razmatra, v_i ($i = 1, \dots, m$) je težina *input*-a i a m je ukupan broj *input*-a koji se razmatra, u_r ($r = 1, \dots, s$) je težina *output*-a r a s je ukupan broj *output*-a, x_{ij} je vrednost *input*-a x za DMU j i y_{rj} je vrednost *output*-a y za DMU j .

Optimalno rešenje definisanog linearnog problema je predstavljeno kao (θ^*, v^*, u^*) , gde su v^* i u^* optimalne težine za svaki DMU, a θ^* je maksimalna vrednost relativne efikasnosti DMU-a. Konačno rešenje DEA-CCR modela predstavlja skup maksimalnih vrednosti relativnih efikasnosti za svaki DMU (θ^*) i da bi se one dobile potrebno je n puta pokrenuti definisani problem linearnog programiranja. Za DMU j se kaže da je CCR efikasan ako je $\theta^* = 1$ i postoji najmanje jedno optimalno rešenje (v^*, u^*) , gde je $v^* \geq 0$ i $u^* \geq 0$. U suprotnom DMU j je CCR neefikasan. Dakle, postoje dve mogućnosti za CCR neefikasnost: (a) $\theta^* < 1$ ili (b) $\theta^* = 0$ i najmanje jedan element (v^*, u^*) je jednak nuli za svako optimalno rešenje.

Kako bi se primenio definisani DEA-CCR model neophodno je najpre definisati *input*-e i *output*-e za skup trimodalnih terminala koji su predmet istraživanja. Na osnovu pregleda literature i ranijih istraživanja (Tadić i dr., 2019; Krstić, 2019) definisan je skup *input*-a i *output*-a. Za *input*-e su uzeti: površina terminala (In_1), ukupna dužina koloseka (In_2), ukupna dužina operativne obale (In_3), maksimalna dubina gaza (In_4) i skladišni kapacitet (In_5). Za *output* je definisan samo jedan parametar, godišnji kapacitet terminala (Ou).

Površina terminala (In_1) predstavlja ukupnu površinu zemljišta koje terminal zauzima i izražava se u kvadratnim metrima (m^2). **Ukupna dužina koloseka** (In_2) predstavlja sumu dužina svih železničkih koloseka u terminalu, a izražava se u metrima (m). Od ovog *input*-a zavisi broj i dužina železničkih kompozicija koje se mogu opsluživati u terminalu. **Ukupna dužina operativne obale** (In_3) označava deo obale lučkih terminala koji se koristi za opsluživanje brodova i izražava se u metrima (m). Veća dužina operativne obale znači i veći broj vezova, odnosno mogućnost jednovremenog opsluživanja većeg broja plovila. **Maksimalna dubina gaza** (In_4) je dubina do koje je uronjen trup broda, od donjeg ruba kobilice do vodene linije. Diktira ga dubina vode (reke) uz operativnu obalu i izražava se u metrima (m). Ovaj *input* određuje veličinu brodova koji mogu da se opslužuju u terminalu. Veća dubina gaza, čak i pri manjoj dužini operativne obale, omogućava opsluživanje velikih brodova, dok se kod manje dubine gaza mogu opsluživati samo manji brodovi. **Skladišni kapacitet** (In_5) zavisi od raspoložive površine za odlaganje ITU-a, organizacije skladištenja (eng. *layout*-a) i primenjene tehnologije (dostupnih manipulativnih sredstava), a izražava se u broju ITU-a, odnosno TEU-a (eng. *Twenty-foot Equivalent Unit*) kao osnovne jedinice mere kapaciteta u intermodalnom transportu. **Godišnji kapacitet terminala** (Ou) je jedini izabrani *output* u postupku ocene efikasnosti terminala. Predstavlja broj ITU-a koje terminal može u potpunosti da opsluži (realizuje sve neophodne operacije nad njima) u periodu od godinu dana i izražava se u broju transportnih jedinica godišnje (TEU/god.). Ovaj *output* je najrelevantniji pokazatelj uspešnog funkcionisanja terminala i stepena iskorišćenja raspoloživih resursa.

Naredni korak podrazumeva prikupljanje podataka o vrednostima *input*-a i *output*-a za sve DMU-e. U tabeli 1 su prikazane vrednosti *input*-a i *output*-a za definisani skup trimodalnih terminala. Osnovni izvori podataka o *input*-ima i *output*-ima su baze podataka *AGORA Intermodal Terminals Database* i *InlandLinks* proširene podacima udruženja kombinovanog transporta (eng. *Intermodal Terminals Database - UIRR*), ali i pregledom internih dokumenata i informacija na internet stranicama samih terminala, robno-transportnih centara u kojima se nalaze, i operatera koji njima upravljaju (Tadić i dr., 2019; Krstić, 2019).

Tabela 1: *Input*-i, *output*-i za definisani skup DMU-a

DMU	Terminal	In_1	In_2	In_3	In_4	In_5	Ou_1
DMU1	Andernach CSA Terminal	42000	2250	300	2.5	4000	70000
DMU2	Antwerpen ATO	295000	1200	200	14.5	7000	540000
DMU3	Aschaffenburg	20000	600	160	3.3	1760	17000
DMU4	Barge Term. Born B.V.	185000	1700	490	3.5	12000	520000

DMU5	Barge Terminal Tilburg	130000	2700	750	2.3	7500	360000
DMU6	Basel port Swissterminal	12000	450	170	3.5	1700	30000
DMU7	BCTN Meerhout	130000	800	400	3.4	12000	240000
DMU8	Bratislava Palenisko	21000	850	275	3	1900	50000
DMU9	Bruay sur l'Escaut	35000	200	100	3	2300	120000
DMU10	Contargo Neuss GmbH	32000	1100	480	2.5	5600	120000
DMU11	CTT Rotterdam	42342	600	140	11.5	5200	140000
DMU12	DCH Düsseldorf	70000	800	600	2.5	12300	320000
DMU13	Duisburg DeCeTe	190000	700	800	2.8	5750	200000
DMU14	Duisburg DIT	185000	4500	250	2.8	7500	150000
DMU15	Emmelsum (Contargo)	34000	590	300	2.14	1500	85000
DMU16	Emmerich Rhein-Waal	45000	1650	300	2.8	4300	300000
DMU17	Enns Hafen CCT	80000	3000	630	3	5000	400000
DMU18	Frankfurt Contargo West	18000	1940	250	2.5	1800	82000
DMU19	Genk Haven	30000	2500	2000	3.4	5000	150000
DMU20	Köln-Niehl CTS	132000	6570	800	2.5	10000	700000
DMU21	Krems a.d. Donau CCT	35000	5620	1560	5	10000	80000
DMU22	Liege Container Terminal	20000	1350	250	3.4	2300	120000
DMU23	Linz Stadthafen	90000	2060	280	2.7	8000	350000
DMU24	Mahart Container Center	105000	2120	220	2.5	6400	175000
DMU25	Moerdijk CCT	380000	2850	1700	8	17500	350000
DMU26	Nürnberg Hafen	83093	7000	116	4	1044	270000
DMU27	Osse Overslag Centrale	50000	600	500	2.4	2700	75000
DMU28	Paris Terminal SA	208190	1100	480	1.8	11000	350000
DMU29	Rotterdam Beatrix	262300	2811	1717	11	12200	500000
DMU30	Rouen Container Term.	55600	900	410	2.5	1700	65000
DMU31	Strasbourg South Term.	107500	1280	250	2.7	7000	250000
DMU32	Stuttgart - SCT	30000	520	280	2.5	4500	140000
DMU33	Term. Hafen Heilbronn	22700	540	147	2.8	500	52000
DMU34	Venlo Hutchison Ports	91000	1260	155	2.4	8000	175000
DMU35	Wörth-Karlsruhe GmbH	90000	1280	458	2.1	6500	160000

Rešavanjem problema linearnog programiranja (1), uz ograničenja (2) – (5) za svaki od definisanih DMU-a dobijene su optimalne težine *input*-a (v^*) i *output*-a (u^*) i relativne efikasnosti (θ^*) prikazane u tabeli 2.

Tabela 2: Optimalne težine *input*-a i *output*-a i efikasnosti DMU-a

DMU	Terminal	v_1^*	v_2^*	v_3^*	v_4^*	v_5^*	u_1^*	θ^*
DMU1	Andernach CSA Terminal	6.463	0.001	0.001	1.653	0.001	2.532	0.253
DMU2	Antwerpen ATO	0.001	0.203	1.832	0.587	0.487	1.296	1.000
DMU3	Aschaffenburg	2.261	4.167	0.001	0.001	5.206	5.902	0.143
DMU4	Barge Term. Born B.V.	0.326	0.871	0.527	0.700	0.484	1.346	1.000
DMU5	Barge Terminal Tilburg	0.001	0.915	0.001	1.296	1.029	1.671	0.859
DMU6	Basel port Swissterminal	31.65	0.001	0.001	0.001	0.001	8.748	0.375
DMU7	BCTN Meerhout	0.001	4.996	1.024	0.952	0.001	2.282	0.782
DMU8	Bratislava Palenisko	7.648	0.001	0.001	0.001	5.313	5.161	0.369
DMU9	Bruay sur l'Escaut	2.081	4.462	0.001	0.368	4.602	5.833	1.000
DMU10	Contargo Neuss GmbH	6.633	2.804	0.001	0.001	0.001	3.377	0.579
DMU11	CTT Rotterdam	2.957	0.688	8.720	0.001	0.001	4.249	0.850
DMU12	DCH Düsseldorf	3.085	0.830	0.001	1.948	0.001	2.188	1.000
DMU13	Duisburg DeCeTe	0.001	5.732	0.001	1.152	0.620	2.821	0.806
DMU14	Duisburg DIT	0.001	0.001	5.046	1.904	0.001	2.124	0.455
DMU15	Emmelsum (Contargo)	1.567	2.172	0.001	0.001	7.892	6.153	0.747
DMU16	Emmerich Rhein-Waal	0.763	1.519	0.929	1.294	0.661	2.333	1.000
DMU17	Enns Hafen CCT	0.373	0.653	0.001	1.139	1.419	1.750	1.000

DMU18	Frankfurt Contargo West	21.09	0.001	0.001	0.001	0.001	5.831	0.683
DMU19	Genk Haven	12.643	0.001	0.001	0.001	0.001	3.495	0.749
DMU20	Köln-Niehl CTS	0.001	0.154	1.401	0.464	0.376	1.000	1.000
DMU21	Krems a.d. Donau CCT	10.83	0.001	0.001	0.001	0.001	2.994	0.342
DMU22	Liege Container Terminal	18.98	0.001	0.001	0.001	0.001	5.248	0.900
DMU23	Linz Stadthafen	1.063	0.753	1.615	1.613	0.001	2.000	1.000
DMU24	Mahart Container Center	0.001	0.229	6.623	1.169	0.001	2.426	0.606
DMU25	Moerdijk CCT	0.001	0.692	0.001	0.303	0.549	0.833	0.416
DMU26	Nürnberg Hafen	0.783	0.001	5.467	1.851	0.001	2.593	1.000
DMU27	Osse Overslag Centrale	0.564	4.050	0.001	1.240	2.418	4.329	0.464
DMU28	Paris Terminal SA	0.001	4.042	0.301	1.050	0.257	2.000	1.000
DMU29	Rotterdam Beatrix	0.001	0.775	0.001	0.340	0.616	0.933	0.667
DMU30	Rouen Container Term.	0.001	1.300	0.001	0.585	7.532	4.954	0.460
DMU31	Strasbourg South Term.	0.001	0.774	5.155	1.146	0.001	2.327	0.831
DMU32	Stuttgart - SCT	6.340	4.623	0.001	0.001	0.606	4.643	0.929
DMU33	Term. Hafen Heilbronn	2.412	3.806	0.012	0.001	19.64	13.46	1.000
DMU34	Venlo Hutchison Ports	0.001	0.306	8.850	1.561	0.001	3.241	0.810
DMU35	Wörth-Karlsruhe GmbH	1.123	1.369	0.001	2.196	0.445	2.309	0.528

Analizom težina *input*-a (v^*) i *output*-a (u^*) za dobijene relativne efikasnosti DMU-a (θ^*) utvrđeno je da su na dobijene efikasnosti najviše uticali In_1 (površina terminala) i In_5 (skladišni kapacitet), a najmanje In_4 (maksimalna dubina gaza). To se donekle poklapa sa ranijim istraživanjima u ovoj oblasti (Cullinane and Wang, 2006; Tongzon, 2001) u kojima se ističe da je površina terminala jedan od glavnih faktora za efikasnost terminala. Međutim ukoliko se posmatraju samo DMU-i koji su bili relativno efikasni (ostvarili vrednost $\theta^* = 1$) kao najznačajniji *input*-i se ističu In_5 i In_2 (ukupna dužina koloseka), dok In_1 najmanje utiče na ostvarene efikasnosti. Na osnovu ovoga se može zaključiti da površina nema značajan uticaj na efikasnost ukoliko je loše iskorišćena i da prostor za unapređenje efikasnosti trimodalnih terminala treba tražiti u boljem korišćenju postojećih resursa (Wiegmans and Witte, 2017). U primeru razmatranom u radu to se može postići proširenjem kapaciteta za skladištenje ITU-a, odnosno boljom organizacijom skladištenja na raspoloživoj površini, kao i povećanjem ukupne dužine koloseka, produženjem postojećih ili izgradnjom novih ukoliko je to moguće, čime se omogućava opsluživanje većih železničkih kompozicija i/ili istovremeno opsluživanje više kompozicija.

4. ZAKLJUČAK

U radu je izvršena analiza efikasnosti IT-a sa ciljem identifikovanja terminala koji bi predstavljali uzore za unapređenje postojećih i izgradnju novih, kao i utvrđivanje osnovnih parametara koji ih čine efikasnim. U tu svrhu je sprovedeno istraživanje kojim je obuhvaćeno 35 realnih kopnenih trimodalnih terminala u Evropi. Primenom DEA metode izvršena je analiza njihove relativne efikasnosti i utvrđeno je da u posmatranom uzorku terminala ona u najvećoj meri zavisi od skladišnog kapaciteta i ukupne dužine železničkih koloseka. Ovi parametri definišu prostor potencijalnog unapređenja efikasnosti postojećih terminala a skup efikasnih IT-a predstavlja značajan izvor podataka za planere i donosiocce odluka u procesima planiranja i izgradnje novih terminala.

U budućim istraživanjima definisani skup kopnenih trimodalnih terminala bi mogao da se proširi, a analizom bi mogle da se obuhvate i ostali tipovi IT-a. U istraživanje bi mogle da se uključe i različite interesne grupe naročito ako se uzme u obzir širi ekonomski i društveni značaj terminala u okruženju u kom se razvijaju. Osim toga i sama metoda bi mogla da se proširi tako da se omogući definisanje granica *input*-a i *output*-a čime bi se donosiocima odluka omogućilo izražavanje preferencija po pitanju određenih parametara.

LITERATURA

- [1] Almawsheki, E.S. & Shah, M.Z. (2015). Technical Efficiency Analysis of Container Terminals in the Middle Eastern Region. The Asian Journal of Shipping and Logistic, 31(4), 477-486.
- [2] Barysienė, J. (2012). A multi-criteria evaluation of container terminal technologies applying the COPRAS-G method. Transport, 27(4), 364-372.
- [3] Blonigen, B.A. & Wilson, W.W. (2008). Port Efficiency and Trade Flows. Review of International Economics, 16(1), 21-36.

- [4] Charnes, A., Cooper, W.W. & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429–444.
- [5] Cullinane, K.P.B. & Wang, T.F. (2006). The efficiency of European container ports: a cross-sectional data envelopment analysis. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 9(1), 19–31.
- [6] Ding, Z.Y., Jo, G.S., Wang, Y. & Yeo, G.T. (2015). The Relative Efficiency of Container Terminals in Small and Medium-Sized Ports in China. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 31(2), 231–251.
- [7] EC - European Commission. (2011). White Paper: Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a Competitive and Resource Efficient Transport System. Dostupno online: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52011DC0144 :EN:NOT>
- [8] ECMT - European Conference of Ministers of Transport. (1993). Terminology on combined transport. Dostupno online ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/transport/docs/intermodal_freight_transport_en.pdf,
- [9] Kim, K.H. & Günther, H.O. (2007). *Container Terminals and Cargo Systems*. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- [10] Krstić, M. (2019). Modeliranje strukture terminala intermodalnog transporta – doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, Srbija.
- [11] Lotfi, F.H. & Shirouyehzad, H. (2010). Analyzing Efficiency of Human Resource Performance Using Data Envelopment Analysis. 1.st Conference on executive MBA, 2010, 12.
- [12] Manoharan, T.R., Muralidharan, C. & Deshmukh, S.G. (2009). Employee Performance Appraisal Using Data Envelopment Analysis: A case study. *Research and Practice in Human Resource Management*, 17, 92-101.
- [13] Notteboom, T. & Rodrigue, J.-P. (2009). The future of containerization: perspectives from maritime and inland freight distribution. *Geojournal*, 74(1), 7-22.
- [14] Serebrisky, T., Sarriera, J.M., Suárez-Alemán, A., Araya, G., Briceño-Garmendía, C. & Schwartz, J. (2016). Exploring the drivers of port efficiency in Latin America and the Caribbean. *Transport Policy*, 45, 31–45.
- [15] Smith, A., Wheat P. & Wolanski, M. (2015). Public transport operations costs, In C. Nash (Ed.) *Handbook of Research Methods and Applications in Transport Economics and Policy*, Edgar Edward Publishing, USA, pp. 38-70.
- [16] Tadić, S., Krstić, M. & Brnjac, N. (2019). Selection of efficient types of inland intermodal terminals. *Journal of Transport Geography*, 78, 170–180.
- [17] Tongzon, J. (2001). Efficiency measurement of selected australian and other international ports using data envelopment analysis. *Transportation Research Part A*, 35(2), 113–128.
- [18] Trick, M.A. (1996). *Data Envelopment Analysis for Consultants*. Dostupno online: <http://mat.gsia.cmu.edu/classes/mstc/dea/dea.html>.
- [19] UNECE - United Nations Economic Commission for Europe (2009) Illustrated glossary for transport statistics. Available online <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp6/pdfdocs/glossen4.pdf>.
- [20] Wang, T.F., Song, D.W. & Cullinane, K. (2003). Container Port Production Efficiency: A Comparative Study of DEA and FDH Approaches. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5, 698-713.
- [21] Wiegmansa, B. & Witte, P. (2017). Efficiency of inland waterway container terminals: Stochastic frontier and data envelopment analysis to analyze the capacity design- and throughput efficiency. *Transportation Research Part A*, 106, 12–21.
- [22] Wiśnicki, B., Chybowski, L. & Czarnecki, M. (2017). Analysis of the efficiency of port container terminals with the use of the Data Envelopment Analysis method of relative productivity evaluation. *Management Systems in Production Engineering*, 25(1),
- [23] Yu, P. & Lee, J.H. (2013). A hybrid approach using two-level SOM and combined AHP rating and AHP/DEA-AR method for selecting optimal promising emerging technology. *Expert Systems with Applications*, 40(1), 300–314.
- [24] Zbranek, P. (2013). Data Envelopment Analysis as a Tool for Evaluation of Employees' Performance. *Acta Oeconomica et Informatica*, 16(1), 12 – 21.



QMIP AND HEURISTIC APPROACH IN SOLVING AISLE CONGESTION PROBLEM BY REALLOCATING GOODS WITHIN AN ORDER PICKING ZONE

NENAD BJELIĆ¹, MILORAD VIDOVIĆ¹, BRANISLAVA RATKOVIĆ¹

¹ University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering, Logistics Department, Belgrade, {n.bjelic; mvidovic; b.ratkovic}@sf.bg.ac.rs

Abstract: *Because order picking is the most demanding, the most labor intensive and, accordingly, the costliest activity in a warehouse it has been potential for the optimization from different points of view and at different decision-making levels. In this research our goal was to examine a possible improvement of the order picking process by reducing the potential of the aisle congestion problem which is quite frequent in order picking systems with lots of pickers passing through same aisles simultaneously. For that purpose, we give quadratic mixed integer programming mathematical model, and two perturbation based heuristic algorithms. Eventually, we tested the efficiency of developed models on an imaginary order picking system.*

Keywords: *warehouse, order picking, quadratic mixed integer programming, heuristics.*

1. INTRODUCTION

According to de Koster et al. (2007) “order-picking (OP) is the process of retrieving products from storage (or buffer areas) in response to a specific customer request”. Practically every aspect of the OP can be realized in numerous ways (e.g. man-to-goods vs. goods-to-man, sequential vs. batched OP, random vs. zoned OP, etc.) so that every OP system is pretty much unique. For the deeper insight into the details of the OP we refer interested reader to Djurdjević (2007), Goetschalckx and McGinnis (2010), Dallari et al. (2009), Hompel and Schmidt (2007) or Wascher (2004). Nevertheless, due to its simplicity and robustness, one of the most widely implemented OP technology is a sequential men-to-goods OP strategy within an OP area completely separated from the reserve storage zone, or as the lowest level(s) of the storage zone racks. This OP technology implies that every customer demand is fulfilled by one order-picker which goes between products locations within an OP area and picks up a required quantity of products. Order picker starts from the starting location and finishes and the end location which may be spatially separated. At the end location shipment is prepared (checked, consolidated, labeled etc.) for the next step in the delivery process.

Because OP is the most demanding, the most labor intensive and accordingly the costliest activity in a warehouse, with the contribution of around 50% in the warehouse operating costs (Frazelle, 2001), the OP process has been potential for the optimization from different points of view and at different decision-making levels. However, due to the limited space and numerous papers dealing with order picking related problems, for detailed overview of considered problems, used parameters and implemented solution techniques we direct interested reader to van Gils (2018).

In this research our goal is to examine a possible OP improvement by reducing the aisle congestion problem which is frequent in OP systems with lots of order-pickers that passes through same aisles at the same time. In the following section we give more details about the considered problem. In the Section 3 we give mathematical formulation of the problem as well as a heuristic algorithm for solving it. In Section 4 we give settings and results of conducted numerical experiments. Eventually, in Section 5 we give overview of possible future directions of the problem.

2. PROBLEM DESCRIPTION

In order to provide timely service, usually numerous order-pickers are engaged in the realization of the OP process. On the other side, warehouse space utilization implies that aisles are as narrow as it is imposed by technical features of the handling equipment. Consequentially, large number of pickers, that are moving within aisles at the same time, is causing congestion that eventually might significantly reduce overall OP performances. In this research, situations that are considered as congestion from a picker’s perspective can be generally divided into two subcategories. The first one implies blockage of a picking location(s) due to an occupation by another picker with enough space in the aisle for passing that picker. This situation is showed on the Figure 1a where it can be seen that, due to the additional handling equipment used in the OP process,

neighboring locations of the picking location may also be blocked. Depending on the location of the picking position and the size of the handling equipment, a number of blocked positions can be only one, in the case when location is at the beginning/end of an aisle and with the policy that handling equipment can be placed in the cross aisle, or when the equipment size gives the possibility to be placed in such a way to block only one position. However, in the situation when an equipment with the capacity of two pallets is used the number of blocked positions can go up to three.

The second category of considered congestion situation is given on the Figure 1b and the Figure 1c where it can be seen that beside blockage of picking location, and its neighboring positions, due to the simultaneous existence of pickers on sufficiently close distance on both sides of an aisle, all downstream picking positions in an aisle are blocked.

One approach in avoiding beforementioned congestion situations is exploiting the dynamic nature of the OP process. This means that assignments of tasks to pickers is realized in such way that situations that lead to congestion are minimized by selecting appropriate OP tasks, routes, or moments in which pickers will start their routes. In the literature there are several studies that implemented this operational level approaches in minimizing congestion. In that sense, for example Bataineh and Khasawneh (2016) use taboo search metaheuristic algorithm to find the routes of order pickers with the goal to minimize a number of congestion of occurrences. However, authors by congestion consider only Pick-Face Blocking situation which occur if two, or more, pickers as interested in picking from the same picking location (i.e. within the same vertical bay).

However, operational level approaches are not the only way in which the congestion problem could be minimized. In that sense, in this research we propose an approach which utilizes a tactical level measure of reallocation of storage keeping units (SKU) over the OP zone based on the historical data about pickers delaying at SKUs' locations. To the best of our knowledge this approach has not be used so far and together with the operational measures it could additionally reduce negative effects of the considered congestion problem. The main idea of the occasional reallocation of SKUs is to reduce the chance of congestion situations by optimizing locations of all SKUs. Namely, based on the congestion case from Figure 1a it is obvious that locating SKUs with high picker delay times next to each other will probably lead to frequent occurrences of situations which imply blocking of SKUs. Accordingly, SKUs should be allocated in such way that SKUs with long and short picker delay time are located alternately in an aisle. Moreover, since locating two SKUs with long picker delay times directly across one another in an aisle leads to frequent congestion situations form Figures 1b and 1c, it is obvious that allocation of SKUs must be realized by simultaneous consideration of all SKUs' picker delay times, not only on a side of the aisle in which an SKU is to be allocated, but also with the respect to the SKUs to be allocated on the opposite site of the aisle. Nevertheless, since SKU's that are allocated on the opposite side of an aisle and two positions from the considered location will not cause aisle blockage, but rather congestion situation given on the Figure 1a we define the congestion zone for each picking location as in Figure 2. Accordingly, each congestion zone consists of the zone center, i.e. considered picking location, and zone members, i.e. neighboring locations of the picking location. Situations for the case of picking locations at the beginning/end of an aisle and in the middle of an aisle locations are given on the Figure 2a, and Figure 2b, respectively.

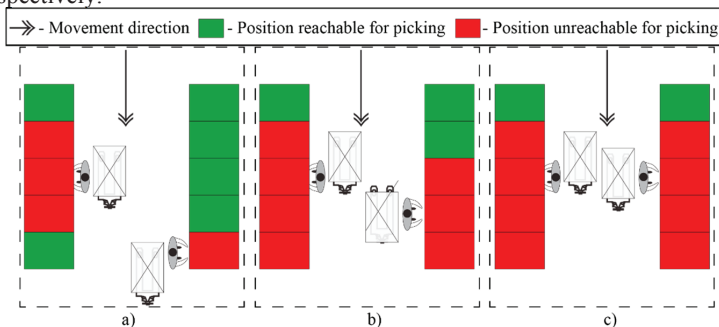


Figure 1: Considered congestion situation

As a performance measure that is minimized in this research, we use the sum of all congestion zone times whose number is equal to the number of picking locations, since for every picking location there is one congestion zone. Congestion zone times are calculated as the sum of picker delay times for all members of the zone plus zone center. Common situation in warehouses is that building pillars are located within appropriate picking locations, meaning that no SKU can be allocated to such locations. Accordingly, such situation is

handled by this allocation approach by straightforward pre-allocation of dummy SKUs with zero picker delay time to such locations.

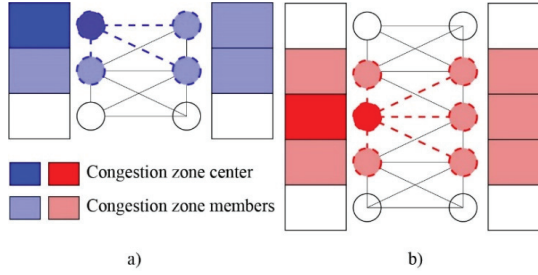


Figure 2: Congestion zone examples

3. SOLUTION METHODS

The defined problem can be given in a graph form by representing picking locations as nodes of the graph which includes connection of neighborhood picking locations by arcs (Figure 2). It should be noted that in general sense by neighborhood picking locations we consider location which are one position up and down the moving direction on both sides of an aisle, as well as position directly across the considered congestion zone center (i.e. considered picking position). Accordingly, graph representation of the problem consists of P disconnected subgraphs where each subgraph represents picking locations in one warehouse aisle. Based on this graph representation of the problem we define two approaches for its solving.

3.1. Quadratic mixed integer programming model

Based on all previously said we define allocation model based on utilization of the classic formulation of the assignment problem. However, due to the nature of the performance measure we add additional set of constraints, and change the objective function which eventually change its linear nature.

Sets

L – set of all picking locations (l) within a warehouse

A – set of all SKUs, or articles (a), to be located in the L , $|L| = |A|$

l_z – set of congestion zone nodes for the node l (includes location l and all neighborhood locations)

Parameters

t_a – expected picking time delay of the SKU a in the considered planning horizon.

Decision variables

$$x_{a_l} = \begin{cases} 1 & \text{SKU } a \text{ is allocated at the location } l \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

c_l – expected picker's delay time in the congestion zone with the zone center l

By respecting all previous notation, the appropriate Quadratic mixed integer programming allocation model can be formulated as:

$$\min \sum_{a \in A} \sum_{l \in L} x_{a_l} \cdot c_l \quad (1)$$

Subject to:

$$c_l = \sum_{l' \in l_z} \sum_{a \in A} x_{a_{l'}} \cdot t_a \quad \forall l \in L \quad (2)$$

$$\sum_{a \in A} x_{a_l} = 1 \quad \forall l \in L \quad (3)$$

$$\sum_{l \in L} x_{a_l} = 1 \quad \forall a \in A \quad (4)$$

$$x_{a,l} = \{0,1\} \quad (5)$$

Objective function (1) minimizes the overall sum of pickers' delay times in congestion zones. Constraint (2) defines values of the variable c_l . Constraint sets (3) and (4) are usual assignment constraints related to allocation of SKUs to picking locations. Finally, constraints (5) define binary nature of the variable $x_{a,l}$.

3.2. Heuristic approach

Regardless of the integrability property of the assignment problem, changes made in order to adopt the assignment problem to the considered problem, especially quadratic nature of the objective function, made this approach very inefficient for solving the problem. As it will be showed in the next Section solving time of not very large problems is inadmissibly long. Consequentially, in order to reduce the solving time of the problem, as well as to gain solution of better quality we developed a heuristic approach. This approach is based on the execution of perturbations on an initial solution. Specifically, perturbations imply realization of the exchange move of two included SKUs between their current locations. The initial solution of perturbation search is defined by the current allocation of SKUs within available picking locations. Based on the comprehensiveness of included aisles in the exchange moves we distinguish two heuristics approaches.

In the first one, from now on referred as AAE (All Aisles Exchanges), exchanges of all possible combinations of two SKUs, regardless of the aisle in which they are located, are applied. If some exchange result in an improved solution, regarding the objective function value, then the improved solution becomes a solution on which (as a new incumbent solution) algorithm is restarted, i.e. we implemented first improvement strategy in the algorithm execution. Algorithm ends when neither one of SKUs' combination pairs do not result in the solution improvement.

The second one, from now on referred as OAE (One Aisle Exchanges), implies that exchanges are executed only between SKUs located in the same aisle. This results in a significantly lower number of SKU pairs, and therefore much shorter realization of the algorithm. Consequentially, solution quality could be also jeopardized. Therefore, in the OAE we utilized the multi-start concept in which algorithm is started multiple times, but always with a different initial solution. Level of changes (*ChLvl*) at the initial solution is defined as a number within [0,1] interval and it represents the brief proportion of the changes made at the initial solution, compared to the number of picking locations (i.e. SKUs) in the initial solution. Due to the integer nature of the number of SKUs that need to be allocated, as well as the fact that one exchange move makes difference for two SKUs, number of exchange moves that are made at the initial solution is equal as $\lfloor ChLvl \cdot |L| / 2 \rfloor$, which is the reason why *ChLvl* gives only the brief level of changes on the initial solution. With the goal of spreading the solution space of the OAE, all exchange moves done for generating initial solutions are done by randomly selecting SKUs for location exchanges.

Eventually, for each randomly generated initial solution we implement exchange moves on all SKUs pairs of one aisle. This procedure is repeated for each aisle. We also used first improvement strategy in accepting improved solution. Like in the AAE, in the OAE with every improvement of the objective function the algorithm restarts. The ending condition of the OAE is satisfied when *NoSrch* searches with randomly generated initial solutions ends with no improvement of the objective function.

4. NUMERICAL EXPERIMENTS

In order to test the efficiency of proposed solution methods we tested them on an imaginary typical OP zone layout consisting of 23 picking location on each side of four aisles. Nevertheless, due to the existence of building pillars in 10 picking locations the overall number of picking locations, as well as SKUs is 174 (Figure 3). Additional features of the test instances include:

- expected picker delay times are generated within the interval of 14 and 1200 seconds and are available upon the request to the corresponding author;
- *ChLvl* parameter of the OAE algorithm is tested for values of 0, 0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1;
- Influence of the *NoSrch* parameter is tested for values of 1,5,10, 20;
- Due to the randomness in selecting SKUs for exchange in obtaining initial solutions for the OAE algorithm each realization of the algorithm is repeated 20 times.

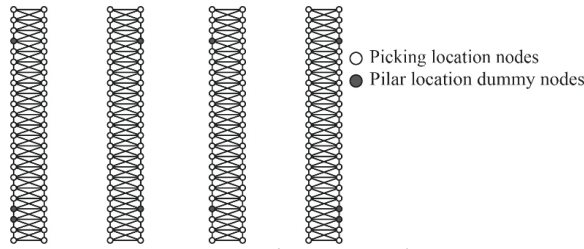


Figure 3: Testing OP zone layout

Quadratic mixed integer programming model is solved by Gurobi 8.1 solver while the model is generated by using its the Python API. All coding for realization of the proposed heuristic algorithms is realized in the Python 3.6 programming language. All models are executed by the Intel i7 4712MX CPU with 12GB of RAM and Windows 8.1 as OS.

Before we give overview of obtained results by three solving approaches, firstly, we must emphasize that objective value of the initial solution is 169 586.44s. Quadratic mixed integer programming model was given an interval of 3600s for solving the problem and it found three feasible solution, but the best one had the objective function of 166 816.9s. In other words, it reduced the initial solution's objective value for only 1.63%.

Due to the possibility of exchanging SKUs from all over the OP zone AAE algorithm was expected to give the best results related to solution objective function value. It turned out that AEE fulfilled our expectations since after cca. 230s it provided us with the solution whose objective value was 155 216.3s, i.e. 8.47% reduced, compared with the initial solution.

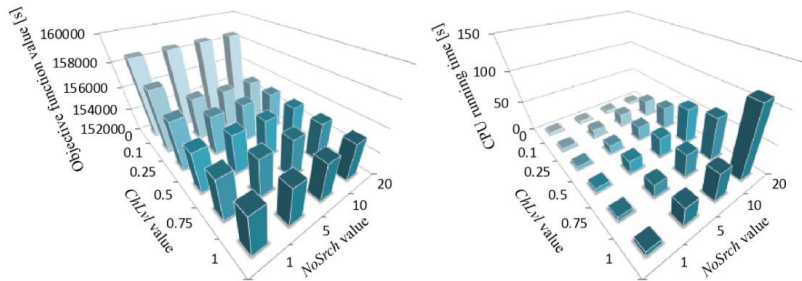


Figure 4: Results of the OAE heuristic approach

The overview of the OAE efficiency is given in the Figure 4. Before we give some remarks related to results, it should be emphasized that *ChLvl* value of 0 means that OAE is realized on the existing allocation of SKUs, i.e. without inter-aisles exchanges of SKUs, which significantly reduces the quality of OAE solutions. It can be confirmed on the Figure 4 since, regardless of the *NoSrch* value, objective value of 158 568s is not changing and it is significantly above all other parameter value combination results. Additionally, the significance of the *NoSrch* parameter is confirmed especially for the cases of lower values of *ChLvl* parameter (0.1 and 0.25) where the drop of the objective function is significant for increases of the *NoSrch* values from 1 to 5. *NoSrch* parameter values higher than 1 significantly reduces the influence *ChLvl* has on solutions' objective values. Namely, as it can be seen from the left-hand side of the Figure 4, except for the case when *NoSrch* equals one, the influence of the *ChLvl* is not significant on obtained solutions' quality.

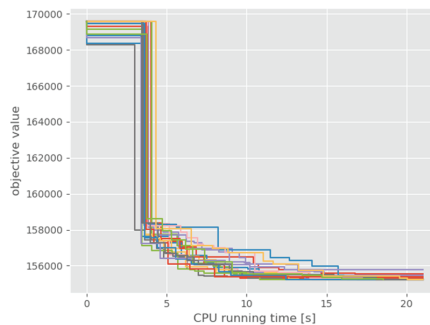


Figure 5: Convergence of the OAE algorithm for $ChLvl=0.1$ and $NoSrch=10$

Regarding time efficiency of the OAE algorithm from the right-hand side part of the Figure 4, it is obvious that the influence of both parameters is similar since increase in any parameter value contributes to the increase in the algorithm's running time. Another time related analysis of the OAE algorithm is given on the Figure 5, where we give an example of the objective value convergence for one combination of treated parameters' values.

5. CONCLUSIONS

In this research paper we approached from the tactical level to solving the congestion problem in the order picking problem. Precisely, we considered optimization of periodical storage keeping units re-allocation in such way that situation which leads to congestion of pickers in aisles are minimized. Although, the major improvement in congestion reduction lies in the scheduling of order pickers allocation of goods over the order picking zone can also contribute the final goal. Two heuristic algorithms that we developed confirmed that. However, since order picking is very complex operation dependent on numerous aspects of the problem, plans for further work on this problem include incorporation of additional parameters that has an influence on the pickers delay time at picking locations. Such parameters are frequencies of SKUs' picking, weight of the picked units, etc. Besides that, since perturbation-based heuristic showed quite good potential in improving existing solution, other perturbation moves (i.e. exchange of more than one neighboring locations, and non-random generation of initial solutions...) should also be considered, which could possibly mean that some kind of perturbation-based metaheuristic algorithm could be used. Finally, based on the strong operational aspect of the order picking process it is reasonable that some kind of simulation-based models, for comparing effects of order picking process with and without implemented allocation optimization, should be also realized.

Acknowledgement

This work was supported by The ministry of education, science and technological development of the Government of the Republic of Serbia through the institutional funding of University of Belgrade - The Faculty of Traffic and Transport Engineering, as well as through the project of bilateral cooperation between the Republic of Serbia and the Republic of Slovakia in the period 2019-2021, grant number 337-00-107/2019-09/06.

REFERENCES

- [1] de Koster, R., Le-Duc, T., and Roodbergen, K. J. (2007) Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182(2), pp. 481 – 501.
- [2] Djurdjevic, D. (2019) *Order picking technologies for piecewise goods*, Belgrade: University of Belgrade – Faculty of Transport and Traffic Engineering. (In Serbian)
- [3] Gu, J., Goetschalckx, M. and McGinnis, L. F. (2010) Research on warehouse design and performance evaluation: a comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 203. pp. 539–549.
- [4] Dallari, F., Marchet, G. and Melacini, M. (2009) Design of order picking system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 42. pp. 1–12.
- [5] Hompel, M. and Schmidt, T. (2007) *Warehouse Management: Automation and Organisation of Warehouse and Order Picking Systems*. Berlin: Springer
- [6] Wascher, G. (2004) Order picking: a survey of planning problems and methods. In: Dyckhoff, H., Lages, R., Reese, J. (eds) *Supply Chain Management and Reverse Logistics*. Berlin: Springer. pp. 324 – 370.
- [7] Frazelle, E. (2001) *World-Class Warehousing and Material Handling*. New York: McGraw-Hill.
- [8] van Gils, T., Ramaekers, K., Carisa, A. and de Koster, R. (2018) Designing efficient order picking systems by combining planning problems: State-of-the-art classification and review, *European Journal of Operational Research*, 267(1). Pp. 1-15.
- [9] Bataineh, M and Khasawneh, M. (2016) The Effect of Picking Congestion in Manual Order Picking Environments, *Proceedings of the 5th Annual Conference of the Society for Industrial and System Engineering*, San Francisco, USA. pp. 256-263.



ANALIZA EFIKASNOSTI OBJEKATA ZA PRIHVAT KALJUŽNIH VODA SA DUNAVSKIH PLOVILA

EFFICIENCY ANALYSIS OF WASTE RECEPTION FACILITIES FOR BILGE WATER COLLECTION ON THE DANUBE RIVER

KATARINA VUKADINOVIĆ¹, BRANKA DIMITRIJEVIĆ¹, IVANA KUNC¹, MILOŠ NIKOLIĆ¹, BRANISLAVA RATKOVIĆ¹, NENAD BJELIĆ¹

¹ Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, k.vukadinovic@sf.bg.ac.rs, brankad@sf.bg.ac.rs, ivana@aprondata.com, m.nikolic@sf.bg.ac.rs, b.ratkovic@sf.bg.ac.rs, n.bjelic@sf.bg.ac.rs

Rezime: U ovom radu predstavljen je pristup za određivanje najefikasnije tehnologije za sakupljanje kaljužnih voda sa dunavskih plovila baziran na Analizi obavijanja podataka (DEA metodi). Operateri objekata za prihvata otpada nastalog plovidbom nalaze se pred konstatnim izazovima povećanja nivoa usluga koje pružaju brodskim operaterima i upravljanja procesima sakupljanja i odlaganja kaljužnih voda na efikasan način. U ovom radu je prikazano i analizirano sedam postojećih tehnologija za sakupljanje kaljužnih voda na reci Dunav primenom DEA modela sa dva ulaza i jednim izlazom. Rezultati primene modela su pokazali da ocena efikasnosti tehnologija za sakupljanje kaljužnih voda može biti veoma korisna tokom planiranja i izgradnje objekata za prihvata kaljužnih voda.

Ključne reči: Sakupljanje kaljužnih voda, Objekti za prihvata otpada, Analiza obavijanja podataka (DEA).

Abstract: This paper presents a decision-making approach based on Data Envelopment Analysis (DEA) for determining the most efficient technology for bilge water collection. Waste reception facilities are continually exposed to the challenge of improving the level of service offered to vessel operators, and managing bilge water collection and disposal technologies efficiently to maintain or possibly reduce operating costs. We reviewed and analyzed seven existing technologies for bilge water collection on the Danube by using DEA model with two inputs and one output. It is shown that the efficiency evaluation of the considered technologies for bilge water collection can be useful for planning purpose.

Keywords: Bilge water collection, Waste reception facilities, Data Envelopment Analysis (DEA).

1. INTRODUCTION

This paper presents a decision-making approach for determining the most efficient technology for bilge water collection for planning purpose. Bilge water is an oily aqueous waste generated on inland vessels during navigation. It is specific oily water which accumulates in the engine room of the vessel. It is listed as a type of hazardous waste, the EWC codes of the European waste list: 13 04 01* and 13 04 03*. The solid materials and oil content of bilge water vary widely. The physical and chemical properties determine the treatment of bilge water. At the beginning of the treatment process, the gravitational separation of the received oily bilge water takes place, which is followed by a post-treatment, typically with ultrafiltration or flocculation technology. During the treatment, waste oil and oily waste water sludge is generated. The waste oil can be regenerated, and the dried waste water sludge will be subject to thermal utilization.

The Danube Commission approved recommendations on the collection of wastes from vessels on the Danube in 2011 (DK Empfehlungen, 2011). A discharge of bilge water is prohibited since it could hinder navigation or contaminate the water. An exception exists for the discharge of treated bilge water from professional bilge water treating facilities if the maximal residual oil-content corresponds to national regulations.

The Danube States take measures individually or jointly to establish waste reception facilities (WRF). A WRF has to be equipped with a waste collection vessel which serves certain stretches of the Danube, and/or a stationary reception facility (floating, onshore).

The common system of collection and treatment of oily bilge water has not yet been established in the Danube (DK Expertengruppe, 2020). Germany's section of the Danube belongs to the CDNI system of waste collection and treatment implemented to the Rhine River Basin (CDNI 1996, CDNI 2018). In general, the

alternatives for collection and treatment in the Danube River Basin are stationary collection: stationary waste reception facilities; and mobile collection: propelled collection vessels with or without treatment. The structure of the stationary reception facility can be classified into three basic units: waterside facility with appropriate infrastructure, onshore facility with appropriate infrastructure and facilities for connecting waterside and onshore facilities. Various technologies for bilge water collection within WRF are implemented on the Danube and explained in details within the CO-WANDA project (Simongáti *et al.*, 2014). In this paper, we reviewed and analyzed seven existing technologies for bilge water collection within WRFs:

- Suction Trucks (STR) – pontoon port or quay with minimal coastal infrastructure, collection by ADR trucks for dangerous liquid goods. Professional truck operator company carries out the bilge water from the ship directly.
- On the Coast Collection No Treatment (OCCNT) – pontoon port designed for vessels, with the installation of tanks and containers equipped with a pump site for bilge water which can be carried out by the personnel of the port, taking into account the environmental regulations and collection rules. No bilge water treatment.
- On the Coast Collection with bilge water Treatment (OCCT) - low capacity collecting, onshore pre-treatment facility where the treatment of bilge water takes place locally by permanent professional company personnel. The reception of cleaned bilge water can be natural waterway or sewer. Pump site is placed on the pontoon. Higher maintenance/operational and investment costs.
- Propelled Collection Vessels No Treatment (PCVNT) – collection vessels without bilge water treatment possibilities. These vessels are usually 20-30 meters long, modified tanker vessels equipped with reception tanks. Their collecting capacities are equal to their carrying capacities. They are manoeuvrable and operate within short distances from a base port, within frequented navigation areas. The reception of bilge water is performed using the high-performance pump placed on-board collection vessel. The stationary onshore facility is a base port for collection vessels. Since the collection vessel does not perform treatment, the total amount of collected bilge water needs further onshore treatment. Therefore, the onshore infrastructure with high capacity has to be provided.
- Propelled Collection Vessels with Treatment (PCVT) – high collecting capacity collection vessels with bilge water treatment. They are equipped with the appropriate facilities suitable for the collection of high amounts of waste from commercial and cargo vessels and reception from PCVNT. The recipient of decontaminated bilge water can be natural waterway. The treatment of bilge water takes place on-board; thus, the collecting capacity of the vessel is not limited by its carrying capacity.
- Non- Propelled Collection Vessels No Treatment (NPCVNT) - This stationary WRF includes deregistered tanker vessel altered into a stationary vessel. Lower investment costs. No treatment equipment is installed on-board. The tank is designed to be suitable for the reception of bilge water. Minimal human resource requirements. It is not sensible to the water level. It can be easily relocated in case of a possible need.
- Non- Propelled Collection Vessels with Treatment (NPCVT) - This stationary WRF performing bilge water treatment includes deregistered tanker vessel altered into stationary vessels. Lower investment costs. The NPCVT is suitable for receiving PCVNT beside commercial and cargo vessels. The technology of bilge water handling, which takes place on-board has already been introduced. It is useful to perform the treatment in two stages, among which the first one can be implemented continuously, while the second one can be done in a periodical manner. Does not require sensitive onshore infrastructures. Not sensible to water level. It can be easily relocated in case of a possible need.

This paper points to the importance of a waste management system for efficiently managing bilge water collection and treatment processes to reduce the risk of pollution caused by navigation. It is essential to find a way to encourage vessel operators to deliver the bilge water to WRFs. Universal and reasonable "pollution pay" principle is accepted in all countries along the Danube. Still, the bilge water collection and treatment technologies demand the highest possible efficiency with the lowest operational costs of WRFs. Also, the WRFs have to be operated in such a way that unnecessary time loss of the users or vessel operators is avoided.

The application of the basic CCR DEA model for determining efficient WRFs is the main contribution of this paper. In this paper, we selected and calculated the values of the following indicators to analyze the efficiency of proposed bilge water collection technologies: Operating costs of WRF operator per year, Tariffs paid by users/vessel operators per year, and Total time loss of vessel operators per year.

The DEA method proved to be useful to test different WRFs and to determine the efficient WRFs for planning purpose. The remainder of the paper is organized as follows: Description of the proposed CCR DEA

model is presented in Section two; Numerical example and results are given in Section three. Finally, Concluding remarks are presented in Section four.

2. DESCRIPTION OF THE PROPOSED CCR DEA MODEL

The founders of DEA methodology, Charnes, Cooper and Rhodes (1978), suggested a performance measurement approach for calculating the relative efficiencies of entities that are called Decision Making Units (DMUs) (Cooper *et al.*, 2005). These units convert multiple inputs into multiple outputs. Multiple inputs (x_i , $i=1, \dots, m$) are reduced to a single "virtual" input, and multiple outputs (y_r , $r=1, \dots, s$) are reduced to a single "virtual" output using weight factors: v_i and μ_r . Each DMU is permitted to determine its weights to maximize its efficiency defined as an objective function (a weighted sum of outputs divided by a weighted sum of inputs). This problem is defined as a fractional programming model, known as the "CCR-ratio model", which can be reduced to the linear programming model (Cooper *et al.*, 2005). In linear programming model formulation, the numerator of the previously defined objective function, representing the efficiency of the k -th DMU, $k=1, 2, \dots, n$, is maximized (1). An additional constraint is introduced (2), setting the denominator of the previously defined objective function equal to one. By inequalities (3), the efficiencies of all DMUs denoted by index j , where $j=1, 2, \dots, n$, (including k -th DMU, $k=1, 2, \dots, n$) are restricted to lie between zero and one (0% and 100%). Inequalities (4) and (5) indicate that all weight factors (weights) or variables are at least the value of ε .

The basic CCR DEA model is presented below (Cooper *et al.*, 2005):

Maximize

$$h_k = \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rk} \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$\mu_r \geq \varepsilon, \quad r = 1, 2, \dots, s \quad (4)$$

$$v_i \geq \varepsilon, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

where:

h_k – relative efficiency of k -th DMU; n – number of DMUs that should be compared; m – number of inputs; s – number of outputs; μ_r – weight of the output r ; v_i – weight of the input i ; ε is a small positive value.

Let DMU j to be evaluated on any trial be designated as k -th DMU where k ranges from 1, 2, ..., n . If the value of h_k in the objective function is equal to 1, then DMU k is relatively efficient. However, if it is less than 1, then DMU k is relatively inefficient, and the value of $1-h_k$ indicates by how much the DMU k should decrease its inputs. Given the data, we measure the efficiency of each DMU once, and therefore, n optimizations are required, one for each DMU j to be evaluated.

Proper selection of inputs and outputs is a crucial step in a DEA model development. In general, DEA minimizes inputs and maximizes outputs; in other words, smaller levels of the former and larger levels of the latter represent better performance or efficiency (Cook *et al.*, 2014). The inputs and outputs for the development of DEA models should reflect the actual objectives of WRF and vessel operators. The goal of service providers is to minimize their operating costs. At the same time, users when delivering bilge water want to keep vessels engaged as short as possible, i.e., to minimize their time loss.

In this paper, a CCR DEA model with two inputs: Operating costs of WRF operator per year, and Tariffs paid by users or vessel operators per year, and one output: Reciprocal value of the total time loss of vessel operators per year, was chosen.

3. NUMERICAL EXAMPLE AND RESULTS

The DEA method was used to analyze the efficiencies of proposed WRF technologies based on the existing and calculated data (Simongáti *et al.*, 2014). The assumed total quantity of generated bilge water per year on the Danube equals to 15000 m³. If a vessel delivers approximately 4m³ of bilge water on one occasion, there are 15000 / 4= 3750 deliveries per year. The time needed for bilge water collection from a vessel is denoted as the vessel service time. It lasts differently at WRFs due to the different capacities of pumps placed on the pontoon, on-board PCV, and NPCV. Table 1 shows the data for the calculation of indicators used as inputs and output in the CCR DEA model. The final values, which were used for evaluation of relative efficiencies, are given in Table 2 (columns 2-4).

Table 1. Data for calculation of indicators used as inputs and output in the CCR DEA model

DMU	Unit operating costs of WRF operator	Tariffs paid by users/vessel operators	Vessel service time
DMU1 - STR	41 [EUR/m ³]	100 [EUR/m ³]	2.5 h + 2 h manoeuvring
DMU2 - OCCNT	8.7 [EUR/m ³]	35 [EUR/m ³]	1.5 h + 2 h manoeuvring
DMU3 - OCCT	9.2 [EUR/m ³]	35 [EUR/m ³]	1.5 h + 2 h manoeuvring
DMU4 - PCVNT	10.9 [EUR/m ³]	115 [EUR/h]	2 h
DMU5 - PCVT	26.2 [EUR/m ³]	115 [EUR/h]	2 h
DMU6 - NPCVNT	9.7 [EUR/m ³]	49 [EUR/m ³]	1 h + 2 h manoeuvring
DMU7 - NPCVT	10.2 [EUR/m ³]	49 [EUR/m ³]	1 h + 2 h manoeuvring

Unit operating costs are multiplied by the total amount of generated bilge water per year (15000 m³) to obtain values of the indicator used as the first input in CCR DEA mode. Tariffs paid for the collection of a cubic meter of bilge water are multiplied by 4 (since a vessel delivers around 4 m³ of bilge water on one occasion) and by the total number of deliveries per year (3750) to obtain values of the indicator used as the second input in CCR DEA model. Vessel service time is multiplied by the total number of bilge water deliveries per year to obtain values of the total time loss of vessel operators per year. The reciprocal value of the total time loss of vessel operators per year is used as the output in the CCR DEA model.

Table 2. Input/output data for CCR DEA model and obtained efficiencies

DMU	Input 1 [10 ³ EUR]	Input 2 [10 ³ EUR]	Output [10 ⁻⁵ h ⁻¹]	Efficiency
DMU1 - STR	615	1500	5.926	0.256
DMU2 - OCCNT	130.5	525	7.619	0.939
DMU3 - OCCT	138	525	7.619	0.939
DMU4 - PCVNT	163.055	862.5	13.333	1
DMU5 - PCVT	393.35	862.5	13.333	1
DMU6 - NPCVNT	145.5	735	8.889	0.782
DMU7 - NPCVT	153	735	8.889	0.782

We have obtained results by EMS (Efficiency Measurement System) software. The relative efficiencies of DMUs are given in Table 2, column 5. We can notice that DMU4 and DMU5 are relatively efficient (their efficiencies are equal to 1), and the other DMUs are relatively inefficient.

As we have noticed, two DMUs have efficiencies equal to 1. One weakness of the basic CCR DEA model is that it cannot rank the efficient DMUs. For that reason, Anderson and Peterson (1993) had shown how the CCR model could be modified to rank efficient DMUs. This model is often referred to as the super-efficiency model. Therefore, to select the best WRF, according to given data, we have applied the CCR model for super-efficiency. It is almost the same as the previously given model, (1)-(5), but with one difference in the constraint (3). In the CCR super-efficiency model, this constraint is the following:

$$\sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n; j \neq k \quad (6)$$

Table 3 shows the results obtained by the CCR model for super-efficiency. According to these results, the most efficient WRF is DMU4 - PCVNT. The second-ranked is DMU5 - PCVT, etc. The worst result has DMU1 - STR.

Table 3. The rank of variants

DMU	Efficiency	Rank
DMU1 - STR	0.256	7
DMU2 - OCCNT	0.939	3
DMU3 - OCCT	0.939	4
DMU4 - PCVNT	1.339	1
DMU5 - PCVT	1	2
DMU6 - NPCVNT	0.782	5
DMU7 - NPCVT	0.782	6

4. CONCLUSIONS

The objective of this paper is to determine the efficient WRF technology for bilge water collection on the Danube. WRFs are continually exposed to the challenge of improving the level of service offered to vessel operators, and managing bilge water collection efficiently to maintain or possibly reduce operating costs.

We reviewed and analyzed seven existing WRF technologies for bilge water collection on the Danube river. The considered variants of WRF technologies include stationary and mobile services. Applying the DEA method, we have concluded that the most efficient WRF technology is mobile service with a propelled collection vessel without bilge water treatment (PCVNT). Therefore, the onshore infrastructure with bilge water treatment has to be provided.

Indeed, due to users' low acceptance of long waiting times when delivering bilge water, a mobile WRF service can, if well planned and organized, be an efficient solution. Instead of docking at a stationary WRF, this way of waste collection can be done during navigation. That is important since vessel operators try to minimize stops. However, the order of variants can be changed if some other indicators, for example, treatment costs, land transport costs are added. Our future studies will possibly include other indicators into an efficiency analysis.

Acknowledgement

This paper is supported by the projects No. TR36006 and TR36002 funded by the Ministry of Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

REFERENCES

- [1] Anderson, P., & Peterson C.N. (1993). A procedure for ranking efficient units in Data envelopment analysis. *Management Science*, 39, 1261- 1264.
- [2] CDNI, 1996, Central Commission for the Navigation of the Rhine: Convention on the collection, deposit and reception of waste produced during navigation on the Rhine and Inland Waterways.
- [3] CDNI Annex 2, Part A, 2018, Implementation Regulation. The collection, deposit and reception of oily and greasy waste generated the operation of the vessel, CDNI Secretariat, Strasbourg.
- [4] Charnes, A., Cooper, W.W., and Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, 2: 429-444.
- [5] Cook, W.D., Tone, K. and Zhu, J. (2014). Data envelopment analysis: Prior to choosing a model. *Omega*, 44: 1-4.
- [6] Cooper, W.W., Seiford, M.L., and Tone, K. (2005). *Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Uses*, Springer, (3rd ed.). New York.
- [7] DK 2011, Empfehlungen 2011. Empfehlungen zur organisierung der sammlung von schiffsabfällen in der donauschiffahrt, Ausgabe 2011. dok. DK /SES 76/11. Donaukommission, Budapest.
- [8] DK Expertengruppe Schiffbetriebsabfälle, 2020, dok. DK 29/II-2020, 3-5 März 2020, Donaukommission, Budapest.
- [9] Simongáti, G. et al., 2014, CO-WANDA Project, Transnational network of ship waste reception facilities along the Danube.
- [10] Software Efficiency Measurement System, LP Solver DLL, <http://www.netlib.org>

Matematičko programiranje

Mathematical Programming



A CONTINUOUS PROGRAMMING PROBLEM

MIRUNA BELDIMAN¹, ANDREI-DAN HALANAY²¹ Institute of Applied Mathematics and Mathematical Statistics of the Romanian Academy, Bucharest, Romania, miruna.m@gmail.com² University of Bucharest-Department of Mathematics Bucharest,Romania, andrei.halanay@unibuc.ro

Abstract: We consider a continuous-time nonlinear programming problem for which we establish weak duality results and a penalty function solving method.

Keywords: Continuous programming, Weak duality, Generalized invexity, Exponential penalty function

1. INTRODUCTION

In 1953, Bellman [2] introduced for the first time a class of continuous optimization problems. Since then, many other classes were considered [9, 8, 12]. In this paper we prove, under WD-invexity assumption, a duality result for a general Mond-Weir dual of a continuous programming problem introduced by Martin [5]. For this problem, Oliveira and Rojas-Medar [8] obtained weak duality conditions for a Lagrangian dual (a continuous-time analogue to Wolfe's dual). In the second part, we propose an exponential penalty function for solving our problem. The exponential penalty functions method, introduced in [7], has been developed in the last years [4, 1]. It has the advantage that it avoids the gradients and individual constraints, and this is very important especially for transport and traffic optimization problems [3, 10], where the number of constraints is very large and the constraints are generally time-functions. Finally, we obtain the convergence of this method, using the techniques from [4].

2. PRELIMINARIES

We consider the following continuous-time nonlinear programming problem

$$\text{minimize } \phi(x) = \int_0^T f(x(t), t) dt \quad (\text{P})$$

subject to $g(x(t), t) \leq 0$ a.e. in $[0, T], x \in X$

where X is a nonempty open convex subset of the Banach space $L_\infty^n[0, T]$, $\phi : X \rightarrow \mathbb{R}$, $f(x(t), t) = \xi(x)(t)$ and $g(x(t), t) = \gamma(x)(t)$, with the mappings ξ and γ from X into $\Lambda_1^n[0, T]$ and $\Lambda_1^m[0, T]$, respectively. Here $L_\infty^n[0, T]$ is the space of all n -dimensional vector-valued Lebesgues measurable functions defined on the compact interval $[0, T] \subset \mathbb{R}$, essentially bounded, with the norm $\|\cdot\|_\infty$ defined by

$$\|x\|_\infty = \max_{1 \leq j \leq n} \text{ess sup } \{|x_j(t)|, 0 \leq t \leq T\},$$

where $(x_j(t))_{1 \leq j \leq n} = x(t) \in \mathbb{R}^n$; the space $\Lambda_1^m[0, T]$ is the space of all m -dimensional vector-valued functions, essentially bounded and Lebesgues measurable, defined on $[0, T]$, with the norm $\|\cdot\|_1$ defined for $y(t) = (y_j(t))_{1 \leq j \leq m} \in \mathbb{R}^m$ by

$$\|y\|_1 = \max_{1 \leq j \leq m} \int_0^T |y_j(t)| dt.$$

Let $\mathbf{F} = \{x \in X : g(x(t), t) \leq 0 \text{ a.e. in } [0, T]\}$ be the set of all feasible solutions of (P). We suppose that \mathbf{F} is a nonempty set and all vectors are column vectors. For $w \in \mathbb{R}^p$, $w \leq 0$ means that $w_i \leq 0$ for all $i = 1, 2, \dots, p$; $w < 0$ means that $w_i < 0$ for $i = 1, 2, \dots, p$ and w' stands for w transposed.

Now, for (P) problem, we consider a general Mond-Weir dual. We suppose that the functions $t \mapsto \nabla f(x(t), t)$ and $t \mapsto \nabla g_i(x(t), t)z(t)$, $i \in I = \{1, 2, \dots, p\}$, are Lebesgue integrable in $[0, T]$ for all $x \in X$ and for all $z \in L_\infty^n[0, T]$.

The general Mond-Weir type dual is

$$\text{maximize } \Psi(x, \lambda) = \int_0^T [f(x(t), t) + \lambda'_{l_0}(t) g_{l_0}(x(t), t)] dt \quad (\text{MWDP})$$

subject to

$$\int_0^T [\nabla f'(x(t), t) + \sum_{i \in I} \lambda_i(t) \nabla g'_i(x(t), t)] z(t) dt = 0;$$

$$\lambda'_{l_k}(t) g_{l_k}(x(t), t) \geq 0 \text{ a.e. in } [0, T], k = \overline{1, v};$$

$$\lambda_i(t) \geq 0 \text{ a.e. in } [0, T], i \in I;$$

$$z \in L^n_\infty[0, T], x \in X, \lambda \in L^m_\infty[0, T].$$

where $v \geq 0$, $I_\alpha \cap I_\beta = \Phi$ for $\alpha \neq \beta$ and $\bigcup_{\alpha=0}^v I_\alpha = \{1, 2, \dots, m\}$ and $\lambda_{l_k} = (\lambda_i)_{i \in l_k}$ and $g_{l_k} = (g_i)_{i \in l_k}$, $k = 0, 1, \dots, v$, with $\lambda'_{l_k}(t) g_{l_k}(x(t), t) = \sum_{i \in l_k} \lambda_i(t) g_i(x(t), t)$.

This dual problem (MWDP) may be considered as the continuous-time analogue of a general Mond-Weir's duality formulation [6].

Let **FD** denote the set of all feasible solutions of (MWDP).

3. DUALITY

Definition 3.1. Between the problems (P) and (MWDP) we have a weak duality if

$$\phi(x) \geq \Psi(y, \lambda) \quad (1)$$

for all $x \in \mathbf{F}$ and all $(y, \lambda) \in \mathbf{FD}$.

Definition 3.2. The (P) problem is invex if there exists a function $\eta : V \times V \times [0, T] \rightarrow \mathbb{R}^n$ such that $t \mapsto \eta(x(t), y(t), t) \in L^n_\infty[0, T]$ and

$$\phi(x) - \phi(y) \geq \int_0^T \nabla f'(y(t), t) \eta(x(t), y(t), t) dt; \quad (2)$$

$$g_i(x(t), t) - g(y(t), t) \geq \nabla g'_i(y(t), t) \eta(x(t), y(t), t)$$

a.e. in $[0, T]$, $i \in I$, for any $x, y \in X$.

Theorem 3.1. *The invexity of (P) implies the weak duality between (P) and (MWDP).*

Proof. Let $x \in \mathbf{F}$ and $(y, \lambda) \in \mathbf{FD}$. Using (1) and (2) we have

$$\begin{aligned} \phi(x) - \Psi(y, \lambda) &= \phi(x) - \phi(y) - \int_0^T \lambda'_{l_0}(t) g_{l_0}(y(t), t) dt \geq \\ &\geq \int_0^T \nabla f'(y(t), t) \eta(x(t), y(t), t) dt - \int_0^T \lambda'_{l_0}(t) g_{l_0}(x(t), t) dt + \\ &+ \int_0^T \lambda'_{l_0}(t) \nabla g'_{l_0}(y(t), t) \eta(x(t), y(t), t) dt = - \int_0^T \sum_{k=1}^v \lambda'_{l_k}(t) \nabla g'_{l_k}(y(t), t) \eta(x(t), y(t), t) dt \\ &- \int_0^T \lambda'_{l_0}(t) g_{l_0}(x(t), t) dt \geq - \int_0^T \sum_{k=1}^v \lambda'_{l_k}(t) [g_{l_k}(x(t), t) - g_{l_k}(y(t), t)] dt - \int_0^T \lambda'_{l_0}(t) g_{l_0}(x(t), t) dt \geq 0, \end{aligned}$$

where $\lambda'_k(t) \nabla g'_k(y(t), t) = \sum_{i \in I_k} \lambda_i(t) \nabla g'_i(y(t), t)$ and for the last inequality we used the feasibility of x and (y, λ) for (P) and (MWDP) respectively. Here, $\nabla g'_k$ is a $|I_k| \times n$ matrix having the lines given by $\nabla g'_i, i \in I_k$.

Consequently, we get $\varphi(x) \geq \psi(y, \lambda)$ for all $x \in \mathbf{F}$ and $(y, \lambda) \in \mathbf{FD}$, i.e. between (P) and (MWDP) we have weak duality. Thus, the theorem is proved. \square

Now we introduce a generalized WD-invexity and a generalized constraint qualification. Then we prove an equivalence theorem between weak duality for (P) and generalized WD-invexity defined below.

Definition 3.3. We say that the problem (P) is generalized weak duality invex (generalized WD-invex) if there exists a function $\eta : V \times V \times [0, T] \rightarrow \mathbb{R}^n$ such that $t \mapsto \eta(x(t), y(t), t) \in L_\infty^n[0, T]$ and

$$\begin{aligned} \varphi(x) - \varphi(y) &\geq \int_0^T \nabla f'(y(t), t) \eta(x(t), y(t), t) dt; \\ -g_i(y(t), t) &\geq \nabla g'_i(y(t), t) \eta(x(t), y(t), t) \text{ a.e. in } [0, T], i \in I_0; \\ 0 &\geq \nabla g'_i(y(t), t) \eta(x(t), y(t), t) \text{ a.e. in } [0, T], i \notin I_0 \end{aligned}$$

for all $x \in \mathbf{F}$ and $y \in X$.

Definition 3.4. We say that g satisfies the generalized constraint qualification (GCQ) if there do not exist $v_i \in L_\infty[0, T], v_i(t) \geq 0$ a.e. in $[0, T], i \in I_0$, not all zero, such that $\int_0^T \sum_{i \in I_0} v_i(t) g_i(x(t), t) dt \geq 0, \forall x \in X$.

Now we present the main result of this section.

Theorem 3.2. Under (GCQ), weak duality holds between (P) and (GMWDP) if and only if (P) is generalized WD-invex.

Proof. *Sufficiency.* For $x \in \mathbf{F}$ and $(y, \lambda) \in \mathbf{FD}$, by generalized WD-invexity of (P), we have

$$\begin{aligned} \varphi(x) - \psi(y, \lambda) &= \int_0^T f(x(t), t) dt - \int_0^T [f(y(t), t) + \lambda'_{I_0}(t) g_{I_0}(y(t), t)] dt = \\ &= \varphi(x) - \varphi(y) - \int_0^T \lambda'_{I_0}(t) g_{I_0}(y(t), t) dt \geq \int_0^T \nabla f'(y(t), t) \eta(x(t), y(t), t) dt + \sum_{i \in I_0} \int_0^T \lambda_i(t) \nabla g'_i(y(t), t) dt = \\ &= - \int_0^T \sum_{i \notin I_0} \lambda_i(t) \nabla g'_i(y(t), t) dt \geq 0, \end{aligned}$$

that is

$$\varphi(x) \geq \psi(y, \lambda).$$

Necessity. If the weak duality holds between (P) and (GMWDP), then for all $x \in \mathbf{F}$ and $y \in X$, the system

$$\begin{aligned} \int_0^T [\nabla f'(y(t), t) + \sum_{i \in I} \lambda_i(t) \nabla g'_i(y(t), t)] z(t) dt &= 0; \\ \lambda_i(t) &\geq 0 \text{ a.e. in } [0, T], i \in I, \forall z \in L_\infty^n[0, T]; \\ \int_0^T [f(x(t), t) - f(y(t), t) - \sum_{i \in I_0} \lambda_i(t) g_i(y(t), t)] dt &< 0 \end{aligned}$$

has no solution $\lambda \in L_\infty^m[0, T]$, i.e. the system

$$\begin{aligned} \int_0^T \left\{ \begin{pmatrix} u & \mu \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ \nabla f'(y(t), t) & f(x(t), t) - f(y(t), t) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z(t) \\ \alpha \end{pmatrix} + \right. \\ \left. + \begin{pmatrix} \lambda'_{I_0}(t) & \lambda'_{I_1}(t) & \dots & \lambda'_v(t) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nabla g'_{I_0}(y(t), t) & -g_{I_0}(y(t), t) \\ \nabla g'_{I_1}(y(t), t) & 0 \\ \dots & \dots \\ \nabla g'_{I_v}(y(t), t) & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z(t) \\ \alpha \end{pmatrix} \right\} dt = 0 \end{aligned}$$

$\forall z \in L_\infty^n[0, T], \forall \alpha \in \mathbb{R}, u, \mu > 0$ and $\lambda(t) \geq 0$ a.e. in $[0, T]$ has no solution (u, μ, λ) .

In order to conclude this theorem it suffices now to apply Theorem 2.1. from [8]. Firstly, we verify that Condition 1 from the previously mentioned theorem holds.

Let us suppose that there exists $v \in L_\infty^m[0, T], v \neq 0, v(t) \geq 0$ a.e. in $[0, T]$ such that

$$\begin{pmatrix} \nabla g_{I_0}(y(t), t) & \nabla g_{I_1}(y(t), t) & \dots & \nabla g_{I_r}(y(t), t) \\ -g'_{I_0}(y(t), t) & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_{I_0}(t) \\ v_{I_1}(t) \\ \dots \\ v_{I_r}(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

a.e. in $[0, T]$, that is,

$$\begin{pmatrix} \nabla g_{I_0}(y(t), t) \\ -g'_{I_0}(y(t), t) \end{pmatrix} v_{I_0}(t) + \sum_{k=1}^r \begin{pmatrix} \nabla g'_{I_k}(y(t), t) \\ 0 \end{pmatrix} v_{I_k}(t) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

a.e. in $[0, T]$.

So we get $v'_{I_0}(t) g_{I_0}(y(t), t) = 0$ a.e. in $[0, T]$, and therefore $\int_0^T \sum_{i \in I_0} v_i(t) g_i(y(t), t) dt = 0$ contradicting (GCQ).

Now by Theorem 2.1. from [8] we obtain that the following system

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ \nabla f'(y(t), t) & f(x(t), t) - f(y(t), t) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z(t) \\ \alpha \end{pmatrix} < 0 \text{ a.e. in } [0, T];$$

$$\begin{pmatrix} \nabla g'_{I_0}(y(t), t) & -g_{I_0}(y(t), t) \\ \nabla g'_{I_1}(y(t), t) & 0 \\ \dots & \dots \\ \nabla g'_{I_r}(y(t), t) & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z(t) \\ \alpha \end{pmatrix} \leq 0.$$

has solution $(z, \alpha) \in L_\infty^n[0, T] \times \mathbb{R}$ with $\alpha < 0$.

Therefore, for $\alpha = -1$ and $\eta(x(t), y(t), t) = z(t)$ for $x \in \mathbf{F}$ and $\eta(x(t), y(t), t) = 0$ for $x \notin \mathbf{F}, y \in X$, we get

$$\nabla f'(y(t), t) \eta(x(t), y(t), t) - f(x(t), t) + f(y(t), t) < 0 \text{ a.e. in } [0, T];$$

$$\nabla g'_{I_0}(y(t), t) \eta(x(t), y(t), t) + g_{I_0}(y(t), t) \leq 0 \text{ a.e. in } [0, T];$$

$$\nabla g'_{I_k}(y(t), t) \eta(x(t), y(t), t) \leq 0, k \in \overline{1, r} \text{ a.e. in } [0, T].$$

From these inequalities, we obtain

$$\varphi(x) - \varphi(y) > \int_0^T \nabla f'(y(t), t) \eta(x(t), y(t), t) dt;$$

$$-g_i(y(t), t) \geq \nabla g'_i(y(t), t) \eta(x(t), y(t), t) \text{ a.e. in } [0, T], i \in I_0;$$

$$0 \geq \nabla g'_i(y(t), t) \eta(x(t), y(t), t) \text{ a.e. in } [0, T], i \notin I_0.$$

that is, the problem (P) is generalized WD-invex. \square

4. AN EXPONENTIAL PENALTY FUNCTION METHOD

In this section we use the exponential penalty function approach to transform the problem (P) into a sequence of unconstrained problems. The exponential penalized problem $(P)_n$, associated with the considered problem (P) is constructed as

$$\min \theta(x, \rho_n) = \int_0^T f(t, x(t)) dt + \frac{1}{\rho_n} \sum_{j=1}^m \left(\exp \left(\rho_n \int_0^T g_j(t, x(t)) dt \right) - 1 \right), \quad (P_n)$$

where $\rho_n > 0$ is the penalty parameter such that $\lim_{n \rightarrow \infty} \rho_n = \infty$. We denote with \mathbf{F}_n^* the set of all optimal solutions of (P_n) and let \mathbf{F}° be the set of all optimal solutions of (P).

Lemma 4.1. If $x \in \mathbf{F}^\circ$ then

$$\lim_{\rho \rightarrow \infty} \frac{1}{\rho} \sum_{j=1}^m \left(\exp \left(\rho \int_0^T g_j(t, x(t)) dt \right) - 1 \right) = 0.$$

Theorem 4.1. Let x_n^* be an optimal solution of the exponential penalized problem (P_n) for all $n \in \mathbb{N}$. Assume that $\{x_{n_k}^*\}$ is a convergent subsequence of $\{x_n^*\}$ and $\lim_{k \rightarrow \infty} x_{n_k}^*$ is a feasible solution of the problem (P) . Further, if X is measurable and $f_n = f(t, x_n(t))$ is a sequence of non-negative measurable functions, then

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{\rho_{n_k}} \sum_{j=1}^m \left(\exp \left(\rho_{n_k} \int_0^T g_j(t, x_{n_k}^*(t)) dt \right) - 1 \right) = 0.$$

Proof. Assume that

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{\rho_{n_k}} \sum_{j=1}^m \left(\exp \left(\rho_{n_k} \int_0^T g_j(t, x_{n_k}^*(t)) dt \right) - 1 \right) \neq 0.$$

Then there exists a subsequence $\{x_{n_{k_s}}^*\}$ of $\{x_{n_k}^*\}$ such that

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{\rho_{n_{k_s}}} \sum_{j=1}^m \left(\exp \left(\rho_{n_{k_s}} \int_0^T g_j(t, x_{n_{k_s}}^*(t)) dt \right) - 1 \right) > \varepsilon, \forall s = 1, 2, \dots$$

So

$$\underline{\lim}_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{\rho_{n_{k_s}}} \sum_{j=1}^m \left(\exp \left(\rho_{n_{k_s}} \int_0^T g_j(t, x_{n_{k_s}}^*(t)) dt \right) - 1 \right) > \varepsilon, \forall s = 1, 2, \dots \quad (3)$$

for some positive number ε .

Since $x_{n_{k_s}}^*$ is an optimal solution of the exponential penalized problem $(P_{n_{k_s}})$ for all $\bar{x} \in X$ we have

$$\int_0^T f(t, x(t)) dt + \frac{1}{\rho_{n_{k_s}}} \sum_{j=1}^m \left(\exp \left(\rho_{n_{k_s}} \int_0^T g_j(t, x(t)) dt \right) - 1 \right) \geq \int_0^T f(t, x_{n_{k_s}}^*(t)) dt + \frac{1}{\rho_{n_{k_s}}} \sum_{j=1}^m \left(\exp \left(\rho_{n_{k_s}} \int_0^T g_j(t, x_{n_{k_s}}^*(t)) dt \right) - 1 \right), \forall s \in \mathbb{N}$$

Let $x^* = \lim_{k \rightarrow \infty} x_{n_k}^*$. Since $x^* \in \mathbf{F}^\circ \subset X$, the previous inequality yields

$$\int_0^T f(t, x^*(t)) dt + \frac{1}{\rho_{n_{k_s}}} \sum_{j=1}^m \left(\exp \left(\rho_{n_{k_s}} \int_0^T g_j(t, x^*(t)) dt \right) - 1 \right) \geq \int_0^T f(t, x_{n_{k_s}}^*(t)) dt + \frac{1}{\rho_{n_{k_s}}} \sum_{j=1}^m \left(\exp \left(\rho_{n_{k_s}} \int_0^T g_j(t, x_{n_{k_s}}^*(t)) dt \right) - 1 \right), \forall s \in \mathbb{N}.$$

Taking the inferior limit as $s \rightarrow \infty$ and using (3) we get

$$\int_0^T f(t, x^*(t)) dt + \underline{\lim}_{s \rightarrow \infty} \frac{1}{\rho_{n_{k_s}}} \sum_{j=1}^m \left(\exp \left(\rho_{n_{k_s}} \int_0^T g_j(t, x^*(t)) dt \right) - 1 \right) \geq \underline{\lim}_{s \rightarrow \infty} \int_0^T f(t, x_{n_{k_s}}^*(t)) dt + \varepsilon.$$

Since f_n is a sequence of non-negative measurable function and $\underline{\lim}_{k \rightarrow \infty} x_{n_k}^* = x^*$, by Fatou's lemma [11]

$$\int_0^T f(t, x^*(t)) dt + \underline{\lim}_{s \rightarrow \infty} \frac{1}{\rho_{n_{k_s}}} \sum_{j=1}^m \left(\exp \left(\rho_{n_{k_s}} \int_0^T g_j(t, x^*(t)) dt \right) - 1 \right) \geq \underline{\lim}_{s \rightarrow \infty} \int_0^T f(t, x_{n_{k_s}}^*(t)) dt + \varepsilon \geq \int_0^T \underline{\lim}_{s \rightarrow \infty} f(t, x_{n_{k_s}}^*(t)) dt + \varepsilon.$$

So

$$\underline{\lim}_{\rho_{n_k} \rightarrow \infty} \frac{1}{\rho_{n_k}} \sum_{j=1}^m \left(\exp \left(\rho_{n_k} \int_0^T g_j(t, x^*(t)) dt \right) - 1 \right) \geq \varepsilon. \quad (4)$$

Because $x^* \in X$, from Lemma 4.1 we have

$$\underline{\lim}_{\rho_{n_k} \rightarrow \infty} \frac{1}{\rho_{n_k}} \sum_{j=1}^m \left(\exp \left(\rho_{n_k} \int_0^T g_j(t, x^*(t)) dt \right) - 1 \right) = 0. \quad (5)$$

From (4) and (5) follows that $0 \geq \varepsilon$ which contradicts the hypothesis the $\varepsilon > 0$. \square

Using this result we prove that under certain conditions an optimal solution of the original constrained problem can be approached by a convergent subsequence of the sequence of optimal solutions of the associated exponential penalized problem.

Theorem 4.2 *Let x_n^* be an optimal solution of (P_n) . Assume that $\{x_{n_k}^*\}$ is a convergent subsequence of $\{x_n^*\}$ and $\lim_{k \rightarrow \infty} x_{n_k}^*$ is a feasible solution of (P) . Further, if X is measurable and $f_n = f(t, x_n(t))$ is a sequence of non-negative measurable functions, then the limit point of $x_{n_k}^*$ is an optimal solution of (P) .*

Proof. It follows from applying the previous theorem, followed by Lemma 4.1 and Fatou's lemma (like in the proof of said theorem). \square

REFERENCES

- [1] T. Antzack, Vector exponential penalty function method for nondifferentiable multiobjective programming problems, Bull. Malaysian Math. Soc. Sci. 41 (2018) 657-686.
- [2] R. Bellman, Bottleneck problems and dynamic programming, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 39 (1953) 947-951.
- [3] K Gkiotsalitis, R. Kumar, Bus operations scheduling subject to resource constraints using evolutionary optimization, Informatics 5, 9 (2018).
- [4] A. Jayswall, S. Chowdhury, Convergence of exponential penalty function method for variational problems, Proc. Natl. Acad. Sci. India, Sect. A Phys. Sci. 89 (2019) 517-524.
- [5] D.H. Martin, The essence of invexity, J. Optim. Theory Appl. 47 (1985) 65-76.
- [6] B. Mond, T. Weir, Generalized concavity and duality, in: S. Schaible, W.T. Ziemba (Eds.), Generalized Concavity in Optimization and Economics, Academic Press, New York (1981) 263-280.
- [7] F. Murphy, A class of exponential penalty function, SIAM J. Control 12 (1974) 679-687.
- [8] V.A. de Oliveira, M.A. Rojas-Medar, Continuous-time optimization problems involving invex functions, J. Math. Anal. Appl. 327 (2007) 1320-1334.
- [9] G. Ruiz-Garzon, R. Osuna-Gomez, A. Rufian-Lizana, B. Hernandez-Jimenez, Optimality in continuous-time multiobjective optimization and vector variational-like inequalities, TOP 23 (2015) 198-214.
- [10] A.H. Shahpar, H.Z. Aashtiani, A. Babazadeh, Dynamic penalty function method for the side constrained traffic assignment problem, Appl. Math. Comput. 206 (2008) 332-345.
- [11] A.J. Weir, "The convergence theorems". Lebesgue integration and measure, Cambridge Univ. Press (1973) 93-118.
- [12] G.J. Zalmai, Sufficient optimality conditions in continuous-time nonlinear programming, J. Math. Anal. Appl. 111 (1985) 130-147.

Meko računarstvo

Soft Computing



PREPOZNAVANJE NADARENIH UČENIKA PRIMENOM FAZI SISTEMA ZAKLJUČIVANJA

IDENTIFICATION OF GIFTED STUDENTS USING FUZZY INFERENCE SYSTEM

JELENA PEJČIĆ¹, MILAN CICVARIĆ², PAVLE MILOŠEVIĆ³, ALEKSANDAR RAKIĆEVIĆ⁴, ANA POLEDICA⁵

¹ Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, Beograd, jelena.pejdic.ena@gmail.com

² Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, Beograd, cicvaric28@gmail.com

³ Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, Beograd, pavle.milosevic@fon.bg.ac.rs

⁴ Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, Beograd, aleksandar.rakicevic@fon.bg.ac.rs

⁵ Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, Beograd, ana.poledica@fon.bg.ac.rs

Rezime: Cilj ovog rada je primena fazi sistema zaključivanja radi identifikovanja nadarenih učenika osnovnih škola. Identifikacija nadarenih učenika je problem koji u današnje vreme privlači sve veću pažnju. Prema javno dostupnim statistikama, od dvadesetoro učenika troje se mogu klasifikovati kao nadareni. Rano identifikovanje nadarenih učenika može imati snažan uticaj na njihov dalji razvoj i usmeravanje tokom školovanja i karijere, što stvara potrebu za konstantnim radom na unapređenju metoda i tehnika koje se koriste u svrhu identifikacije. Relativno nov pravac istraživanja u ovom smeru predstavlja primena metoda računarske inteligencije. Konkretno, u ovom radu je predložen ekspertski sistem zasnovan na fazi logici. Podaci korišćeni u ovom radu tiču se ocena učenika od strane njihovih vršnjaka, nastavnika, roditelja, dok se kao vrednost za validaciju rezultata koristi broj poena učenika na testu progresivnih matrica u boji. U radu su predložena tri različita fazi sistema zaključivanja, njihovi rezultati su upoređeni i analizirani, a u zaključku rada su dati predlozi za dalje istraživanje.

Cljučne reči: fazi logika, identifikacija darovitih učenika, ekspertni sistem

Abstract: The aim of this paper is application of fuzzy inference system in order to identify gifted primary school students. The problem of gifted students identification is considered to be increasingly attracting nowadays. According to publicly available statistics, only three out of twenty students can be classified as gifted ones. Since early identification of gifted students may have a significant influence on future development during schooling and career, the need for constant work on identification methods and techniques is evident. A relatively new direction of research in this field is related to the application of computer intelligence methods. Specifically, in this paper we aim to introduce an expert system based on fuzzy logic. The data used in this paper concerns the assessment of students by their peers, teachers, parents, while students' results on the test of progressive color matrices are used for validation. The paper proposes three different fuzzy systems. Their results are compared and analyzed within the paper, and in the conclusion of the paper suggestions for further research are given.

Keywords: fuzzy logic, identification of gifted students, expert system

1. UVOD

Izgradnja ekspertskih sistema zasnovanih na fazi logici (eng. *fuzzy logic*) za analizu i unapređenja u oblasti obrazovanja je u poslednjih par godina u velikom zamahu. Prostor za uvođenje ovakvih sistema je otvoren stvaranjem centralizovanih baza podataka sa arhiviranim ocenama i drugim podacima o učenicima, što je dovelo do toga da su podaci dostupniji i podesniji za obradu. Do sada, ekspertski fazi sistemi su se pokazali kao izuzetno jasni krajnjim korisnicima koji nemaju mnogo dodira sa informacionim tehnologijama, a u isto vreme i moćni iz ugla tačnosti predviđanja/preporuke. Stoga, identifikacija nadarenih učenika je jedna od veoma interesantnih i obećavajućih oblasti za njihovu primenu. Rano prepoznatim nadarenim učenicima moguće je i potrebno pružiti dodatne aktivnosti i razvijati ih u pravcu u kom mogu ostvariti svoj puni potencijal, dok učenicima identifikovanim kao „slabiji“ moguće pružiti veću podršku i pomoć kako bi savladali gradivo.

Zbog kompleksnosti predviđanja opštih rezultata studenata, pogotovu onih izuzetnih, u oblasti obrazovanja izgradnja ekspertnih sistema, kao i primena različitih metoda i tehnika računarske inteligencije i

mašinskog učenja, je i dalje u povoju. Kada posmatramo primenu klasičnih tehnika mašinskog učenja, u literaturi se predlaže primena različitih algoritama poput naivnog Bajesovog klasifikatora (eng. *naive Bayes*) (Alharbi *et al.* 2016), metode *k* najbližih suseda (eng. *k-nearest neighbours*) (Zohair 2019), dok se drugi služe neuronskim mrežama (eng. *neural networks*) (Arsad and Buniyamin 2013), metodom potpornih vektora (eng. *support vector machine*) (Meier *et al.* 2015) i stablima odlučivanja (eng. *decision tree*) (Shahiri and Husain 2015). U većini istraživanja se kao ulazne promenljive koriste objektivni pokazatelji poput ocena učenika, prisustva i aktivnosti na časovima, itd. S druge strane, korišćenje subjektivnih procena učenika od strane njegovih vršnjaka, roditelja, nastavnika i samog učenika nije u toj meri zastupljeno.

Fazi logika se u većini istraživanja koristi kao jedan, vrlo značajan, deo sistema za predviđanje i procenu nadarenosti učenika. U (Taylan and Karagözoğlu 2009) nailazimo na jedan interesantan pristup problemu predviđanja integracijom neuronskih mreža i fazi logike, tj. hibridizacijom. Na taj način, moguće je uključiti ljudsko ekspertsko znanje u veštački proces učenja neuronske mreže. U radu se kao osnov za predviđanje koriste finalne ocene američkih studenata na kraju srednje škole. Rad predlaže primenu adaptivnog neuro fazi sistema (eng. *adaptive neuro-fuzzy inference system, ANFIS*). U (Ajiboye *et al.* 2013), autori primenjuju samo fazi logiku za rešavanja problema klasifikacije učenika. Cilj ovog rada je predviđanja rizika obnavljanje godine fakulteta za bruceše, odnosno odrediti koji su studenti visokog rizika i preventivno im pružati podršku i dodatne časove i materijale. Kao ulaze koriste ocene sa prijemnog ispita, nivo obrazovanja roditelja, mesto boravka, itd. U (Hamsa *et al.* 2016), problem predviđanja uspešnosti studenata završnih godina se rešava korišćenjem stabla odlučivanja i fazi genetskog algoritma, gde su kao ulazi korišćeni ocene na ispitima. Cilj rada je sličnog altruističkog karaktera kao i u (Ajiboye *et al.* 2013).

Identifikacija nadarenih mladih učenika je glavna tema ovog rada. Problem identifikacije učenika sveden je na problem rangiranja primenom fazi sistema zaključivanja. Učenici su rangirani na osnovu subjektivnih procena njihovi vršnjaka, profesora i roditelja, kao i samoocene učenika, što se ne koristi često u sličnim radovima, te ovaj čini unikatnijim. Sve ocene su prikupljene u okviru istraživanja na teritoriji Republike Srpske (Milić and Simeunović 2017). Za svrhu ovog rada kreirana su tri ekspertna fazi sistema za identifikovanje nadarenih učenika. Sistemi su zasnovani na ako-onda pravilima zaključivanja na osnovu kojih je sistem u mogućnosti da odredi izlaz iz sistema, odnosno da li je i u kojoj meri učenik darovit. Takođe, sprovedena je analiza podataka na osnovu koje su izdvojene značajne informacije za eksperta pri donošenju odluka, kao i koji je najbolji način za izgradnju što preciznijeg ekspertnog sistema. U poređnom analizom rezultata utvrđuje se koji sistem je najprecizniji.

Rad je dalje organizovan na sledeći način. U narednom poglavlju će biti opisani osnovni koncepti i istorija fazi logike i fazi sistema, njihova primena i značaj. U trećem poglavlju su predstavljeni su predloženi fazi sistemi, podaci i sam eksperiment. Takođe, dati su rezultati predviđanja tih sistema kao i uporedna analiza rezultata. Najvažniji zaključci i preporuke za dalje istraživanje navedeni su u poslednjem, četvrtom poglavlju rada.

2. FAZI LOGIKA

Teoriju fazi skupova i fazi logiku je sredinom šezdesetih godine dvadesetog veka uveo Lotfi Zade (Zadeh 1965). Fazi logika predstavlja matematički aparat za rad sa nepreciznim informacijama koji, za razliku od Aristotelove logike, omogućava modelovanje parcijalne istinitosti (Ross 2010). Drugim rečima, ona omogućava definisanja nivoa istinitosti iskaza ili nivoa posedovanja osobine određenog objekta radi gradacije (Zadeh 1965).

Fazi logika i fazi skupovi su primenu pronašli u sledećim kontekstima: 1) u situacijama koje uključuju veoma kompleksne sisteme čije ponašanje nije lako za razumevanje i 2) u situacijama gde je prihvatljivo približno, ali brzo rešenje nekog problema (Ross 2010).

Osamdesetih godina prošlog veka teorija fazi skupova privlači pažnju praktičara iz različitih oblasti. Naime, sistemi zasnovani na fazi logici uspešno su primenjeni u različitim oblastima poput upravljanja automobilima, vozovima, fotoaparatom, mašinama za pranje veša, itd. Trenutno se različiti modeli zasnovani na teoriji fazi skupova primenjuju u ekonomiji, psihologiji, lingvistici, politici, filozofiji, kao i u modelovanju konsenzusa i rešavanju konflikta.

2.1 Fazi skupovi i fazi sistemi zaključivanja

Fazi skup predstavlja uopštenje pojma klasičnog skupa u smislu da element može samo delimično da pripada fazi skupu. Za razliku od klasičnih skupova i klasične logike koja se zasniva na zakonu isključenja trećeg koji je formulisao Aristotel i koji tvrdi da element ili pripada ili ne pripada skupu, kod fazi skupova se

svakom elementu pridružuje funkcija pripadnosti koja označava stepen pripadnosti tog elementa posmatranom skupu.

Funkcija pripadnosti mapira vrednosti originalnih podataka u vrednosti u intervalu $[0,1]$. Ova funkcija može imati linearnu ili nelinearnu prirodu. Neke od najkorišćenijih funkcija pripadnosti su trougaona, trapezoidna, sigmoidna, Gausova funkcija, itd. U implementaciji fazi kontrolera u ovom eksperimentu korišćene su trougaone i trapezoidne funkcija pripadnosti, koje su ujedno i najjednostavnije je primenu.

Kako fazi logika predstavlja generalizaciju standardne dvovrednosne logike, tako i operatore konjunkcije, disjunkcije i negacije treba definisati kao funkcije koje mogu da procesiraju sve moguće fazi vrednosti sa jediničnog intervala. Postoje mnogobrojne realizacije logičkih operatora u fazi okruženju koje mogu da odgovore na ovaj zahtev. Neke od najpoznatijih i najčešće korišćenih fazi realizacija operatora konjunkcije i disjunkcije jesu funkcije *min* i *max*, kao i standardni proizvod i algebrarska suma. Kao operator negacije u fazi okruženju se najčešće koristi operacija $\neg a = 1 - a$ (Ross 2010).

Ideja fazi sistema zaključivanja je da mapira vektor klasičnih „krisp“ vrednost (eng. *crisp*) u „krisp“ izlaz pomoću teorije fazi skupove i fazi logike. U literaturi je predložen niz različitih sistema zasnovanih na fazi logici, od kojih su najpoznatiji Mamdani sistem i Takagi-Sugeno sistem (Ross 2010). Ovi sistemi su primarno oslonjeni na mehanizam zaključivanja baziran na ako-onda pravilima. Ako-onda pravila za premisu imaju logički izraz u kome figuriraju logički operatori i funkcije pripadnosti fazi skupova, dok posledica pravila je fazi skup ili klasična funkcija. Ova pravila su mahom produkt ekspertskog znanja, ali ih je moguće i „naučiti“ iz podataka.

Evaluacija Mamdani fazi sistema zaključivanja se sastoji od sledećih koraka (Jang and Gulley 2014):

- Fazifikacija ulaza – Ova faza podrazumeva rešavanje nepreciznosti u fazi tvrdnjama koje se postiže normalizovanjem ulaza fazi skupova tako da oni imaju vrednosti iz intervala $[0,1]$ pomoću funkcija pripadnosti.
- Primena fazi operatora – Ako se pravilo sastoji iz više delova, potrebno je primeniti operator koji ih povezuje i na taj način dobiti jedan broj iz intervala $[0,1]$. Ovu vrednost zovemo stepenom podrške pravila.
- Primena metoda implikacija – Oblikovanje fazi skupa korišćenjem stepena podrške pravila.
- Agregacija rezultata svih pravila – Ova faza podrazumeva primenu odabranog operatora agregacije nad dobijenim fazi skupovima nakon primene implikacije u svakom ako-onda pravilu. Neki od često korišćenih operatora agregacije u ovu svrhu su *max*, ta klasična i algebrarska suma.
- Defazifikacija – U ovoj fazi dobija se klasična vrednost kao izlaz fazi sistema pomoću odabrane metode za transformaciju fazi skupa u klasičan broj. Najčešće korišćena metoda u ovu svrhu je računanje centroida.

Korišćenjem samo jednog pravila, proces fazi zaključivanja često nije efektivan. U praksi se uglavnom koristi više pravila, a sva pravila se izvršavaju paralelno tako da njihov redosled nije bitan. Kao izlaz iz svakog pravila dobija se fazi skup, a zatim se vrši njihova agregacija u cilju dobijanja samo jednog skupa. Na kraju, procesom defazifikacije dobijenog skupa, dobija se realan broj.

3. EKSPERIMENT

U ovom poglavlju detaljno su opisani predloženi fazi sistemi zaključivanja. Takođe, dat je opis korišćenog skupa podataka, postavka eksperimenta i predstavljeni su najvažniji rezultati.

3.1. Podaci

Za potrebe ovog rada korišćeni su podaci prikupljeni tokom istraživanja sprovedenog nad skupom od 151 učenika (Milić and Simeunović 2017), pri čemu je 79 učenika trećeg i 72 učenika četvrtog razreda. Korišćeni podaci predstavljaju procene sposobnosti učenika od strane nastavnika, roditelja, vršnjaka kao i njih samih. Procenjivači su popunjavali upitnike koji sadrže 135 tvrdnje koje se odnose na devet područja darovitosti, koje je definisao psiholog Hauard Gardner (Gardner 2011): verbalno lingvistička, logičko-matematička, vizuelno-prostorna, telesno-kinetička, muzičko-ritmička, interpersonalna, intrapersonalna, prirodnjačka i filozofsko-duhovna. Zadatak procenjivača je da oceni slaganje sa svakom tvrdnjom na petostepenoj skali Likertovog tipa. Opseg procena je od 15 do 75.

Cilj eksperimenta je klasifikovati učenika kao nadarenog ili ne prema rezultatima testa progresivnih matrica u boji (PMB). Učenici su kategorisani prema skali iz literature (Milić and Simeunović 2017) na sledeći način: učenici trećeg razred koji imaju 31 ili više poena na testu progresivnih matrica u boji su klasifikovani kao nadareni; učenici četvrtog razreda koji imaju 32 ili više poena su klasifikovani kao nadareni. Maksimalan broj poena koje je moguće ostvariti na testu je 36. Pored ocena četiri procenjivača za

svih devet sposobnosti i ocena sa testa, u skupu podataka nalaze se i podaci o polu procenjivača, razredu vršnjaka i učenika, stručnoj spremi nastavnika i roditelja, kao i radnom stažu nastavnika, ali ti podaci nisu korišćeni u ovom istraživanju.

Sledeća faza u istraživanju je bila detaljna analiza podataka kako bi se dobio pravi uvid u njihovu prirodu, na osnovu čega bi bila izvršena kasnija implementacija ekspertskog znanja u fazi sisteme zaključivanja. U ovu svrhu korišćen je programski jezik R.

3.2. Predloženi fazi sistemi zaključivanja

U ovom poglavlju biće prikazana tri fazi sistema predložena da na odgovarajući način „meko“ procenjuju nadarenost učenika. Prvi fazi sistem ima 36 ulaza (ocene svih tipova sposobnosti od strane sva četiri procenjivača). U cilju izbegavanja efekta ekstremnih vrednosti koje bi mogle da na negativan način utiču na rezultate, kao ulaze za drugi fazi sistem uzimamo samo prosečne ocene svake sposobnosti, dok se u trećem slučaju koriste takođe agregirane ocene ali pomoću novi fazi sistema. Izlaz iz sva tri fazi sistema daje informaciju o tome da li učenika treba svrstati u kategoriju nadarenih ili ne.

Prvi fazi sistem zasnovan je na Mamdani sistemu zaključivanja, i sadrži 36 ulaznih promenljivih, jednu izlaznu promenljivu i 10 pravila. Svi ulazi predstavljeni su pomoću tri trougaone funkcije pripadnosti na intervalu [15,75] u skladu sa već pomenutim opsegom procene. Funkcije pripadnosti su iste za sve ulazne varijable i označavaju *nisko*, *srednje* i *visoko* posedovanje osobine, od čega su nam za dalje istraživanje funkcije *srednje* i *visoko* od velike važnosti. Vrednosti koje definišu fazi skupove odabrane su u skladu sa prethodno sprovedenim analizama, posebno raspodelama svih procena. Takođe, pre postavlja konačnih vrednosti konsultovan je domenski ekspert. Pravila su definisana po ugledu na dva pravila selekcije predložena u okviru projekta identifikacija darovitih učenika nižih razreda osnovnih škola na teritoriji Republike Srpske (Milić and Simeunović 2017) koja diferenciraju nadarenu od prosečne dece. Naime, učenik se smatra nadarenim ukoliko je od svakog procenjivača po svakoj sposobnosti dobio ocenu *srednje* ili ako je od sva četiri procenjivača za najmanje jednu sposobnost dobio ocenu *visoko*. Na ovaj način je definisano svih 10 pomenutih pravila.

Drugi fazi kontroler, takođe zasnovan na Mamdani sistemu zaključivanja, kao ulaze uzima prosečnu ocenu za svaku od devet sposobnosti. Sistem ima jedan izlaz i dva pravila. Funkcije pripadnosti za ove promenljive su definisane na sličan način kao za prvi kontroler. Svaka ulazna varijabla predstavljena je sa tri trougaone funkcije pripadnosti. Izlaz je definisan na identičan način kao u prvom fazi kontroleru, pri čemu je 10 pravila iz prvog kontrolera integrisano u dva jer je procena jedne sposobnosti od strane sva četiri procenjivača svedena na prosečnu ocenu određene osobine. Konkretno, učenik se smatra nadarenim ukoliko su mu prosečne ocene svih sposobnosti ocenjene sa *srednje* ili ukoliko je bar jedna prosečna ocena njegove sposobnosti ocenjena sa *visoko*. Struktura ovog kontrolera je izuzetno jednostavna i lako ga je tumačiti.

Ideja izgradnje i trećeg ekspertnog sistema je povećanje preciznosti selekcije nadarenih učenika uz pomoć fazi agregiranih ocena sposobnosti kao ulaza, dok pravila i izlazi ostaju nepromenjeni u odnosu na drugi fazi sistem. Kako bi se dobile fazi agregirane sposobnosti, za svaku od devet sposobnosti kreiran je dodatni fazi kontroler. Za svaki fazi kontroler korišćen je Mamdani sistem zaključivanja, koji se sastoji od četiri ulaza i jednog izlaza, dok su pravila definisana u skladu sa prethodno sprovedenim analizama i njihov broj je različit kod svakog od kontrolera. Ulaze u svaki od devet već pomenutih kontrolera predstavljaju ocene sva četiri procenjivača. Kako se ponovo radi o ocenama procenjivača, svi ulazi su, kao i u prethodna dva fazi sistema, predstavljeni sa tri trougaone funkcije pripadnosti na intervalu [15,75] definisane kao *nisko*, *srednje* i *visoko*. Izlaz iz sistema daje informaciju o fazi agregiranoj oceni za svaku sposobnost posebno koja će se, kao što je već spomenuto, koristiti kao ulaz u treći fazi sistem. Izlazna promenljiva opisana je takođe pomoću tri trougaone funkcije pripadnosti, low, medium i high na intervalu [15,75]. Detaljnom analizom i dubljim zalaganjem u materiju problema, definišu se nova pravila prilagođena svakoj od sposobnosti. Ukoliko mišljenja sva četiri procenjivača nisu usklađena pri ocenjivanju određene sposobnosti, analizira se korelacija između ocena procenjivača, na osnovu koje se dodeljuju težine pravilima u cilju dobijanja objektivnije fazi agregirane ocene, a kasnije i preciznije selekcije nadarenih učenika. Naime, pravilima u kojima se poklapaju mišljenja procenjivača, čije ocene nisu korelisane, odnosno nemaju uticaja jedna na drugu biće dodeljena veća težina nego pravilima u kojima se poklapaju mišljenja procenjivača čije su ocene visoko korelisane za određenu sposobnost. U konkretnom ekperimentu, najveću korelaciju za većinu sposobnosti ima stav vršnjaka i samog učenika, dok je korelacija vrlo mala između vršnjaka i nastavnika kao i između samoprocene učenika i procene nastavnika. Ocena roditelja i nastavnika je srednje korelisana. Ovaj sistem procene je najkomplicovaniji od svih predloženih i njegova osnovna ideja je da prevaziđe mane klasičnih statističkih operatora usrednjavanja.

3.3. Uporedna analiza rezultata

U ovom delu rada predstavljena je uporedna analiza rezultata dobijenih predloženim fazi sistemima.

Kao ocenu uspešnosti fazi sistema zaključivanja i ispravnosti odluka koje donose, košćeni su elementi klasifikacione matrice konfuzije, tačnost klasifikacija, kao i dodatni pokazatelj koji je od posebnog značaja za posmatrani problem:

- Broj učenika koje je ekspertni sistem okarakterisao kao nadarene i koji jesu nadareni (stvarno pozitivni – SP).
- Broj učenika koje je ekspertni sistem okarakterisao kao nadarene, a oni to nisu (lažno pozitivni – LP).
- Broj učenika koji su nadareni, a ekspertni sistem ih nije prepoznao (lažno negativni – LN).
- Broj učenika koje je ekspertni sistem okarakterisao kao nadarene i koji su na testu inteligencije ostavili maksimalan broj poena (MBP).
- Ukupna tačnost.

Prema rezultatima testa PMB, nadarenih učenika je 115, a njih 27 je ostvarilo maksimalan broj poena.

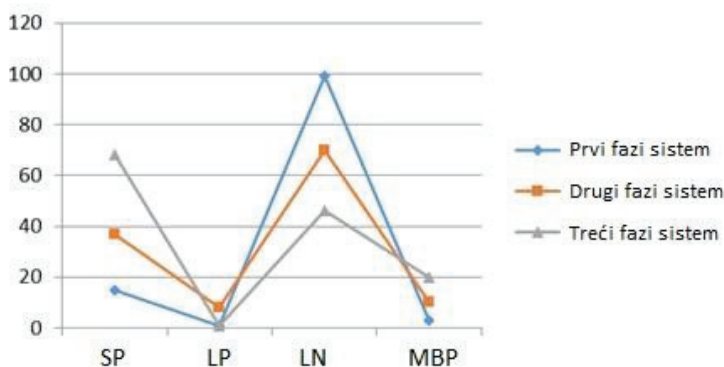
Tabela 1: Uporedna analiza sva tri fazi sistema

	Prvi fazi sistem	Drugi fazi sistem	Treći fazi sistem
SP	15	37	68
LP	1	8	1
LN	100	78	47
MBP	3	10	20
Ukupna tačnost	33%	43%	68%

Prvi predloženi sistem beleži izuzetno loše rezultate u smislu da prepoznaje tek 15% zaista nadarenih učenika i ima ukupnu tačnost od 33%. Zapažamo da jedan nedostatak prvog fazi sistema, broj nadarenih učenika koje ekspertni sistem nije u stanju prepoznati je unapređen izgradnjom drugog fazi sistema, koji je taj broj smanjio sa 100 na 78. Međutim, kod drugog fazi sistema zapažemo skok u broju učenika koji su netačno proglašeni nadarenim, što ga čini nepouzdanim. Analizom ocena ovih učenika zaključujemo da daju sebi veoma visoke ocene, kao i da nastavnici i roditelji prepoznaju sposobnosti konkretnog učenika na jedan način, dok ih vršnjaci, kao i sam učenik doživljavaju drugačije. Oba zapažanja nameću ideju o subjektivnosti i kako drugi fazi sistem radi sa prosečnim ocenama kao ulazima, pristrasnost pri ocenjivanju, kao i formiranje ocene pod uticajem mišljenja nekog od procenjivača, dovode do pogrešnog izlaza. Ukupna tačnost ova dva sistema je ispod 50%, što ih čini tek neuspešnim pokušajem modelovanja ovog problema i u potpunosti nepodesnim za primenu.

Treći fazi sistem koji kao ulaze uzima fazi agregisane ocene sposobnosti predstavlja osetno unapređenje u odnosu na prethodno prikazane fazi sisteme spuštajući broj učenika koji su netačno proglašeni nadarenim, uz paralelni rast broja tačno klasifikovanih darovitih učenika. Takođe, treći fazi sistem je prepoznao 74% najdarovitijih učenika, onih koji su postigli maksimalan broj poena na PMB testu, što je i najveće dostignuće ovog rada.

Uzimajući u obzir sve navedeno, zaključujemo da treći fazi sistem donosi najbolje odluke, što se očigledno vidi i na Grafiku 1.



Grafik 1: Grafički prikaz rezultata sva tri fazi sistema

4. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je kreiranje ekspertnog fazi sistema koji će biti u stanju da razlikuje nadarene od nenadarenih učenika koristeći ocene koje su učenici dobili od nastavnika, roditelja i vršnjaka, kao i ocenu kojom su ocenili sami sebe. Izgrađena su tri ekspertna sistema i sva tri su zasnovana na fazi logici. Ulazi kod prvog fazi sistema predstavljaju sve ocene već pomenutih procenjivača za stepen razvijenosti devet vrsta inteligencija kod učenika. Drugi fazi sistem kao ulaze prima prosečne ocene, dok treći radi sa agregisanim fazi ocenama.

Analizirani su rezultati sva tri kontrolera, nakon čega se zaključuje da je moguće kreirati ekspertni sistem koji će sa određenom preciznošću pronalaziti nadarene učenike. Međutim, kako se ideja fazi pristupa zasniva na implementaciji ekspertskog znanja o procesu u sam algoritam kontrolera, zaključuje se da izgradnji kontrolera mora da prethodi detaljna analiza nad skupom podataka sa kojim radimo, što pokazuju i rezultati ovog rada. Detaljnijom analizom i donošenjem zaključaka o odnosima među podacima u stanju smo da kreiramo ekspertni sistem koji donosi bolje rezultate.

Zapažamo da čak i fazi sistem koji donosi najbolje rezultate ima svojih mana. Svakim novim saznanjem o skupu podataka sa kojim se radi je implementiran precizniji fazi sistem. Izvesno je da se proširenjem skupa podataka, kao i dodatnim analizama nad tim skupom mogu uočiti dodatni paterni i pravila koja bi dodatno unapredila ekspertni sistem.

Takođe, upoznavanje sa fazi skupovima tipa 2 i njihovom mogućnošću primene u prepoznavanju nadarenih učenika može dodatno unaprediti ekspertni sistem, ukoliko se pokaže da su fazi skupovi tipa 2 bolji klasifikatori darovitih učenika od klasičnih fazi sistema.

LITERATURA

- [1] Ajiboye, A.R., Abdullah-Arshah, R., & Honqwu, Q. (2013). Risk Status Prediction and Modelling Of Students' Academic Achievement-A Fuzzy Logic Approach. *International Journal Of Engineering And Science*, 11(3), 7–14.
- [2] Alharbi, Z., Cornford, J., Dolder, L., & De La Iglesia, B. (2016, July). Using data mining techniques to predict students at risk of poor performance. In *2016 SAI computing conference (SAI)* (pp. 523–531). IEEE.
- [3] Arsal, P. M., & Buniyamin, N. (2013, November). A neural network students' performance prediction model (NNSPPM). In *2013 IEEE International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Applications (ICSIMA)* (pp. 1–5). IEEE.
- [4] Gardner, H. (2011). *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*. (3th ed.). New York: Basic Books
- [5] Hamsa, H., Indiradevi, S., & Kizhakkethottam, JJ. (2016). Student academic performance prediction model using decision tree and fuzzy genetic algorithm. *Procedia Technology*, 25, 326–332.
- [6] Jang, J.S.R., & Gulley, N. (2014). *MATLAB/Fuzzy Logic Toolbox*. Natick: MathWorks Inc.
- [7] Meier, Y., Xu, J., Atan, O., & Van der Schaar, M. (2015). Predicting grades. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 64(4), 959–972.
- [8] Milić, S., & Simeunović, V. (2017). Identifikacija darovitih učenika u osnovnoj školi putem procjene. *Bijeljina: Pedagoški fakultet u Bijeljini, Univerzitet u Istočnom Sarajevu*
- [9] Ross, T.J. (2010). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. (3th ed.). Singapore: John Wiley & Sons Ltd.
- [10] Shahiri, A.M., & Husain, W. (2015). A review on predicting student's performance using data mining techniques. *Procedia Computer Science*, 72, 414–422.
- [11] Taylan, O., & Karagözoğlu, B. (2009). An adaptive neuro-fuzzy model for prediction of student's academic performance. *Computers & Industrial Engineering*, 57(3), 732–741.
- [12] Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338–353.
- [13] Zohair, L.M.A. (2019). Prediction of Student's performance by modelling small dataset size. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(1), article number: 27.



PRIMENA VEŠTAČKIH NEURONSKIH MREŽA ZA PREDVIĐANJE CENOVNOG TRENDNA AKCIJA NA OSNOVU FUNDAMENTALNE I TEHNIČKE ANALIZE

APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR STOCK PRICE TREND PREDICTION USING FUNDAMENTAL AND TECHNICAL ANALYSIS

MILOŠ STOJANOVIĆ¹, ALEKSANDAR RAKIĆEVIĆ², PAVLE MILOŠEVIĆ³

¹ Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, Beograd, stojanovic.milos70@gmail.com

² Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, Beograd, aleksandar.rakicevic@fon.bg.ac.rs

³ Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, Beograd, pavle.milosevic@fon.bg.ac.rs

Režime: U ovom radu prikazana je primena neuronskih mreža za predviđanje cenovnog trenda akcija korišćenjem pokazatelja fundamentalne i tehničke analize. U tu svhu konstruisan je sistem u programskom jeziku Python korišćenjem MLPClassifier-a iz paketa scikit-learn. Predloženi sistem koristi višeslojni perceptron sa prostiranjem signala unapred. Za obučavanje mreže koristi se algoritam prostiranja greške unazad. Za istraživanje su korišćeni petogodišnji podaci o kretanju cena akcija iz S&P berzanskog indeksa u periodu od 2015. do 2020. godine. Cilj istraživanja je da se testiraju različite topologije i parametri neuronske mreže sa prostiranjem signala u napred u predviđanju cenovnog trenda akcija. U tu svrhu izvršen je veći broj predviđanja korišćenjem različitih broja skrivenih slojeva, tipa aktivacione funkcije, broja i tipa ulaznih promenljivih.

Ključne reči: Veštačke neuronske mreže, predviđanje, cenovni trend, tehnička analiza, fundamentalna analiza.

Abstract: This paper presents the application of neural networks for predicting the price trend of stocks using indicators of fundamental and technical analysis. For this purpose, a system in the Python programming language was constructed using MLPClassifier from the scikit-learn package. The proposed system uses a multilayer perceptron with forward signal propagation. A back propagation algorithm is used to train the network. Five-year data on the movement of stock prices from the S&P stock exchange index in the period from 2015 to 2020 was used for the research. The aim of the research is to test different topologies and parameters of the neural network with forward signal propagation in predicting the price trend of stocks. For this purpose, a number of predictions were made using different numbers of hidden layers, types of activation function, number and type of input variables.

Keywords: Artificial neural networks, prediction, price trend, technical analysis, fundamental analysis.

1. UVOD

Predviđanje cena akcija predstavlja težak, ali vrlo popularan problem. Konvencionalni metodi predviđanja uključuju (Atsalakis & Valavanis, 2010): autoregresivne modele (eng. *Auto-Regressive, AR*), autoregresivne modele pokretnih proseka (eng. *Auto-Regressive Moving Average, ARMA*), autoregresivne integrisane modele pokretnih proseka (eng. *Auto-Regressive Integrated Moving Average, ARIMA*), generalizovane autoregresivne modele uslovne heteroskedastičnosti (eng. *Generalized Auto-Regressive Conditional Heteroscedasticity, GARCH*) i modeli stohastičke volatilnosti (eng. *Stochastic Volatility, SV*). Sa druge strane, vrlo često se koriste i metodi mekog računarstva (Atsalakis & Valavanis, 2009), koji obuhvataju veštačke neuronske mreže (eng. *Artificial Neural Networks, ANN*), genetske algoritme (eng. *Genetic Algorithms, GA*), fazi logiku (eng. *Fuzzy Logic, FL*), kao i na njima zasnovane hibridne tehnike.

Dva su osnovna pristupa (škole mišljenja) u finansijskoj analizi (Beyaz, Tekiner, Zeng & Keane, 2018): tehnička analiza (eng. *Technical Analysis, TA*) i fundamentalna analiza (eng. *Fundamental Analysis, FA*). TA koristi matematičke indikatore (eng. *Mathematical Indicators*), trend linije (eng. *Trendlines*) i grafičke obrasce (eng. *Chart Patterns*) kako bi analizirala postojeća i anticipirala buduća cenovna kretanja. FA koristi podatke iz finansijskih izveštaja pomoću kojih se formiraju finansijska racija (eng. *Financial Ratios*), na osnovu kojih se analizira finansijsko stanje u kompaniji odnosno vrši njeno vrednovanje.

U ovom radu predložen je sistem za predviđanje cenovnog trenda koji se zasniva na veštačkim neuronskim mrežama sa prostiranjem signala unapred (eng. *feedforward network*). Predloženi sistem koristi pokazatelje fundamentalne i tehničke analize kao ulazne promenljive na osnovu kojih obučava model za predviđanje. Za implementaciju sistema korišćen je programski jezik *Python* i njegov paket za mašinsko učenje *scikit-learn*. Testiranje sistema izvršeno je na akcijama sa američkog berzanskog tržišta, konkretno nad 391 kompanijom iz S&P 500 indeksne korpe. Tokom testiranja korišćene su različite topologije i parametri veštačke neuronske mreže, sa ciljem da se utvrdi ona koja generiše najtačnija predviđanja. Za istraživanje su korišćeni podaci u petogodišnjem periodu od 2015. do 2020. godine. Za obučavanje je korišćeno 70% prikupljenog uzorka (od 11.3.2015. godine do 14.8.2018. godine), dok su predviđanja vršena na preostalih 30% podataka (od 15.8.2018. godine do 10.2.2020. godine).

U nastavku rada dat je kratak pregled literature. Potom je opisan korišćeni sistem za predviđanje cena akcija, zasnovan na veštačkim neuronskim mrežama. Slede rezultati primene predloženog sistema na podacima sa američkog berzanskog tržišta. Na kraju, data su zaključna razmatranja i pravci budućeg istraživanja.

2. PREGLED LITERATURE

Veštačke neuronske mreže su nastale pedesetih i šezdesetih godina prošlog veka (Nielsen, 2015). Od tada, postale su vrlo popularan alat za mašinsko učenje koji se koristi u problemima predviđanja i klasifikacije (Paliwal & Kumar, 2009). Neke od oblasti u kojima je njihova upotreba posebno popularna su:

- predviđanje vremeskkih serija (Tealab, 2018), posebno finansijskih vremeskkih serija (Huang, Lai, Nakamori & Wang, 2004; Atsalakis & Valavanis, 2009; Dase & Pawar, 2010; Vui, Soon, On, Alfred & Anthony, 2013);
- prepoznavanje lica (Tolba, El-Baz & El-Harby, 2006; Kasar, Bhattacharyya & Kim, 2016);
- medicinskoj dijagnostici (Lisboa & Taktak, 2006; Amato, López, Peña-Méndez, Vañhara, Hampl & Havel, 2013);
- vremenskoj prognozi (Wu & Hong, 2007; Shrivastava, Karmakar, Kowar & Guhathakurta, 2012) itd.

U cilju predviđanja cenovnog trenda na berzi, Lahmiri (2011) koristi neuronsku mrežu zasnovanu na verovatnoći (eng. *Probabilistic Neural Network*), sa dva skrivena sloja i eksponencijalnom aktivacionom funkcijom. Kao ulazi u mrežu korišćeni su pokazatelji tehničke analize, odabrane makroekonomske varijable i njihova kombinacija. Pri obučavanju mreže optimizovana je funkcija gustine verovatnoće primenjena u prvom skrivenom sloju, tj. optimizovan je faktor ravnjanja Gausovih krivih korišćenih za konstrukciju funkcije. Eksperiment je izvršen na podacima kompanija koje pripadaju S&P 500 indeksu u periodu od 11. januara 2000. godine do 31. januara 2008. Dobijena je preciznost od 53% za makroekonomske varijable i kombinovane ulaze, dok je tačnost predviđanja za tehničke pokazatelje iznosio 54%.

Još jedno je interesantno istraživanje (Guresen, Kayakutlu & Daim, 2011), koje ima za cilj da uporedi performanse različitih modela veštačkih neuronskih mreža u predviđanju finansijskih vremeskkih serija. U radu su upoređene mreža sa klasičnom arhitekturom višeslojnog perceptrona, dinamička mreža i hibrid koji koristi kombinaciju jedne od ove dve mreže sa GARCH modelom. Najmanju grešku prilikom testiranja ostvarila je dinamička neuronska mreža, nakon nje višeslojni perceptron, dok su hibridni modeli ostvarili značajno veće greške.

U istraživanju gde su se poredili rezultati više tipova veštačkih neuronskih mreža (Persio & Honchar, 2016), najbolje rezultate imala je konvoluciona neuronska mreža (eng. *Convolutional Neural Network*). Kao ulazne varijable korišćeni su dnevni prinosi cena akcija za kompanije iz S&P 500 indeksa u periodu od 1950. do 2016. godine. Korišćena je mreža sa dva sloja, gde se u gustom sloju (eng. *Dense Layer*) nalazilo 250 neurona. Mreža ima jedan konvolucioni sloj sa 64 filtera i koristi optimizujuću funkciju *AdaDelta*. Postignuta je preciznost od 54%.

3. OPIS SISTEMA

U ovom radu predložen je sistem za predviđanje cenovnog trenda akcija. Predloženi sistem zasnovan je na veštačkoj neuronskoj mreži i koristi pokazatelje fundamentalne i tehničke analize kao ulazne promenljive za predviđanje cenovnog trenda. Sistem se sastoji od četiri celine (Slika 1):

- baza podataka,
- pretprocesiranje,
- veštačka neuronska mreža i
- izveštavanje.

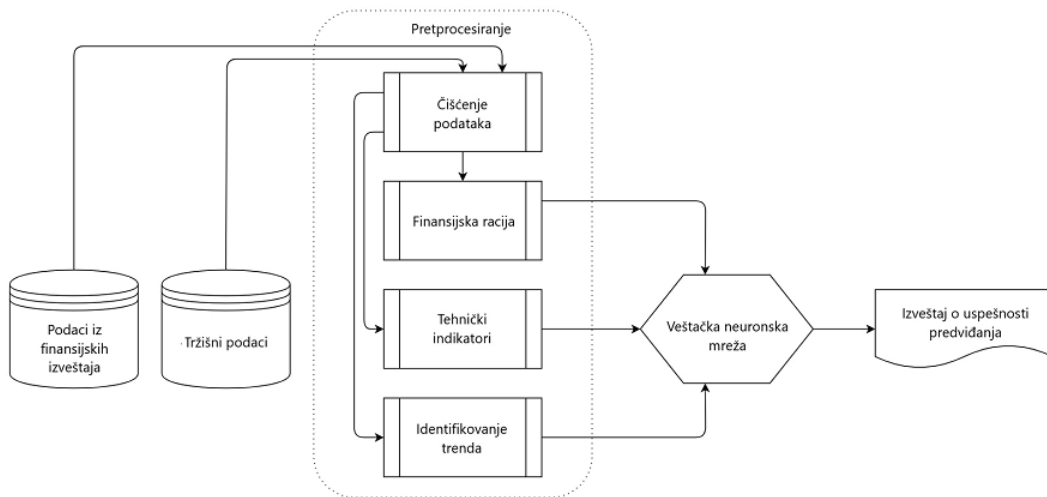
U bazi podataka se čuvaju izvorni podaci preuzeti preko API servisa *financialmodelingprep.com* pomoću Java programskog jezika. Izvorni podaci se sastoje od tržišnih podataka (cene i obimi trgovanja) i podataka iz finansijskih izveštaja kompanija (bilansi stanja, uspeha i novčanih tokova).

U okviru podsistema za pretprocesiranje, izvorni podaci se najpre prečišćavaju (otklanjanje podataka sa greškom, popunjavanje nedostajućih vrednosti, grupisanje podataka i njihovo sortiranje), nakon čega se vrši izračunavanje vrednosti finansijskih racija i tehničkih indikatora na osnovu prosečne obimom ponderisane cene (eng. *Volume Weighted Average Price, VWAP*).

U okviru sistema implementirana su sledeća finansijska racija: odnos tržišne cene i dividende (eng. *Price per Dividend, P/Div*), odnos tržišne cene i zarade (eng. *Price per Earnings, P/E*), odnos tržišne cene i prodaje (eng. *Price per Sales, P/S*), odnos tržišne i knjigovodstvene cene (eng. *Price per Book, P/B*), neto profitna marža (eng. *Net Profit Margin, NPM*), prinos na aktivu (eng. *Return on Assets, ROA*), racio obrta sredstava (eng. *Asset Turnover, AT*), trenutni racio (eng. *Current ratio, CR*) i odnos duga i ukupne aktive (eng. *Debt to Assets, D/A*).

Od tehničkih indikatora implementirani su: stohastički oscilator (eng. *Stochastic Oscillator*), stopa promene (eng. *Rate of Change, ROC*), eksponencijalni pokretni prosek (eng. *Exponential Moving Average, EMA*), relativni indeks snage (eng. *Relative Strength Index, RSI*), indeks obima-cene (eng. *Volume-Price Index*), indikator akumulacije/distribucije (eng. *Accumulation/Distribution, A/D*), indeks tokova novca (eng. *Money Flow Index, MFI*), pokretna standardna devijacija (eng. *Moving Standard Deviation, MSD*), prosečni stvarni raspon (eng. *Average True Range, ATR*) i indeks robnog kanala (eng. *Commodity Channel Index, CCI*).

U poslednjem koraku pretprocesiranja, vrši se prepoznavanje cenovnog trenda. Trend se identifikuje korišćenjem dnevnih cenovnih prinosa: ukoliko je tri od pet poslednjih dnevnih prinosa pozitivno i petodnevni prinos takođe pozitivan, trend se identifikuje kao pozitivan (vrednost 1). U suprotnom, ako je tri od pet poslednjih dnevnih prinosa negativno i petodnevni prinos takođe negativan, cenovni trend se identifikuje kao negativan (vrednost -1). Konačno, ukoliko nije ispunjen nijedan od prethodna dva uslova onda nema cenovnog trenda (vrednost 0).



Slika 1: Predloženi sistem za predviđanje cenovnog trenda

Veštačka neuronska mreža koja je odabrana je višeslojni perceptron sa prostiranjem signala unapred (eng. *feedforward network*). Ovakve mreže se češće koriste od rekurentnih mreža (eng. *recurrent networks*) jer su njihovi algoritmi za učenje moćniji (Nielsen, 2015). Obučavanje mreže vršeno je pomoću algoritma sa prostiranjem greške u nazad (eng. *backpropagation algorithm*). Za realizaciju mreže korišćen je *MLPClassifier* iz paketa *scikit-learn* za *Python* programski jezik. Prilikom treniranja i testiranja mreže ulazni podaci se dele u odnosu 70:30 (70% za treniranje, 30% za testiranje).

Za merenje performansi predviđanja koristi se tačnost (eng. *accuracy*). Za svaku akciju izvršeno je 100 predviđanja, na osnovu kojih je izračunata prosečna tačnost predviđanja koja se prikazuje u okviru konačnog izveštaja.

4. REZULTATI

U okviru ovog rada vršeno je predviđanje cenovnog trenda akcija na američkom berzanskom tržištu. Podaci preuzeti sa *financialmodelingprep.com* obuhvataju kompanije iz Standard i Purovog indeksa 500 najvećih američkih kompanija (eng. *Standard&Poor's 500 Index, S&P 500*). Od početnih 500 akcija, nakon prečišćavanja podataka preostalo je 391 kompanija sa validnim podacima.

U ovom istraživanju izvršeno je 12 predviđanja pomoću predloženog sistema sa različitim podešavanjima. Korišćene su jednoslojna i dvojslojna mreža, zatim linearna (lin) i hiperbolička (tanh) aktivaciona funkcija, dok su kao ulazi korišćeni zasebno pokazatelji FA (9 finansijskih racija + stohastički oscilator) i TA (10 tehničkih indikatora), kao i njihova kombinacija (19 pokazatelja). U slučaju kada je korišćena jednoslojna mreža broj neurona u skirvenom sloju jednak je broju ulaznih promenljivih (10 u slučaju kada su FA i TA korišćene zasebno, 19 kada su korišćene zajedno). U dvojslojnoj mreži, drugi skriveni sloj ima upola manje neurona nego prvi.

Za obučavanje veštačke neuronske mreže korišćeno je 70% prikupljenih podataka (3,5 godine), odnosno podaci iz perioda od 11.3.2015. godine do 14.8.2018. godine. Predviđanje cenovnog trenda vršeno je u periodu od 15.8.2018. do 10.2.2020. godine (1,5 godina).

Tabela 1: Zbirni rezultati predviđanja

Ulazi \ Parametri	Dvoslojna mreža		Jednoslojna mreža	
	lin	tanh	lin	tanh
FA+TA	61%	60%	62%	61%
FA	64%	63%	64%	64%
TA	65%	63%	65%	65%

U Tabeli 1 prikazani su zbirni rezultati predviđanja za različite parametre. Predviđanja dobijena korišćenjem jednoslojne mreže u proseku su tačnija od predviđanja dobijenih na osnovu dvojslojne mreže. Isto tako, korišćenje linearne aktivacione funkcije proizvodi tačnija predviđanja u odnosu na hiperboličku funkciju. Iznenađujuće, tehnička i fundamentalna analiza pojedinačno daju bolje rezultate predviđanja nego kada se njihovi pokazatelji kombinuju, pri čemu su predviđanja na osnovu tehničke analize najtačnija.

Tabela 2: Pojedinačni rezultati predviđanja

Ulazi \ Parametri	Dvoslojna mreža						Jednoslojna					
	FA+TA		FA		TA		FA+TA		FA		TA	
	lin	tanh	lin	tanh	lin	tanh	lin	tanh	lin	tanh	lin	tanh
Apple	66%	68%	62%	61%	61%	62%	66%	68%	63%	62%	61%	61%
Emerson	72%	72%	67%	67%	69%	70%	72%	70%	68%	67%	70%	71%
Cisco	72%	71%	67%	66%	68%	70%	71%	70%	67%	66%	67%	68%
eBay	72%	72%	67%	67%	69%	71%	71%	72%	68%	68%	69%	69%
NVIDIA	70%	69%	61%	58%	66%	62%	73%	72%	62%	62%	66%	67%

Tabela 2 prikazuje pojedinačne rezultate predviđanja za pet izabranih kompanija: Apple, Emerson Electric Co., Cisco Systems, eBay i NVIDIA Corporation. Ove kompanije su odabrane tako da predstavljaju različite industrije i različita cenovna kretanja u posmatranom periodu. Na izabranim akcijama, kao i u zbirnim rezultatima, jednoslojna mreža daje tačnija predviđanja od dvojslojne. Takođe, linearna aktivaciona funkcija daje tačnija predviđanja od hiperboličke. Za razliku od zbirnih rezultata, u izabranim pojedinačnim slučajevima kombinacija tehničke i fundamentalne analize daje tačnija predviđanja od pojedinačnih.

5. ZAKLJUČAK

U radu je predložen sistem za predviđanje cenovnog trenda pomoću veštačke neuronske mreže sa prostiranjem signala unapred na osnovu pokazatelja tehničke i fundamentalne analize. Predloženi sistem je testiran na američkom tržištu akcija, za 391 kompaniju iz indeksne korpe S&P 500. Izvršeno je 12 predviđanja sa različitim parametrima, a rezultati su upoređeni.

Prosečna ostvarena tačnost predviđanja cenovnog trenda iznosi najmanje 60% po svim parametrima. Za pojedinačne slučajeve tačnost predviđanja prelazi 70% što se može smatrati vrlo uspešnim. Rezultati su pokazali da jednoslojne mreže daju tačnija predviđanja od dvojslojnih, kao i da linearna aktivaciona funkcija

daje za nijansu bolje rezultate od hiperboličke. Tehnička i fundamentalna analiza daju približne rezultate, dok kombinacija ove dve analize daje lošija prosečna predviđanja na nivou celog uzorka, što je iznenađujuće.

Buduća istraživanja mogla bi da uključe testiranje rekurentne mreže u okviru predloženog sistema, ili promenu ulaznih varijabli. Ostvareni rezultati sugerišu da manji broj ulaznih varijabli daje bolje rezultate predviđanja, zbog čega bi bilo interesantno izbršiti redukciju ulaznih varijabli eliminacijom ili korišćenjem metode glavnih komponenti. Još jedan moduci smeri budućeg rada mogao bi da uključi posebnu proceduru za agregaciju predviđanja dobijenih zasebnim korišćenjem tehničkih indikatora sa rezultatima dobijenim korišćenjem fundamentalnih pokazatelja.

LITERATURA

- [1] Atsalakis, G., & Valavanis, K. P. (2010). Surveying stock market forecasting techniques – Part I: Conventional methods. *Journal of Computational Optimization in Economics and Finance*, 2(1), 45–92.
- [2] Atsalakis, G. S., & Valavanis, K. P. (2009). Surveying stock market forecasting techniques – Part II: Soft computing methods. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 5932–5941.
- [3] Beyaz, E., Tekiner, F., Zeng, X. J., & Keane, J. (2018, June). Comparing Technical and Fundamental indicators in stock price forecasting. In 2018 IEEE 20th International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 16th International Conference on Smart City; IEEE 4th International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS) (pp. 1607–1613). IEEE.
- [4] Nielsen, M. A. (2015). *Neural Networks and Deep Learning* (Vol. 2018). San Francisco, CA: Determination press.
- [5] Paliwal, M., & Kumar, U. A. (2009). Neural networks and statistical techniques: A review of applications. *Expert Systems with Applications*, 36(1), 2–17.
- [6] Tealab, A. (2018). Time series forecasting using artificial neural networks methodologies: A systematic review. *Future Computing and Informatics Journal*, 3(2), 334–340.
- [7] Huang, W., Lai, K. K., Nakamori, Y., & Wang, S. (2004). Forecasting foreign exchange rates with artificial neural networks: A review. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 3(01), 145–165.
- [8] Dase, R. K., & Pawar, D. D. (2010). Application of Artificial Neural Network for stock market predictions: A review of literature. *International Journal of Machine Intelligence*, 2(2), 14–17.
- [9] Vui, C. S., Soon, G. K., On, C. K., Alfred, R., & Anthony, P. (2013, November). A review of stock market prediction with Artificial neural network (ANN). In 2013 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (pp. 477–482). IEEE.
- [10] Tolba, A. S., El-Baz, A. H., & El-Harby, A. A. (2006). Face recognition: A literature review. *International Journal of Signal Processing*, 2(2), 88–103.
- [11] Kasar, M. M., Bhattacharyya, D., & Kim, T. H. (2016). Face recognition using neural network: a review. *International Journal of Security and Its Applications*, 10(3), 81–100.
- [12] Lisboa, P. J., & Taktak, A. F. (2006). The use of artificial neural networks in decision support in cancer: a systematic review. *Neural Networks*, 19(4), 408–415.
- [13] Amato, F., López, A., Peña-Méndez, E. M., Vañhara, P., Hampl, A., & Havel, J. (2013). Artificial neural networks in medical diagnosis. *Journal of Applied Biomedicine*, 11, 47–58.
- [14] Wu, Y. K., & Hong, J. S. (2007, July). A literature review of wind forecasting technology in the world. In 2007 IEEE Lausanne Power Tech (pp. 504–509). IEEE.
- [15] Shrivastava, G., Karmakar, S., Kowar, M. K., & Guhathakurta, P. (2012). Application of artificial neural networks in weather forecasting: a comprehensive literature review. *International Journal of Computer Applications*, 51(18). doi: 10.5120/8142-1867
- [16] Lahmiri, S. (2011). A Comparison of PNN and SVM for Stock Market Trend Prediction using Economic and Technical Information. *International Journal of Computer Applications*, 29(3), 24–30.
- [17] Guresen, E., Kayakutlu, G., & Daim, T. U. (2011). Using artificial neural network models in stock market index prediction. *Expert Systems with Applications*, 38(8), 10389–10397.
- [18] Persio L. D., & Honchar, O. (2016). Artificial Neural Networks architectures for stock price prediction: comparisons and applications. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 10, 403–413.

Menadžment

Management



UTICAJ IZBEGAVANJA NEIZVESNOSTI NA PRIHVATANJE STRANIH BRENDOVA- MEDIJATORSKI EFEKAT REFERENTNIH GRUPA

THE INFLUENCE OF UNCERTAINTY AVOIDANCE ON THE ACCEPTANCE OF FOREIGN BRANDS- THE MEDIATING EFFECT OF REFERENCE GROUPS

STEFAN ZDRAVKOVIĆ¹, JELENA PEKOVIĆ², ALEKSANDAR JOVANOVIĆ³

¹ Ekonomski fakultet, Kragujevac, szdravkovic034@yahoo.com

² Ekonomski fakultet, Kragujevac, jelenapekipekovic@gmail.com

³ Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac, a.jovanovic@kg.ac.rs

Rezime: Promene koje se dešavaju na globalnom tržištu su dinamične, tako da menadženti kompanija moraju da vrše monitoring okruženja i da se prilagođavaju uslovima na tržištu. Sve veći broj kompanija internacionalizuje svoje poslovanje, odnosno plasira svoje brendove na inostrana tržišta. Prilikom nastupa na inostranom tržištu, menadžeri kompanija moraju da uzmu u obzir sve kulturološke elemente koji su karakteristični za to područje. Visok stepen izbegavanja neizvesnosti, kao dimenzije nacionalne kulture, implicira averziju prema stranim brendovima. Takođe, pored uticaja kulture na odluku potrošača o prihvatanju stranih brendova utiču i referentne grupe. Potrošač referentnu grupu koristi kao vodič prilikom ponašanja u određenoj situaciji i ona mu pomaže da smanji stepen neizvesnosti prilikom kupovine. Cilj istraživanja je da ispita uticaj izbegavanja neizvesnosti, kao dimenzije nacionalne kulture, na prihvatanje stranih brendova od strane potrošača, a pored toga ispitivaće se i medijatorski efekat referentnih grupa. Anketiranjem 118 ispitanika sa teritorije Republike Srbije (Kragujevac, Beograd, Novi Sad) prikupljeni su primarni podaci, koji su analizirani putem statističkog softvera SPSS-a. Rezultati su pokazali da izbegavanje neizvesnosti utiče na prihvatanje stranih brendova, kao i da referentne grupe ostvaruju signifikantnu medijatorsku ulogu.

Cljučne reči: Izbegavanje neizvesnosti, Prihvatanje stranih brendova, Referentne grupe.

Abstract: The change taking place in the global market are dynamic, so company management needs to monitor the environment and adapt to market conditions. A growing number of companies are internationalizing their business, that is, marketing their brands to foreign markets. When performing in a foreign market, company managers must take into account all the cultural elements that are characteristic of the area. A high degree of avoidance of uncertainty, as a dimension of national culture, implies an aversion to foreign brands. Also, in addition to the influence of culture on consumers decision to adopt foreign brands, they are also influenced by reference groups. The consumer uses the reference group as a guide when behaving in a given situation and it helps him to reduce the degree of uncertainty when making a purchase. The aim of the research is to examine the influence of uncertainty avoidance, as a dimension of national culture, on the acceptance of foreign brands by consumers, and in addition the mediating effect of reference groups will be examined. A survey of 118 respondents from the territory of the Republic of Serbia (Kragujevac, Belgrade, Novi Sad) collected primary data, which was analyzed using SPSS statistical software. The results showed that the avoidance of uncertainty influences the acceptance of foreign brands, as well as that the reference groups have a significant mediating role.

Keywords: Avoiding uncertainty, Acceptance of foreign brands, Reference groups.

1. UVOD

Usled sve intezivnijeg procesa globalizacije, stavovi i uverenja potrošača formiraju se pod uticajem brojnih faktora koji se ne razmatraju u značajnoj meri kada je u pitanju poslovanje preduzeća u okviru nacionalnih granica, ali mogu imati bitne implikacije kada je u pitanju međunarodni aspekt poslovanja preduzeća. Kupci se na međunarodnom tržištu kao pripadnici određene nacionalne kulture mogu razlikovati, tako da je potrebno da se primeni različita marketing strategija prilikom uvođenja stranih brendova na pojedinačna tržišta. Kada kompanija želi da nastupi na inostranom tržištu mora da uzme u obzir sve kulturološke elemente, potrebno je sagledati dimenzije nacionalne kulture. Izbegavanje neizvesnosti se definiše kao stepen

u kome se članovi kulture osećaju ugroženim i nesigurnim u nepoznatim situacijama (Minkov and Hofstede 2014). Visok stepen izbegavanja neizvesnosti implicira averziju i rizik prema inovacijama i stranim brendovima (Broekhuizen et al. 2017).

Globalizacija tržišta ima krucijalnu ulogu u ublažavanju značaja nacionalnih granica podsticanjem ekonomske, političke i lične interakcije. Kroz proces globalizacije, nekada fragmentirana tržišta zemalja značajno su promenjena u sledećim aspektima: a) ekonomija- ogroman rast investicija, b) tehnologija- uspon Interneta i moderne komunikacione tehnologije, c) društveni život - porast turističkih i poslovnih putovanja u svetu (Steenkamp and de Jong 2010). Ključna marketinška implikacija bio je porast globalnih brendova, odnosno brendova koji uživaju, globalnu svest, dostupnost, prihvaćenost i poželjnost i povezani su sa percepcijama potrošača o visokom kvalitetu i poboljšanom prestižu. Brend se može definisati kao ime, termin, dizajn, simbol ili bilo koja druga funkcija koja identifikuje i razlikuje jednog prodavca od drugih prodavaca (Kotler 2000).

Značajan uticaj na odluku potrošača da prihvate strane brendove imaju referentne grupe (porodica, prijatelji). Schiffman and Kanuk (2004) ističu da referentna grupa služi kao tačka upoređivanja za pojedinca u formiranju opštih ili posebnih vrednosti, stavova ili posebnog vodiča za ponašanje. Ukoliko član referentne grupe koristi određeni strani brend, smanjuje se uticaj neizvesnosti i potrošač brže prihvata strani brend.

Polazeći od činjenice da je proces ponašanja potrošača izuzetno kompleksan marketinški pojam i da se nalazi pod uticajem brojnih faktora, **predmet istraživanja** u radu je ispitivanje efekata izbegavanja neizvesnosti, kao dimenzije nacionalne kulture, na prihvatanje stranih brendova od strane potrošača. Takođe, u radu se ispituje i medijatorski efekat referentnih grupa u odnosu navedenih varijabli. **Cilj istraživanja** je da se utvrdi da li izbegavanje neizvesnosti utiče na prihvatanje stranih brendova, kao i da li referentne grupe ostvaruju signifikantnu medijatorsku ulogu u odnosu navedenih varijabli.

Rad se sastoji iz pet delova. Nakon uvoda, u pregledu literature se definišu varijable izbegavanje neizvesnosti, prihvatanje stranih brendova i referentne grupe i analizira se njihova međusobna povezanost. U okviru ovog dela formulisane su istraživačke hipoteze i predstavljen je konceptualni model. U trećem delu je predstavljena metodologija istraživanja, dok se četvrti deo odnosi na rezultate istraživanja. U zaključku su prokomentarisani dobijeni rezultati, naveden je glavni doprinos i originalnost istraživanja, date su teorijske i menadžerske implikacije, kao i ograničenja sa osvrtom na pravce budućih istraživanja.

2. PREGLED LITERATURE

Kultura se može definisati kao skup naučenih verovanja, vrednosti i običaja, koje stvaraju norme u ponašanju u određenom društvu (Yau 1994). Kultura je jedna od osnovnih determinanti stavova, ponašanja i životnih stilova potrošača, kao i potreba koje oni zadovoljavaju kupovinom i upotrebom proizvoda i usluga (Cleveland and Laroche 2007). Postoje četiri glavne dimenzije nacionalne kulture: distanca moći, individualizam/kolektivizam, izbegavanje neizvesnosti, muške/ženske vrednosti. Međutim, na osnovu dodatnih istraživanja model je upotpunjen, tako što su dodate još dve dimenzije nacionalne kulture: kratkoročnost/dugoročnost, uzdržavanje/zadovoljstvo (Minkov and Hofstede 2014).

U ovom radu akcenat će biti stavljen na dimenziju nacionalne kulture izbegavanje neizvesnost, koja utiče na strategiju nastupa kompanije na inostranom tržištu, kao i na prihvatanje stranih brendova od strane potrošača. Rogers (1995) pod neizvesnošću podrazumeva nedostatak predvidljivosti, strukture i informacija. Prema trenutnim podacima, u Srbiji je izražen visok stepen izbegavanja neizvesnosti vrednost 92 na skali (1- nizak stepen izbegavanja neizvesnosti; 100- visok stepen izbegavanja neizvesnosti), što implicira sporije prihvatanje stranih brendova od strane potrošača (Hofstede Insights). Potrošači mogu da usvoje određene strategije koje omogućavaju smanjenje neizvesnosti prilikom kupovine proizvoda. Cena može biti dobar indikator kvaliteta u nedostatku informacija, a mnogi značajnu pažnju poklanjaju imidžu zemlje porekla proizvoda, koji nekad može da ima presudan uticaj na potrošača da favorizuje kupovinu proizvoda koji potiče iz zemlje koja je prepoznatljiva po njegovoj proizvodnji, kao što je na primer Švajcarska sinonim za kvalitetne satove (Anne Lee et al. 2007).

Brend je definisan kao ime, termin, dizajn, simbol ili bilo koja karakteristika koja identifikuje robu ili uslugu jednog prodavca u odnosu na druge prodavce (Nguyen et al. 2011). Vrednost marke se odnosi na ogromnu vrednost koja je svojstvena dobro poznatom brendu. Pojavljuje se kada potrošači imaju na raspolaganju dva alternativna proizvoda istog stepena kvaliteta, ali kupuju brendiran proizvod iako je skuplji. Brend predstavlja garanciju kvaliteta, porekla i performansi, pa samim tim povećava percipiranu vrednost kupca i smanjuje rizik koji je sastavni deo odluke o kupovini (Kotler 2000). Izbegavanje neizvesnosti i referentne grupe mogu imati značajan uticaj na prihvatanje stranih brendova (Raza et al. 2019).

Yeniyurt and Townsend (2003) su utvrdili da izbegavanje neizvesnosti, kao dimenzija nacionalne kulture, ima negativan statistički značajan uticaj na odluku potrošača da prihvate nove proizvode i strane brendove.

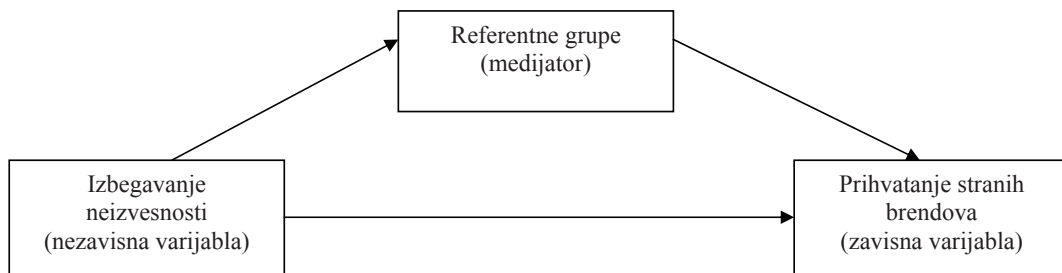
Izbegavanje neizvesnosti utiče negativno na prihvatanje stranih brendova, međutim potrošač će se odlučiti na kupovinu inostranog brenda, ukoliko je on prepoznatljiv na globalnom nivou. Šapić and Golo (2017) su istraživali kako dimenzije nacionalne kulture utiču na stavove i namere potrošača prema stranim i domaćim proizvodima. Između ostalog, rezultati istraživanja su pokazali da izbegavanje neizvesnosti ima negativan statistički značajan uticaj na stavove potrošača prema stranim proizvodima. Na osnovu navedenog može se formulisati prva istraživačka hipoteza u radu:

H1: *Izbegavanje neizvesnosti, kao dimenzija nacionalne kulture, ostvaruje negativan uticaj na prihvatanje stranih brendova od strane potrošača.*

Referentne grupe su veoma bitna komponenta u proučavanju ponašanja potrošača, jer ih oni koriste kao vodič prilikom ponašanja u određenoj situaciji i one im pomažu da smanje stepen neizvesnosti prilikom kupovine. Postoje tri važne dimenzije uticaja referentnih grupa (Schulz 2015). Informativni uticaj je zasnovan na želji da se odluke donose na bazi relevantnih informacija. Utilitaran uticaj se zasniva na ostvarenju nagrada i izbegavanju kazni, odnosno ključno jeste maksimizirati korisnost pri donošenju odluke. Vrednosno izražajan uticaj karakteriše potreba za psihološkom povezanošću sa osobom ili grupom i odražava se u prihvatanju stavova koje su iskazali drugi. Schulz (2015) je utvrdio da referentne grupe ostvaruju jak uticaj na odluku potrošača u procesu kupovine. Hammerl et al. (2016) su utvrdili da referentne grupe ostvaruju pozitivan uticaj na odluku potrošača da prihvate strane brendove. Lin and Chen (2009) su utvrdili da referentne grupe ostvaruju pozitivnu moderatorsku ulogu u odnosu namere kupovine i krajnje odluke potrošača da kupi određeni proizvod. U ovom istraživanju će se ispitivati medijatorski efekat referentnih grupa u odnosu izbegavanja neizvesnosti i prihvatanja stranih brendova od strane potrošača. Na osnovu navedenog može se formulisati druga istraživačka hipoteza u radu:

H2: *Referentne grupe ostvaruju medijatorsku ulogu u odnosu izbegavanja neizvesnosti i prihvatanja stranih brendova.*

Na Slici 1 je predstavljen konceptualni model, u okviru kojeg se ispituje uticaj izbegavanja neizvesnosti, na prihvatanje stranih brendova od strane potrošača, kao i medijatorski efekat referentnih grupa.



Slika 1: Konceptualni model

3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je sprovedeno na teritoriji Republike Srbije (Kragujevac, Beograd, Novi Sad) u periodu od 05. do 31. marta 2020 godine. Uzorak broji 118 ispitanika koji su segmentirani prema određenim demografskim karakteristikama (pol, starost, mesečna primanja, obrazovanje). Istraživanje je sprovedeno lično i elektronskim putem, metodom ankete. Ispitanici su davali odgovore putem Likertove skale i izražavali stepen slaganja sa određenom konstatacijom ocenama od 1 do 7 (1- apsolutno se ne slažem; 7- apsolutno se slažem). Obrada podataka je izvršena putem statističkog softvera SPSS-a. U uzorku od 118 ispitanika ima 63 žena i 55 muškaraca. Najveći broj ispitanika ima od 21-30 godina (29,7%). Najveći broj ispitanika na mesečnom nivou zarađuje 25 000-50 000 din (35,6%). Kada je obrazovanje u pitanju, najveći broj ispitanika ima srednje obrazovanje 61 (51,7%). Varijable izbegavanje neizvesnosti, prihvatanje stranih brendova, referentne grupe, merene su putem konstatacija koje su preuzete iz relevantne literature, što je uobičajen pristup u terenskim marketing istraživanjima. Pregled konstatacija je dat u Tabeli 1. Od statističkih analiza korišćena je analiza pouzdanosti, korelaciona analiza, prosta i višestruka regresiona analiza, kao i Sobel test. Na osnovu rezultata regresionih analiza i Sobel testa biće doneta odluka o potvrđivanju ili odbacivanju istraživačkih hipoteza.

Tabela 1: Varijable istraživanja i njima odgovarajuće konstatacije

Varijable	Konstatacije	Izvor
Izbegavanje neizvesnosti	1. Motivacija se nalazi u sigurnosti. 2. Potrebno je sve precizirati i formalizovati. 3. Postoji emocionalna potreba za pravilima. 4. Zakoni i propisi su nužni.	Prilagođeno prema: Hofstede G. et al. (2010).
Prihvatanje stranih brendova	5. Rado kupujem strane brendirane proizvode. 6. Kupujem strane brendirane proizvode i kada ima drugih proizvoda. 7. Spreman sam da izdvojim veću sumu novca za kupovinu stranih brendiranih proizvoda. 8. Spreman sam da preporučim drugima strane brendirane proizvode	Prilagođeno prema: Son et al. (2013)
Referentne grupe	9. Pre kupovine stranog brendiranog proizvoda, razgovaram sa članovima porodice. 10. Pre kupovine stranog brendiranog proizvoda, razgovaram sa svojim prijateljima. 11. Najčešće sledim kupovne odluke članova porodice. 12. Najčešće sledim kupovne odluke svojih prijatelja.	Prilagođeno prema: Tawfik and Zaazou (2018)

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

U istraživanju je primenjena analiza pouzdanosti kako bi se utvrdilo da li su konstatacije putem kojih su merene navedene varijable međusobno interno konzistentne. U Tabeli 2 su predstavljeni rezultati.

Tabela 2: Analiza pouzdanosti

Faktori	Vrednost Cronbach's alpha
Izbegavanje neizvesnosti	0,835
Prihvatanje stranih brendova	0,874
Referentne grupe	0,926

Analiza pouzdanosti se sprovodi sagledavanjem vrednosti *Cronbach's alpha* koeficijenta. Da bi varijabla imala odgovarajući stepen pouzdanosti, neophodno je da vrednost koeficijenta bude viša od 0,70 (Nunnally 1978), što je ostvareno u slučaju svih varijabli. U Tabeli 3 su prikazani rezultati korelacione analize.

Tabela 3: Korelaciona matrica

	Izbegavanje neizvesnosti	Prihvatanje stranih brendova	Referentne grupe
Izbegavanje neizvesnosti	1	-0,387*	0,296*
Prihvatanje stranih brendova	-0,387*	1	0,441*
Referentne grupe	0,296*	0,441*	1

Napomena: *- Koeficijenti korelacije su signifikantni na nivou 0,05

Vrednost koeficijenta između varijabli izbegavanje neizvesnosti i prihvatanje stranih brendova je -0,387, tako da postoji slaba inverzna korelacija. Visok stepen izbegavanja neizvesnosti kod potrošača, doprinosi sporijem prihvatanju stranih brendova. Vrednost koeficijenta između varijabli referentne grupe i prihvatanje stranih brendova iznosi 0,441, tako da postoji umerena direktna korelacija. Ukoliko članovi referentne grupe koriste određeni strani brend, potrošač će isti brže prihvatiti. Vrednost koeficijenta između varijabli izbegavanje neizvesnosti i referentne grupe iznosi 0,296, tako da postoji slaba direktna korelacija. Ukoliko je kod potrošača prisutan visok stepen izbegavanja neizvesnosti, on će poslušati savet članova njegove referentne grupe. U Tabeli 4 su prikazani rezultati proste regresione analize putem koje je meren uticaj izbegavanja neizvesnosti na prihvatanje stranih brendova.

Tabela 4: Rezultati proste regresione analize (zavisna varijabla: Prihvanje stranih brendova)

Nezavisna varijabla	R ²	β	Sig
Izbegavanje neizvesnosti	0,28	-0,387*	0,018

Napomena: *- koeficijenti su signifikantni na nivou 0,05.

Koeficijent determinacije R² iznosi 0,28, što znači da je 28 % varijabiliteta prihvatanja stranih brendova objašnjeno ovim regresionim modelom. Koeficijent β pokazuje jačinu uticaja nezavisne varijable (izbegavanje neizvesnosti) na zavisnu varijablu (prihvanje stranih brendova) i njegova vrednost je -0,387. Vrednost Sig koeficijenta iznosi 0,018, tako da su vrednosti statistički značajne na nivou 0,05 (verovatnoća od 95%). Na osnovu navedenog, može se zaključiti **da je potvrđena hipoteza H1**.

U Tabeli 5 su prikazani rezultati višestruke regresione analize, putem koje je meren uticaj izbegavanja neizvesnosti i referentnih grupa na prihvanje stranih brendova.

Tabela 5: Rezultati višestruke regresione analize (zavisna varijabla: Prihvanje stranih brendova)

Varijable	β	Sig.	VIF
Izbegavanje neizvesnosti	-0,224*	0,041	1,251
Referentne grupe	0,338*	0,032	1,194

Napomena: *- Koeficijenti su signifikantni na nivou 0,05. R² = 0.48

Koeficijent determinacije R² iznosi 0,48, što znači da je 48 % varijabiliteta prihvatanja stranih brendova objašnjeno ovim regresionim modelom. Podaci su prikladni za sprovođenje višestruke regresione analize, jer je vrednost VIF koeficijenta (nezavisna varijabla) utiče na prihvanje stranih brendova (zavisna varijabla). Referentne grupe su uključene u regresioni model kao medijator. Nakon toga negativan uticaj izbegavanja neizvesnosti na prihvanje stranih brendova je slabiji (jačina β koeficijenta se smanjila sa -0,387 na -0,224), ali je i dalje statistički značajan (Sig vrednost 0,041 što je manje od 0,05). Može se zaključiti da referentne grupe ostvaruju parcijalnu medijatorsku ulogu u odnosu izbegavanja neizvesnosti i prihvatanja stranih brendova. Izbegavanje neizvesnosti utiče negativno na prihvanje stranih brendova, međutim ukoliko neko od članova potrošačke referentne grupe koristi strani brend, taj negativan uticaj izbegavanja neizvesnosti se smanjuje i povećava se verovatnoća da potrošač kupi dati strani brend pod uticajem referentne grupe.

Za ispitivanje medijatorskog efekta referentnih grupa u odnosu izbegavanja neizvesnosti i prihvatanja stranih brendova korišćen je i Sobel test (Preacher and Hayes 2004). U Tabeli 6 su predstavljeni rezultati.

Tabela 6: Rezultati Sobel testa (medijator: Referentne grupe)

Inputi	a=0.296	b=0.338	Sa=0.051	Sb=0.068
Rezultati Sobel testa	Statistika testa= 3.775		Standardna greška=0.026	p vrednost=0

Inputi a i b predstavljaju vrednosti β koeficijenta iz regresione analize, odnosno jačinu uticaja izbegavanja neizvesnosti (nezavisna varijabla) na referentne grupe (medijator) iz proste regresione analize, kao i uticaj referentnih grupa (medijatora) na prihvanje stranih brendova (zavisna varijabla) iz višestruke regresione analize, gde je druga nezavisna varijabla izbegavanje neizvesnosti. Inputi Sa i Sb predstavljaju njihove standardne greške. Rezultati pokazuju da je p vrednost=0, tako da se i na osnovu Sobel testa može zaključiti da su referentne grupe parcijalni medijator, tako **da je potvrđena hipoteza H2**.

5. ZAKLJUČAK

U literaturi postoje radovi koji su se bavili ispitivanjem uticaja izbegavanja neizvesnosti na prihvanje stranih brendova, a ispitivanje medijatorskog efekta referentnih grupa predstavlja *originalnost i glavni doprinos* ove studije. Rezultati istraživanja su pokazali da su potvrđene obe istraživačke hipoteze. *Teorijske implikacije* se ogledaju u proširenju naučnog saznanja o uticaju dimenzija nacionalne kulture, pre svega izbegavanja neizvesnosti, na prihvanje stranih brendova od strane potrošača, a u domaćoj literaturi ne postoji mnogo radova na tu temu. *Menadžerske implikacije* se ogledaju u pružanju pomoći marketing menadžerima prilikom sagledavanja faktora koji utiču na prihvanje stranih brendova od strane potrošača na

tržištu Republike Srbije. Usled procesa globalizacije sve veći broj kompanija internacionalizuje svoje poslovanje, tako da je veoma značajno da postoji što više radova iz ove oblasti, jer pružaju korisne informacije menadžmentu kompanije tokom monitoringa okruženja i oblikovanja marketing strategije prilikom nastupa na inostranom tržištu. *Ograničenje istraživanja* predstavlja mala veličina uzorka, tako da bi u *budućim istraživanjima* trebalo povećati uzorak i uključiti u konceptualni model još neku varijablu koja može da ima značajan uticaj na prihvatanje stranih brendova od strane potrošača.

LITERATURA

- [1] Anne Lee, J., Garbarino, E., & Lerman, D. (2007). How cultural differences in uncertainty avoidance affect product perceptions. *International Marketing Review*, 24(3), 330-349.
- [2] Broekhuizen, T., Giarratana, M., & Torres, A. (2017). Uncertainty avoidance and the exploration-exploitation trade-off. *European Journal of Marketing*, 51(11/12), 2080-2100.
- [3] Cleveland, M., & Laroche, M. (2007). Acculturation to the Global Consumer Culture: Scale Development and Research Paradigm. *Journal of Business Research*, 60(3), 249-259.
- [4] Field, A. (2000). *Discovering statistics using SPSS for Windows*. Thousand Oaks: Sage Publication.
- [5] Hofstede, G., Hofstede, G. J., & Minkov, M. (2010). *Cultures and Organizations: Software of the Mind*, New York, NY: McGraw-Hill
- [6] Hammerl, M., Dorner, F., Foscht, T., & Brandstätter, M. (2016). Attribution of symbolic brand meaning: the interplay of consumers, brands and reference groups. *Journal of Consumer Marketing*, 33(1), 32-40.
- [7] Kotler P., (2000). *Marketing Management*. Berlin, Pretince Hall
- [8] Lin, L., & Chen, Y. (2009). A study on the influence of purchase intentions on repurchase decisions: the moderating effects of reference groups and perceived risks. *Tourism Review*, 64(3), 28-48.
- [9] Minkov, M., & Hofstede, G. (2014). A replication of Hofstede's uncertainty avoidance dimension across nationally representative samples from Europe. *International Journal of Cross Cultural Management*, 14(2), 161-171.
- [10] Nunnally, J. C. (1978). *Introduction to Psychological Measurement*. New York: McGraw-Hill
- [11] Nguyen, D., Barrett, N., & Miller, K. (2011). Brand loyalty in emerging markets. *Journal of Marketing Intelligence and Planning*, 29(3), 222-232.
- [12] Preacher, K. J., & Hayes, A. F. (2004). SPSS and SAS procedures for estimating indirect effects in simple mediation models. *Behavior Research Methods, Instruments and Computers*, 36(4), 717-731.
- [13] Rogers, E.M. (1995), *Diffusion of Innovations*, 4th ed., The Free Press, New York, NY
- [14] Raza, S.H., Abu Bakar, H., & Mohamad, B. (2019). The effects of advertising appeals on consumers behavioural intention towards global brands: The mediating role of attitude and the moderating role of uncertainty avoidance. *Journal of Islamic Marketing*, 11(2), 440-460.
- [15] Schiffman, L.G., & Kanuk, L.L. (2004). *Consumer Behavior*, 8th ed., Pearson Education, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
- [16] Steenkamp, J. B. E., & de Jong, M. G. (2010). A global investigation into the constellation of consumer attitudes toward global or local products. *Journal of Marketing*, 74(6), 18-40.
- [17] Son, J., Jin, B., & George, B. (2013). Consumers' purchase intention toward foreign brand goods. *Management Decision*, 51(2), 434-450.
- [18] Schulz, H. (2015). Reference group influence in consumer role rehearsal narratives. *Qualitative Market Research*, 18(2), 210-229.
- [19] Tawfik, Y., & Zaazou, Z. (2018). The influence of reference groups on consumer's online hotel booking intentions. *International Journal of Service Science, Management and Engineering*, 5(4), 141-148.
- [20] Yau, O. (1994). *Consumer Behavior in China*. London: Routledge
- [21] Yenyurt, S., & Townsend, J. (2003). Does culture explain acceptance of new products in a country? An empirical investigation. *International Marketing Review*, 20(4), 377-396.
- [22] Šapić, S., & Golo, J. (2017). Uticaj dimenzija kulture na stavove i namere potrošača prema stranim i domaćim proizvodima. *Marketing*, 48(4), 235-242.
- [23] <https://www.hofstede-insights.com/> (Pristupljeno: 11.03.2020)

Nauka o podacima

Data Science



METOD ZA SUBOPTIMALNO KLASTEROVANJE VIŠEDIMENZIONIH PRIMERA BAZIRAN NA MAKSIMALNOM POLUPREČNIKU KLASTERA I ZA IZBOR REFERENTNIH PREDSTAVNIKA FORMIRANIH KLASTERA

THE MAXIMAL CLUSTER RADIUS BASED METHOD FOR SUBOPTIMAL CLUSTERING OF MULTIDIMENSIONAL SAMPLES AND SELECTION OF REFERENCE REPRESENTATIVES OF IDENTIFIED CLUSTERS

DR SLOBODAN RUŽIĆ, DIPL.EL.ENG¹, M.SC. BOJANA OPAČIĆ¹, PETAR ZEČEVIĆ, INFORMATICS STUDENT², ALEKSANDRA RUŽIĆ, INFORMATICS STUDENT²

¹ Energy Saving Group doo, Bulevar Mihaila Pupina 10 D, Belgrade

² University of Belgrade, Faculty of Mathematics, Studentski trg 16, Belgrade

Rezime: U ovom radu je prikazan originalan metod klasterovanja koji se zasniva na sukcesivnoj analizi svakog primera i njegovom svrstavanju u onaj klaster čiji će poluprečnik, nakon dodavanja primera, biti najmanji, uz ograničenje da njegova vrednost ne sme biti veća od neke unapred zadate maksimalne vrednosti. Kako broj klastera koji će biti formirani u tom postupku nije unapred poznat, po završetku iteracije se vrši korigovanje zadate vrednosti maksimalnog poluprečnika klastera pa se postupak klasterovanja ponavlja. Konvergencija ovog iterativnog postupka zavisi od načina inicijalizacije i korekcije maksimalnog dozvoljenog poluprečnika klastera, što predstavlja centralnu temu ovog rada. Za praktičnu primenu veoma koristan je i dodatak algoritma u kome se određuje referentni primer svakog klastera, odnosno onaj postojeći primer koji najbolje reprezentuje klaster u koji je svrstan.

Gljučne reči: Klasterovanje, maksimalni poluprečnik, referentni primer

Abstract: This paper presents an original clustering method, which is based on successive analysis of each sample and its classification into the cluster that will have the shortest radius after adding of that sample taking into account the limitation of the radius to some predefined maximum value. Since the number of clusters that will be formed in this process is not known in advance, correction of maximum cluster radius is done after each iteration and the clustering process is repeated. Convergence of this iterative procedure depends on the method of initialisation and correction of maximum allowed cluster radius, which is the central topic of this paper. For practical application, there is a very useful addition to the algorithm for defining of a referent sample for each cluster i.e. the sample that best represents the cluster it belongs to.

Keywords: Clustering, maximal radius, reference sampl.

1. UVOD

Klasterovanje je proces grupisanja zadatih primera po sličnosti. Kao što je opisano u [1], klasterovanje može biti particiono ili hijerarhijsko, ekskluzivno ili neekskluzivno, rasplinuto ili nerasplinuto, delimično ili kompletno i heterogeno ili homogeno. Formirani klasteri mogu biti dobro razdvojeni, bazirani na centru, bazirani na susedstvu, bazirani na gustini, bazirani na grafovima, konceptualni ili opisani ciljnom funkcijom.

Algoritam opisan u ovom radu predstavlja metodološki unapređen postupak koji je prikazan u [4]. On vrši particiono, ekskluzivno, nerasplinuto, kompletno i homogeno (osim po gustini) grupisanje zadatih primera. Klasteri koji nastaju primenom predloženog algoritma su bazirani na centru jer je svaki primer u klasteru bliži centru svog nego bilo kog drugog formiranog klastera. Po metodološkim karakteristikama i osobinama dobijenih klastera, algoritam opisan u ovom radu je najbliži algoritmu K-sredina, koji je opisan u [3]. U oba algoritma se vrši iterativni postupak svrstavanja primera u klaster. Međutim, u predloženom algoritmu se iz iteracije u iteraciju menja broj formiranih klastera u zavisnosti od zadatog maksimalnog poluprečnika, odnosno veličine klastera, dok u algoritmu K-sredina broj klastera ostaje konstantan bez obzira na veličinu, odnosno poluprečnik formiranih klastera. Takođe, zbog korišćenja pojma epsilon okoline, DBSCAN algoritam klasterovanja koji je opisan u [2] ima izvesne, makar asocijativne, sličnosti sa algoritmom predloženim u ovom radu.

2. FORMULACIJA PROBLEMA

Zadatak razmatran u ovom radu može se formulirati na sledeći način: ako postoji ukupno P različitih primera sa po N dimenzija, pri čemu se p-ti primer ponavlja n_p puta i ako su atributi (karakteristike ili obeležja) primera, odnosno dimenzije vektora, definisani vrednostima iz skupa realnih brojeva, uključujući i mogućnost postojanja negativnih, binarnih i/ili drugih celobrojnih vrednosti, potrebno je formirati K klastera (podskupova) tako da najveći poluprečnik bilo kog od formiranih klastera bude minimalan.

U ovom radu se podrazumeva da klaster u N-dimenzionalnom Euklidovom prostoru predstavlja hipersferu čiji je poluprečnik jednak Euklidovoj distanci centra klastera i najudaljenijeg primera. Centar k-tog klastera koji sadrži P_k različitih primera, dat je izrazom:

$$b_{k,i} = \frac{\sum_{p=1}^{P_k} n_p x_{p,i}}{\sum_{p=1}^{P_k} n_p}, \quad i = 1, \dots, N \quad (1)$$

gde su: $b_{k,i}$ vrednost i-tog atributa centra k-tog klastera, $x_{p,i}$ vrednost i-tog atributa p-tog primera, P_k broj različitih primera u k-tom klasteru. Poluprečnik k-tog klastera, R_k , određen je relacijom:

$$R_k = \max_p \{ED(B_k, X_p)\}, \quad p=1, \dots, P_k \quad (2)$$

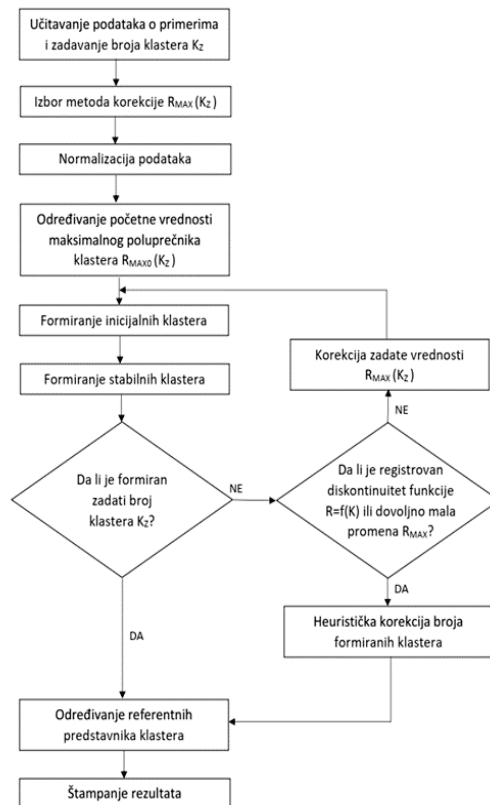
u kojoj ED označava Euklidovu distancu između dve tačke u višedimenzionom prostoru.

Prema tome, zadatak se svodi na formiranje K klastera tako da kriterijumska funkcija F data sledećom relacijom ima minimalnu vrednost:

$$F = \max_k \{R_k\}, \quad k=1, \dots, K \quad (3)$$

3. ALGORITAM REŠAVANJA

Algoritam klasterovanja predložen u ovom radu je prikazan na slici 1.



Slika 1: Dijagram toka algoritma klasterovanja

3.1. Formiranje inicijalnih klastera

Proces formiranja inicijalnih klastera se vrši sukcesivnim ispitivanjem primera prema unapred zadatom redosledu. Prvi primer se deklarise kao centar prvog klastera, a zatim se ispituje drugi primer, odnosno proverava se da li se drugi primer može svrstati u prvi klaster, a da poluprečnik tako dobijenog klastera ostane manji od neke, unapred zadate vrednosti maksimalnog poluprečnika klastera. Ukoliko je to moguće, drugi primer se svrstava u postojeći, prvi, klaster, a u suprotnom formira drugi klaster. U opštem slučaju, razmatra se dodavanje ispitivanog primera u svaki od već postojećih klastera, a primer se svrstava u klaster koji obezbeđuje najmanju vrednost kriterijumske funkcije (3) pod uslovom da je ta vrednost manja ili jednaka zadatom maksimalnom poluprečniku klastera. U suprotnom, ispitivani primer će formirati novi klaster. Pri svrstavanju j-tog primera, koji se ponavlja n_j puta, u klaster k, broj različitih primera u tom klasteru se uvećava za jedan, a njegov centar se koriguje prema sledećoj relaciji:

$$b_c(i, l) = \frac{b(i, l) + \frac{\sum_{p=1}^P k_p n_p}{n_j} - X(i, j)}{\frac{\sum_{p=1}^P k_p n_p}{n_j} - 1} \quad i = 1, \dots, N \quad (4)$$

gde je $b(i, l)$ vrednost i-tog atributa korigovanog centra klastera k, a $X(i, j)$ vrednost istog atributa u j-tom primeru. Postupak se ponavlja dok se ne ispita i poslednji primer, čime je završen proces inicijalnog formiranja klastera.

3.2. Formiranje stabilnih klastera

Nakon inicijalizacije, počinje faza stabilizacije, odnosno iterativni postupak za generisanje stabilnih klastera. U okviru svake iteracije u fazi stabilizacije, sukcesivno se ispituju svi primeri po prethodno definisanom redosledu. Za posmatrani primer se ispituju sve moguće upravljačke akcije i bira optimalna, odnosno proverava se da li primer treba da ostane u prethodno identifikovanom klasteru ili da pređe u neki drugi klaster. Optimalna upravljačka akcija je ona koja obezbeđuje najmanju vrednost maksimalnog poluprečnika formiranih klastera. Prema tome, kada se ispituje mogućnost da primer ostane u klasteru kome je u prethodnoj iteraciji pripadao, jednostavno se primenom relacija (1) do (3) određuju centri svih klastera, njihovi poluprečnici i identifikuje se najveći poluprečnik među njima. Međutim, kada se ispituje upravljačka akcija premeštanja j-tog primera iz l-tog u k-ti klaster, neophodno je u prvom smanjiti, a u drugom povećati broj različitih primera za jedan i izvršiti korekciju centara ova dva klastera. Korekcija centra k-tog klastera (u koji se posmatrani primer ubacuje) se vrši prema relaciji (4), dok se korekcija centra l-tog klastera (iz koga se j-ti primer izbacuje) vrši prema sledećoj formuli:

$$b_c(i, l) = \frac{b(i, l) + \frac{\sum_{p=1}^P k_p n_p}{n_j} - X(i, j)}{\frac{\sum_{p=1}^P k_p n_p}{n_j} - 1} \quad i = 1, \dots, N \quad (5)$$

Zatim se primenom relacije (2) određuju poluprečnici l-tog i k-tog klastera kao i svih ostalih koji se nisu menjali, a primenom relacije (3) određuje se najveći od njih koji predstavlja meru kvaliteta razmatrane upravljačke akcije. Kada se odredi maksimalni poluprečnik formiranih klastera za sve moguće upravljačke akcije, kao optimalna upravljačka akcija bira se ona koja minimizira kriterijumsku funkciju (3), odnosno koja vodi najmanjoj vrednosti maksimalnog poluprečnika klastera. Međutim, ako je tako dobijena vrednost funkcije (3) veća od zadate maksimalno dozvoljene vrednosti poluprečnika klastera, ispitivani primer formira potpuno novi klaster čiji je centar on sam.

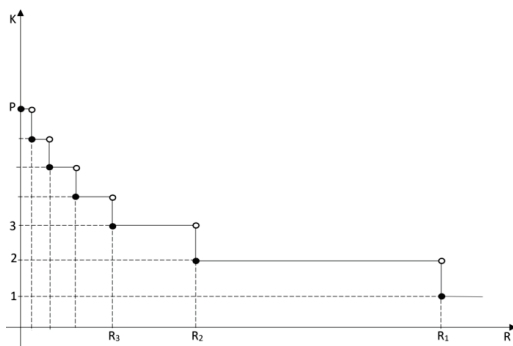
Jedna iteracija faze stabilizacije se završava kada se ispituju svi zadati primeri. Iterativni postupak stabilizacije se završava kada je rešenje dobijeno u tekućoj iteraciji isto kao i rešenje dobijeno u bilo kojoj od prethodnih iteracija. Ako je ponovljeno rešenje iz prethodne iteracije znači da su formirani stabilni klasteri za zadati maksimalni poluprečnik klastera. Međutim, moguće je da to rešenje bude identično nekom ranije dobijenom rešenju, što znači da je nastao ciklus rešenja koja se ponavljaju. U tom slučaju, kao najbolje uzima se ono rešenje iz dobijenog ciklusa kod koga najveći formirani klaster ima najmanji poluprečnik.

3.3. Inicijalizacija i korekcija maksimalnog poluprečnika klastera

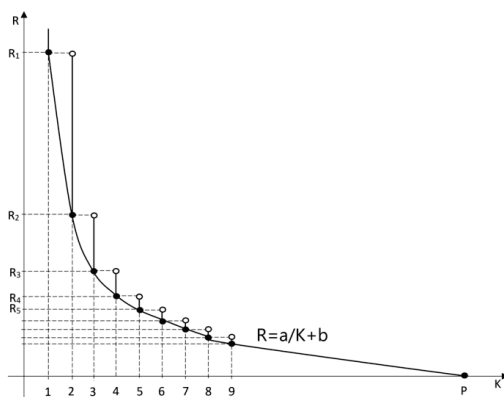
Algoritam opisan u poglavljima 3.1 i 3.2 ovog rada, za inicijalnu maksimalnu vrednost poluprečnika klastera R_{1max} , u prvoj iteraciji formira K_1 klastera. U opštem slučaju taj broj je različit od zahtevanog broja klastera K_z . Zbog toga se vrši korekcija zadatog maksimalnog poluprečnika klastera, pa se postupak klasterovanja ponavlja.

Da bi se u i -toj iteraciji odredio maksimalni poluprečnik klastera $R_{max}(K_z)$, potrebno je interpolirati krivu $R=f(K)$ između tačaka (R_{i-1}, K_{i-1}) i (K_m, R_m) , pri čemu je K_m broj klastera dobijen u m -toj iteraciji sa maksimalnim poluprečnikom R_m a najbliži je traženom broju K_z sa druge strane u odnosu na K_{i-1} . Dakle, ako je $K_{i-1} > K_z$ onda se tačka (R_m, K_m) bira tako da je $K_m < K_z$ i obrnuto. U oba slučaja, bira se ona vrednost K_m koja je najbliža zadatoj vrednosti K_z , a ako je ista vrednost broja klastera dobijena za više različitih zadatih poluprečnika klastera onda je relevantna tačka ona sa najmanjim zadatim poluprečnikom klastera. Prema tome, u prvoj iteraciji se za interpolaciju koriste tačke (R_p, P) i $(R_1, 1)$, a zatim se interval interpolacije smanjuje iz iteracije u iteraciju, dok se ne nađe ona vrednost maksimalnog poluprečnika klastera za koju se formira upravo željeni broj klastera K_z .

U [4] je određivanje i -te vrednosti maksimalnog poluprečnika klastera vršeno na bazi pretpostavke o linearnoj vezi između zadatog broja klastera K_z i odgovarajućeg maksimalnog poluprečnika klastera $R(K_z)$. Inicijalna linearizacija je vršena na celom intervalu između tačaka $(1, R_1)$ i $(P, 0)$. Međutim, rezultati opsežnog testiranja su pokazali da se pretpostavka o linearnoj vezi između K i R ne može koristiti u opštem slučaju, odnosno da je ovu funkciju, za svaki relativno mali broj klastera (do 20% broja zadatih primera), mnogo bolje modelovati obrnuto nego direktno proporcionalnom zavisnošću. Ovaj zaključak se može potkrepiti i analizom klasterovanja proizvoljnog broja primera na brojnoj osi. Naime, ako su primeri koje treba klasterovati brojevi ravnomerno raspoređeni na brojnoj osi onda je očigledno da će poluprečnik jednog jedinstvenog klastera biti dvostruko veći nego poluprečnici dvaju klastera, odnosno trostruko veći nego poluprečnici tri formirana klastera i u opštem slučaju K puta veći nego poluprečnici K formiranih klastera. Ukoliko su brojni primeri neravnomerno raspoređeni, ova zavisnost će po svom trendu ostati ista ali će na mestima većih neravnomernosti prelazak na veći broj klastera biti praćen većim ili manjim smanjenjem poluprečnika klastera. Tipičan oblik funkcije $K=f(R)$ prikazana je na slici 2.



Slika 2: Zavisnost minimalnog broja klastera koji se formira za zadati maksimalni poluprečnik klastera



Slika 3: Obrnuto proporcionalna zavisnost poluprečnika klastera od broja željenih klastera

Na prikazanoj zavisnosti unapred se, sa sigurnošću mogu odrediti samo dve tačke: (R_p, P) i $(R_1, 1)$. R_p i R_1 predstavljaju vrednosti maksimalnih poluprečnika klastera koje se mogu zadati tako da predloženi algoritam klasterovanja sigurno formira P (koliko ima i različitih primera), odnosno samo jedan klaster, respektivno. Vrednost R_1 je jednaka Euklidovoj distanci dvaju najudaljenijih primera u zadatom skupu, dok je vrednost R_p jednaka polovini vrednosti Euklidove distance dvaju najbližih primera u zadatom skupu.

Ako se pretpostavi da maksimalni poluprečnik klastera, R , zavisi obrnuto proporcionalno od zadatog minimalnog broja klastera, K , odnosno da važi:

$$R = \frac{a}{K} + b \tag{6}$$

onda se parametri a i b mogu odrediti na osnovu dvaju poznatih tačaka. Drugim rečima, zamenom vrednosti (R_{i-1}, K_{i-1}) i (K_m, R_m) u relaciju (6) i rešavanjem dobijenog sistema linearnih jednačina po parametrima a i b , dobija se potrebna zavisnost:

$$R_{imax}(K_z) = \frac{K_m}{K_m - K_{i-1}} * \left[R_{i-1} * \left(\frac{K_{i-1}}{K_z} - \frac{K_{i-1}}{K_m} \right) + R_m * \left(1 - \frac{K_{i-1}}{K_z} \right) \right] \quad (7)$$

U algoritmu koji je predložen u ovom radu, u slučaju kada je $K_z \leq 0.2 * P$, inicijalizacija i korekcija maksimalnog poluprečnika klastera se vrše primenom relacije (7), čime se značajno smanjuje broj iteracija potrebnih za pronalaženje rešenja. U suprotnom, kada je $K_z > 0.2 * P$, maksimalni poluprečnik klastera u i-toj iteraciji se dobija linearnom interpolacijom predloženom u radu [4], odnosno važi:

$$R_{imax}(K_z) = \frac{K_m}{K_m - K_{i-1}} * \left[R_{i-1} * \left(1 - \frac{K_z}{K_m} \right) + R_m * \left(\frac{K_z}{K_m} - \frac{K_{i-1}}{K_m} \right) \right] \quad (8)$$

Iterativni postupak se završava kada se za neku vrednost maksimalnog poluprečnika klastera definisanu relacijom (7) odnosno (8), primenom algoritma opisanog u poglavljima 3.1 i 3.2 ovog rada, dobije upravo željeni broj klastera K_z . Treba uočiti da zavisnost između maksimalnog poluprečnika i minimalnog broja klastera nije neprekidna, monotono opadajuća i diferencijabilna funkcija. Ona može imati singularnosti zbog kojih postupak korekcije vrednosti maksimalnog poluprečnika klastera može da uđe u ciklus iz koga ne može da izađe. Zbog toga se u razvijenom algoritmu svaka diskontinualnost funkcije $R=f(K)$ registruje i u slučaju da se ponovi, postupak se prekida. Pod diskontinuitetom funkcije se smatra smanjenje zadatog maksimalnog poluprečnika klastera koje dovede do smanjenja broja formiranih klastera kao i svako njegovo povećanje koje dovede do povećanja broja formiranih klastera. Tačnije rečeno, diskontinuitet se registruje svaki put kada dobijeni broj klastera bude van granica tekućeg segmenta (K_m, K_{i-1}). Iterativni postupak se takođe prekida kad promena zadate vrednosti maksimalnog poluprečnika klastera bude dovoljno mala.

3.4. Heuristička korekcija broja formiranih klastera

U slučaju prekida iterativnog postupka zbog pojave diskontinuiteta funkcije $R=f(K)$, vrši se heuristička korekcija dobijenih klastera. Ukoliko je broj formiranih klastera bio manji od zadate vrednosti K_z , tada se iz klastera sa najvećim poluprečnikom izdvaja primer najudaljeniji od centra koji formira sopstveni dodatni klaster. Ovaj postupak se ponavlja onoliko puta koliko je potrebno za formiranje zadatog broja klastera. U suprotnom, ukoliko je broj formiranih klastera bio veći od zadate vrednosti, određuje se Euklidova distanca između centara svaka dva klastera i identifikuje se par čiji su centri najmanje udaljeni jedan od drugog. Tako identifikovan par formiranih klastera se spaja u jedinstven klaster. I ovaj postupak spajanja prethodno formiranih klastera se ponavlja onoliko puta koliko je potrebno za formiranje zadatog broja klastera K_z .

3.5. Određivanje reprezentativnih primera formiranih klastera

U ovom radu je uvedena premisa da je najbolji reprezent svakog klastera onaj stvarni primer čija je Euklidova distanca od centra posmatranog klastera najmanja. Zato se referentni predstavnik određuje tako što se, primenom relacije (2), izračuna Euklidova distanca svakog primera koji pripada posmatranom klasteru od njegovog centra, a zatim se, kao referentan, identifikuje primer kod koga je ta vrednost najmanja.

4. REZULTATI TESTIRANJA

Metod klasterovanja prikazan u ovom radu je testiran na sledeće tri grupe zadataka:

- P osoba ($P = 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70$ ili 80) opisanih sa po 15 atributa (pol, starost, školska sprema, bračni status, opseg primanja, broj članova domaćinstva i površina stana, kao i deskriptivna obeležja nacionalna pripadnost i veroispovest koja su predstavljena sa po 4 binarna atributa) je grupisano u 2 do $(P-1)$ klastera, formirajući 344 zadatka. Prosečan broj iteracija za pronalaženje traženog broja klastera u ovoj grupi zadataka je bio 5.77.
- 80 osoba opisanih sa 3 do 14 atributa iz prethodne grupe zadataka je grupisano u 2 do 79 klastera, formirajući tako 936 zadatka. Prosečan broj iteracija za rešavanje problema je bio 8.10.
- P kuća, odnosno stambenih zgrada ($P=14, 15, 24$ i 27) definisanih u [5], opisano je pomoću 15 ili 16 atributa (površine elemenata omotača i koeficijenti prolaska toplote kroz te elemente, neto zapremina i opciono starost objekta) i grupisano u 2 do $(P-1)$ klastera, formirajući tako 144 zadatka. Prosečan broj iteracija za pronalaženje traženog broja klastera je bio 4.57.

Prema tome, na ukupno 1424 zadatka grupisanja 10 do 80 primera, opisanih pomoću 3 do 16 atributa i to u 2 do 79 zadatih klastera, razvijeni algoritam je pronalazio rešenje u prosečno 7.18 iteracija. Važno je primetiti da je broj iteracija za formiranje srazmerno manjeg broja klastera primetno manji (u 84 zadatka formiranja 2 do 4 klastera, prosečno je bilo potrebno 4.60 iteracija). Takođe, u zadacima u kojima su primeri imali veći broj atributa bilo je potrebno manje iteracija nego u zadacima u kojima su primeri bili opisani manjim brojem atributa (za rešavanje 488 zadataka u kojima su primeri imali 15 ili 16 atributa bilo je

potrebno prosečno 5.42 iteracija, dok je za rešavanje 936 zadataka u kojima su primeri imali 3 do 14 atributa bilo potrebno prosečno 8.10 iteracija).

U tabelama 1 i 2 je dato poređenje heurističkog grupisanja individualnih kuća i stambenih zgrada u Srbiji i određivanja referentnih objekata sa rezultatima klasterovanja opisanim algoritmom. Prvi način su primenili autori reference [5] koji su objekte grupisali po periodu gradnje tako da su objekti napravljeni do 1960. godine (A, B i C) pripali prvom, oni napravljeni od 1961 do 2012. godine (D, E, F, G) drugom, a nakon 2013. godine (H) trećem klasteru, bez obzira na njihov tip. Referentni objekti u ovom pristupu su odabrani prema kriterijumu najveće brojnosti. Primenom opisanog algoritma objekti su grupisani na osnovu sličnosti njihovih površina i energetskih karakteristika, pa su klasteri formirani pretežno po tipu objekta dok je godina gradnje sekundarna. Naime, u slučaju klasterovanja individualnih kuća, u prvom klasteru se nalaze sve slobodno stojeće kuće (tip 1) i objekat u nizu (tip 2) građen u periodu 1981-1990. godine. U drugom klasteru se nalaze sve kuće u nizu sagrađene do 1980. godine, dok treći klaster čine objekti sa ubedljivo najboljim energetskim karakteristikama, a to su nova slobodno stojeća kuća građena nakon početka 2013. godine i kuća u nizu građena u periodu 1990.-2012. godine. Pri klasterovanju stambenih zgrada, koje po tipu mogu biti: 3 – slobodno stojeće, 4 – lamele, 5 – zgrade u nizu i 6 – soliteri, algoritam je u posebni klaster izdvojio sve solitere bez obzira na godinu njihove gradnje jer se njihove relevantne površine drastično razlikuju u odnosu na sve druge zgrade. Osim toga, u poseban klaster je izdvojena najnovija lamelna zgrada, dok su sve ostale lamele, slobodno stojeće zgrade i zgrade u nizu formirale jedan jedinstven klaster. Referentni individualne kuće i stambene zgrade su određene na način opisan u delu 3.5 ovog rada.

Tabela 1: Klasteri individualnih kuća

Klaster	Ekspertsko grupisanje		Rezultati algoritma	
	Tip	Ref. Kuća	Tip	Ref. Kuća
1	A1, B1, C1, A2, B2, C2	C1	A1, B1, C1, D1, E1, F1, G1, F2	F1
2	D1, E1, F1, G1, D2, E2, F2, G2	E1	A2, B2, C2, D2, E2	C2
3	H1	H1	H1, G2	G2

Tabela 2: Klasteri stambenih zgrada

Klaster	Ekspertsko grupisanje		Rezultati algoritma	
	Tip	Ref. zgrada	Tip	Ref. zgrada
1	A3, B3, C3, B4, C4, A5, B5, C5, C6	C4	A3, B3, C3, D3, E3, F3, G3, H3, B4, C4, D4, E4, F4, G4, A5, B5, C5, D5, E5, F5, G5, H5	F5
2	D3, E3, F3, G3, D4, E4, F4, G4, D5, E5, F5, G5, D6, E6, F6	E5	C6, D6, E6, F6	E6
3	H3, H4, H5	H3	H4	H4

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu su prikazana sledeća metodološka unapređenja algoritma klasterovanja koji je razvijen u [4]: obrnuto proporcionalnom relacijom je modelovana veza između maksimalnog poluprečnika i minimalnog broja klastera, kao kriterijum za svrstavanje primera u neki klaster korišćen je poluprečnik klastera koji nastaje dodavanjem novog primera, izvedena je adekvatna korekcija načina određivanja centra klastera zbog ponavljanja pojedinačnih primera, razvijen je heuristički postupak korekcije broja dobijenih klastera koji se koristi kada algoritam ne uspe da formira zadati broja klastera i definisan je način izbora stvarnih primera koji najbolje reprezentuju svaki formirani klaster.

Rezultati obimnog testiranja pokazuju da je broj iteracija potrebnih za pronalaženje rešenja srazmerno mali. Činjenica da taj broj opada sa povećanjem broja atributa, kao i sa smanjenjem broja zadatih klastera je veoma dobra osobina predloženog algoritma i pogodna je za njegovu praktičnu primenu.

LITERATURA

- [1] Tan, P.N., Steinbach, M., Karpatne A., & Kumar, V. (2019). Introduction to Data Mining, 2nd ed, Pearson Education.
- [2] Janičić, P., & Nikolić, M. (2019). Veštačka inteligencija, Beograd.
- [3] Wu, X., & Kumar, V. (2009). The Top Ten Algorithms in Data Mining, CRC Press.
- [4] Ružić, S., & Bošković, M. (2000) Jedan algoritam klasterovanja, XXVII Međunarodni simpozijum operacionih istraživanja, SYM-OP-IS 2000, str. 33-36.
- [5] Popović, J.M., Ignjatović, D., Radivojević, A., Rajičić, A., Đukanović, Lj., Ignjatović, Č.N., & Nedić, M. (2013). Nacionalna tipologija stambenih zgrada Srbije, Arhitektonski fakultet, Publikum, Beograd.

PREDIKCIJA OBIMA SAOBRAĆAJA KORIŠĆENJEM REGRESIONIH STABALA ODLUČIVANJA

TRAFFIC VOLUME PREDICTION USING REGRESSION DECISION TREES

SLADANA JANKOVIĆ¹, STEFAN ZDRAVKOVIĆ¹, DUŠAN MLADENOVIĆ¹, SNEŽANA MLADENOVIĆ¹, ANA UZELAC¹

¹ Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, s.jankovic@sf.bg.ac.rs

Rezime: Cilj ovog istraživanja je predikcija obima saobraćaja po danima na državnim putevima u Republici Srbiji, korišćenjem tehnike mašinskog učenja. Za obučavanje i testiranje prediktivnih modela korišćen je skup podataka o ukupnom dnevnom saobraćaju koje su generisali izabrani automatski brojači saobraćaja na putevima u Republici Srbiji, u periodu od 2011. do 2018. godine. Na raspoloživom skupu podataka, u softverskom alatu Weka, obučavani su i testirani različiti klasifikacioni i regresioni modeli predikcije, a najbolje rezultate dali su modeli bazirani na regresionim stablima odlučivanja. Najbolji model izabran je upoređivanjem sledećih mera performansi modela: koeficijent korelacije, srednja apsolutna greška, kvadratni koren srednje kvadratne greške, relativna apsolutna greška i kvadratni koren relativne kvadratne greške. Prema svim pomenutim kriterijumima najbolje rezultate pokazao je model baziran na algoritmu M5P. Korišćenjem ovog modela urađena je predikcija dnevnog saobraćaja za 2020. godinu na izabranim mestima brojanja saobraćaja.

Ključne reči: mašinsko učenje, Weka, istraživanje podataka, Big Data analitika, brojanje saobraćaja

Abstract: The aim of this research is to predict the volume of daily traffic on state roads in the Republic of Serbia, using machine learning techniques. For training and testing of predictive models, a data set on the total daily traffic generated by selected automatic traffic counters on the roads in the Republic of Serbia, in the period from 2011 to 2018, was used. On the available data set, in the Weka software tool, different classification and regression predictive models were trained and tested, and the best results were given by models based on regression decision trees. The best model was chosen by comparing the following measures of model performance: correlation coefficient, mean absolute error, root mean squared error, relative absolute error, root relative squared error. According to all the mentioned criteria, the best results were shown by the model based on the M5P algorithm. Using this model, the prediction of daily traffic for 2020 was made at selected traffic counting locations.

Keywords: Machine Learning, Weka, Data Mining, Big Data Analytics, Traffic Counting

1. UVOD

Još od ranih osamdesetih godina prošlog veka istraživači primenjuju različite parametarske i neparametarske metode za predikciju obima saobraćaja (Xu, Kong and Liu 2013). U slučaju male količine raspoloživih podataka i/ili poznate funkcije raspodele podataka preporučuju se parametarske metode, dok se u slučaju velike količine podataka i nepoznate funkcije raspodele podataka preporučuju neparametarske metode. Različiti sistemi za prikupljanje podataka o saobraćajnim tokovima i Big Data tehnologije za skladištenje i obradu prikupljenih podataka, omogućili su ekspanziju primene neparametarskih metoda u ovoj oblasti. U ovom radu istraživane su mogućnosti primene jedne od neparametarskih metoda predikcije (nadgledanog mašinskog učenja) za predviđanje obima saobraćaja.

Stabla odlučivanja su jedna od najpopularnijih klasa algoritama nadgledanog mašinskog učenja, koji se najčešće koriste za klasifikaciju, ali se mogu koristiti i za regresionu analizu. Model predikcije, baziran na bilo kom algoritmu iz ove klase, predviđa izlaznu vrednost na osnovu ulaznih vrednosti nekoliko parametara. Ulazne vrednosti, kao i izlazne, mogu biti kategoričkog ili kontinualnog tipa. Prema tipu izlazne vrednosti stabla odlučivanja dele se na klasifikaciona i regresiona stabla. Kod klasifikacionih stabala izlazna promenljiva je kategoričkog tipa, dok je kod regresionih stabala izlazna promenljiva kontinualnog tipa.

U ovom istraživanju cilj je bio da se, na raspoloživom skupu podataka o dnevnom protoku vozila na državnim putevima u Republici Srbiji, obuče i testiraju prediktivni modeli mašinskog učenja i izvrši

predikcija obima dnevnog saobraćaja za izabrani vremenski period u budućnosti. Imajući u vidu raspoloživu količinu podataka, prirodu definisanog problema i tehniku koja je izabrana za njegovo rešavanje, ovaj zadatak može se svrstati u zadatke *Big Data* analitike. U softverskom alatu *Weka* kreirani su različiti klasifikacioni i regresioni modeli, ali su najbolje performanse pokazali modeli bazirani na regresionim stablima odlučivanja.

Osnovne osobine modela mašinskog učenja baziranih na stablima odlučivanja predstavljene su u drugoj sekciji rada. U trećoj sekciji opisana je studija slučaja u okviru koje je izvršena predikcija obima saobraćaja po danima za 2020. godinu, korišćenjem regresionih stabala odlučivanja. Najznačajniji rezultati studije slučaja predstavljeni su u četvrtoj sekciji rada, dok poslednja sekcija sadrži zaključna razmatranja.

2. MODEL STABLA ODLUČIVANJA

Stabla odlučivanja su popularan pristup zbog svoje sistematske strukture koja je razumljiva za ljude. Učenje stabala odlučivanja je metoda aproksimacije diskretnih ciljnih funkcija kod koje se naučena funkcija predstavlja u vidu stabla, gde svakom čvoru stabla odgovara test nekog atributa instance, grane koje izlaze iz čvora različitim vrednostima tog atributa, a listovima odgovaraju vrednosti ciljne funkcije. Instance posmatrane pojave su opisane vrednostima svojih atributa. Postupak klasifikacije vrši se polazeći od korena, potom spuštajući se niz granu koja odgovara vrednosti testiranog atributa instance koju klasifikujemo i kada se dođe do lista, klasa se dodeljuje instanci. Listovi stabla su čvorovi odgovora, dok se ostali nazivaju čvorovima odluke. U stablima odlučivanja, svaki unutrašnji čvor deli ulazne podatke (instance) na dva ili više podprostora prema određenim diskretnim funkcijama ulaznih vrednosti atributa.

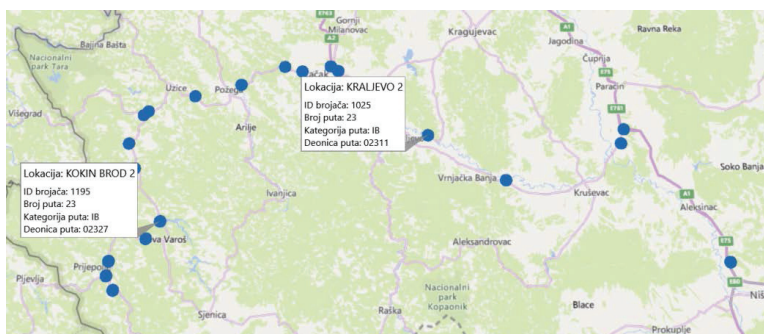
Osnovni algoritam konstrukcije stabla odlučivanja star je nekoliko decenija, a razvio ga je John Ross Quinlan (Quinlan 1986). Prva verzija algoritma poznata je pod nazivom *ID3* (eng. *Iterative Dichotomiser 3*), dok su kasnije verzije algoritma uklanjale neka od ograničenja izvornog algoritma, i poboljšavale klasifikacione performanse. Quinlan (1993) kreirao je *M5* algoritam za učenje stabla odlučivanja kada je zavisna varijabla kontinualnog tipa. Ovaj algoritam omogućava da svaki list stabla odlučivanja bude jedna linearna regresiona funkcija. Wang and Witten (1996) unapredili su *M5* algoritam i *CART* (*Classification and Regression Trees*) sistem (Breiman *et al.* 1984), a unapređeni algoritam nazvali su *M5'* model stabla. *M5'* model stabla implementiran je u softverskom alatu *Weka* pod nazivom *M5P* (Witten *et al.* 2017) i u ovom istraživanju imaće značajnu ulogu.

3. STUDIJA SLUČAJA

Studija slučaja realizovana je na skupu podataka izvedenom iz podataka koje su generisali izabrani automatski brojači saobraćaja, na državnim putevima I kategorije u Srbiji, u periodu od 1.1.2011. do 31.12.2018. godine. Izabrani brojači saobraćaja (njih ukupno 21) raspoređeni su na sledećim putevima:

- put broj 1, IA kategorije (državna granica sa Mađarskom: granični prelaz Horgoš - Novi Sad - Beograd - Niš - Vranje - državna granica sa Makedonijom: granični prelaz Preševo),
- put broj 22, IB kategorije (Beograd - Ljig - Gornji Milanovac - Preljina - Kraljevo - Raška - Novi Pazar - Ribariće - državna granica sa Crnom Gorom: granični prelaz Mehov Krš),
- put broj 23, IB kategorije (Pojate - Kruševac - Kraljevo - Preljina - Čačak - Požega - Užice - Čajetina - Nova Varoš - Prijepolje - državna granica sa Crnom Gorom: granični prelaz Gostun) i
- put broj 46, IB kategorije (Ravni Gaj - Knić - Mrčajevci).

Geografske lokacije brojača saobraćaja, čiji su podaci korišćeni u studiji slučaja, prikazane su plavim kružicama na slici 1.



Slika 1: Geografske lokacije brojača saobraćaja čiji su podaci korišćeni u studiji slučaja

Skup podataka korišćen u studiji slučaja sadrži podatke o ukupnom broju vozila koje na dnevnom nivou registruje svaki izabrani brojač saobraćaja. Instance inicijalnog raspoloživog skupa podataka opisane su sledećim atributima: *ID brojača*, *datum*, *dan u nedelji* i *broj vozila*. Cilj studije slučaja bio je da se na raspoloživom skupu podataka kreiraju modeli mašinskog učenja za predikciju obima saobraćaja po danima, na svakom brojačkom mestu, za 2020. godinu. Kao ciljna (zavisna) varijabla izabran je atribut *broj vozila*. Umesto atributa *datum* u konačnom skupu podataka generisana su tri nova atributa: *dan*, *mesec* i *godina*. Ovo je urađeno kako bi prediktivni modeli mogli da obuhvate pojedinačne uticaje svakog od tih atributa na vrednost ciljne varijable. Kao skup podataka za obučavanje modela izabrane su instance koje se odnose na period od 2011-2015. godine, dok su instance koje se odnose na period od 2016-2018. godine korišćene za testiranje obučanih modela mašinskog učenja. Skup podataka za trening sastojao se od 37616 instanci, dok je skup za testiranje sadržao 22818 instanci.

4. REZULTATI

Obučavanje, validacija i testiranje modela mašinskog učenja obavljani su u *data mining* softverskom alatu *Weka* (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*). Ovaj softver predstavlja kolekciju algoritama mašinskog učenja koji se koriste u poslovima otkrivanja zakonitosti u podacima. Na skupu podataka za trening, u softverskom alatu *Weka*, primenjeno je sledećih sedam algoritama mašinskog učenja: *Linear Regression*, *Multilayer Perceptron*, *IBk* (*k-Nearest Neighbors*), *M5P*, *Random Forest*, *Random Tree* i *REPTree*. Za validaciju modela primenjena je unakrsna validacija (*10-fold cross validation*), implementirana u softveru *Weka*. Modeli bazirani na algoritmima *Linear Regression* i *Multilayer Perceptron* odbačeni su zbog nesumnjivo nezadovoljavajućih performansi (kod njih je zabeležen koeficijent korelacije 0.2364 i 0.2256, respektivno). Performanse preostalih pet modela predikcije prikazane su u tabeli 1. Na osnovu podataka prikazanih u tabeli 1 lako se uočava da su modeli bazirani na algoritmima tipa stablo odlučivanja (*M5P*, *Random Forest*, *Random Tree* i *REPTree*) superiorni u odnosu na algoritam *IBk* (*k-najbližih suseda*). U ovoj fazi istraživanja, zbog najboljih performansi, za predikciju obima saobraćaja nametnuli su se modeli bazirani na stablima odlučivanja. S obzirom na to da je ciljna varijabla numeričkog tipa, u pitanju su regresiona stabla odlučivanja.

Tabela 1: Performanse pet najboljih modela predikcije merene na skupu podataka za trening

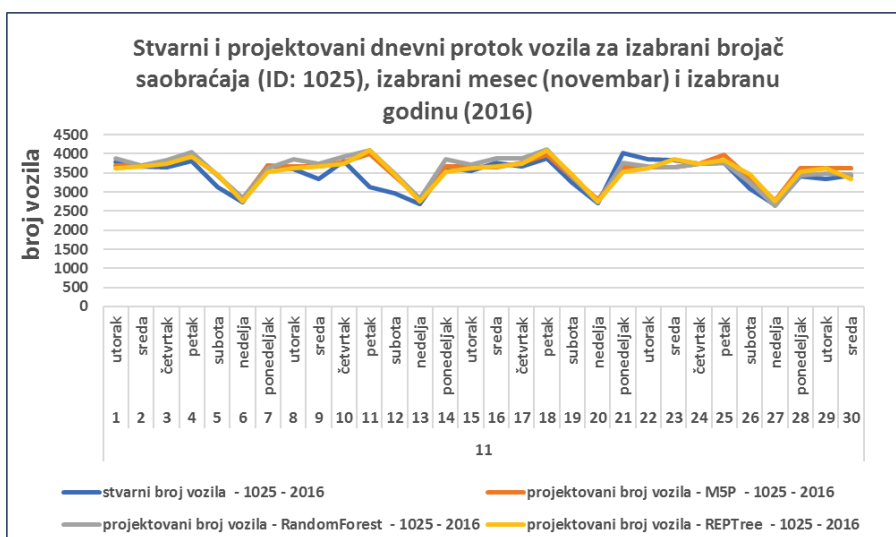
Algoritam	Koeficijent korelacije	Srednja apsolutna greška	Kvadratni koren srednje kvadratne greške	Relativna apsolutna greška (%)	Kvadratni koren relativne kvadratne greške (%)
<i>IBk</i>	0.6287	2615.4468	3092.3207	84.2493	78.0204
<i>M5P</i>	0.9778	505.5362	832.2666	16.2844	20.9984
<i>Random Forest</i>	0.9752	532.6613	877.7513	17.1582	22.1460
<i>Random Tree</i>	0.9578	666.1694	1153.0679	21.4588	29.0923
<i>REPTree</i>	0.9732	559.2707	912.5619	18.0153	23.0243

Da bi se odredilo koji model najbolje odgovara postavljenom zadatku, potrebno je izvršiti evaluaciju modela. Da bi se dobila objektivna procena performansi modela, evaluaciju, tj. izračunavanje metrika njihovih performansi, neophodno je sprovesti nad novim, do tog trenutka nedirnutim skupom podataka. Takav skup podataka naziva se skupom podataka za testiranje. Performanse modela koji su u prethodnoj fazi izabrani kao najbolji (modeli bazirani na stablima odlučivanja), merene na skupu podataka za testiranje, prikazane su u tabeli 2. Na osnovu svih izračunatih metrika performansi, modeli bazirani na algoritmima *M5P*, *Random Forest* i *REPTree* izdvojili su se kao bolji u odnosu na model baziran na algoritmu *Random Tree*.

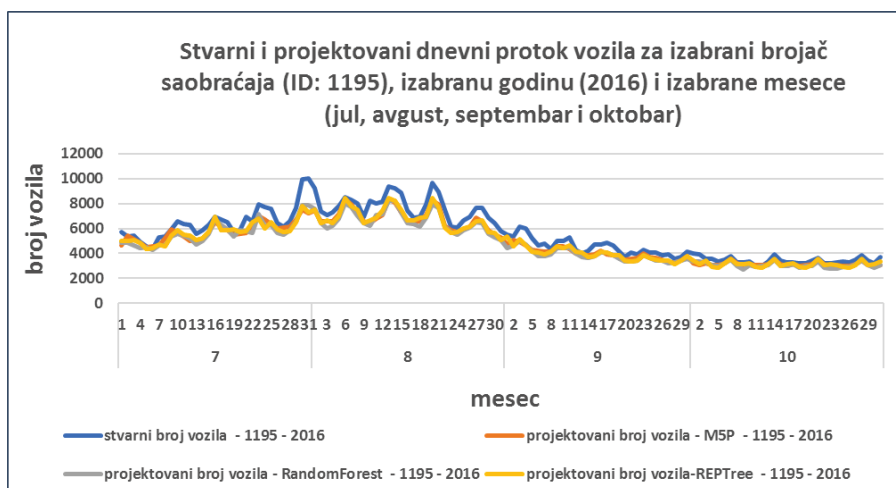
Tabela 2: Performanse izabranih modela predikcije merene na skupu podataka za testiranje

Algoritam	Koeficijent korelacije	Srednja apsolutna greška	Kvadratni koren srednje kvadratne greške	Relativna apsolutna greška (%)	Kvadratni koren relativne kvadratne greške (%)
<i>M5P</i>	0.9756	1279.0156	1738.7847	35.0184	35.6941
<i>Random Forest</i>	0.9657	1371.4177	1863.3353	37.5482	38.2509
<i>Random Tree</i>	0.9488	1465.0600	2043.0803	40.1121	41.9407
<i>REPTree</i>	0.9717	1299.6219	1760.8794	35.5825	36.1477

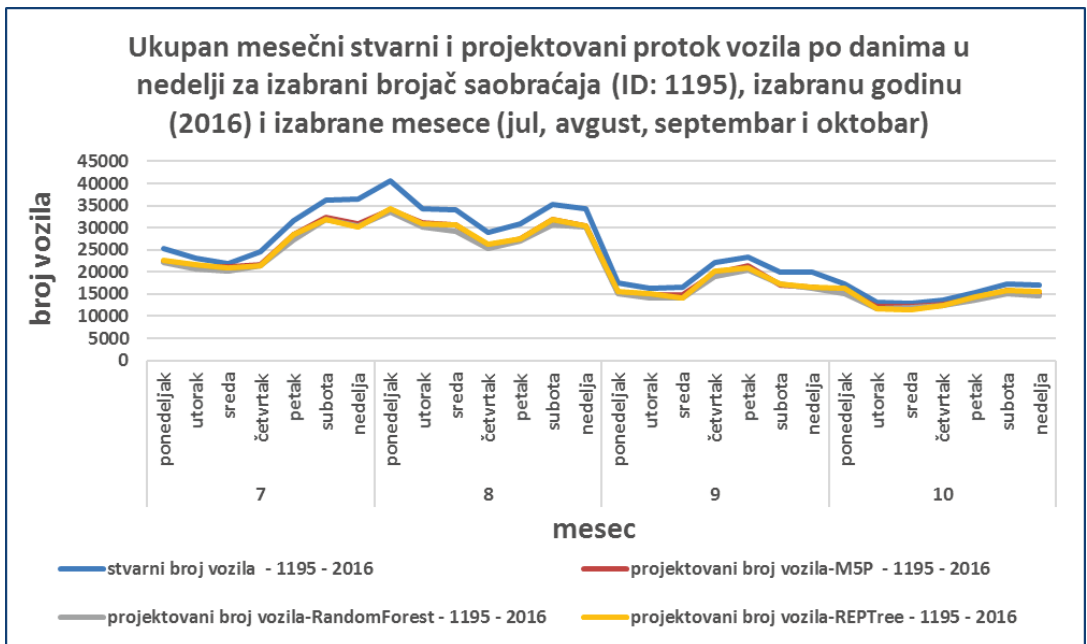
Radi boljeg sagledavanja i upoređivanja rezultata tri najbolja modela predikcije, izvršena je vizuelizacija rezultata predikcije dobijene primenom ova tri modela na skupu podataka za testiranje. Na slici 2 prikazan je, kao primer, odnos stvarnog dnevnog broja vozila koja je registrovao brojač sa oznakom 1025, u novembru mesecu 2016. godine, i projektovanog broja vozila dobijenog primenom tri najbolja modela predikcije (za isti brojač u istom vremenskom periodu). Na slici 3 prikazan je stvarni i projektovani dnevni protok vozila na brojačkom mestu 1195 u julu, avgustu, septembru i oktobru 2016. godine, a na slici 4 ukupan mesečni stvarni i projektovani protok vozila po danima u nedelji, na istom brojačkom mestu i u istom vremenskom periodu. Geografske lokacije brojača sa oznakama 1025 i 1195, kao i detalji o ovim brojačkim mestima, mogu se videti na slici 1. Na slikama 2, 3 i 4 može se uočiti da se linije koje označavaju predikcije pomoću algoritama *M5P* i *REPTree* (crvena i žuta linija) gotovo preklapaju i nešto manje odstupaju od linije stvarnih vrednosti, u poređenju sa linijom predikcije pomoću algoritma *Random Forest* (siva linija). Osim toga, performanse ova dva modela nešto su bolje od performansi modela baziranog na algoritmu *Random Forest* (tabela 2). Na kraju, poređenjem performansi modela baziranog na algoritmu *M5P* i modela baziranog na algoritmu *REPTree*, uočava se da je prema svim merama performansi algoritam *M5P* u blagoj prednosti (tabela 2). Na taj način, kao najbolji model, uz pomoć koga će se vršiti predikcija obima saobraćaja u budućnosti, izabran je model baziran na algoritmu *M5P*.



Slika 2: Stvarni i projektovani dnevni protok vozila na brojačkom mestu 1025 u novembru mesecu 2016.

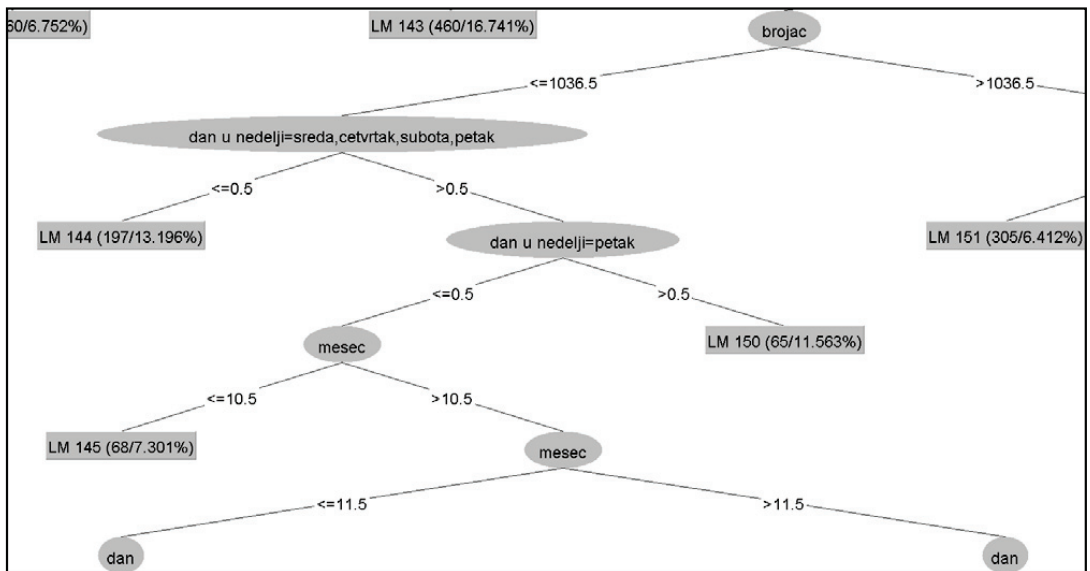


Slika 3: Stvarni i projektovani dnevni protok vozila na brojačkom mestu 1195 u julu, avgustu, septembru i oktobru 2016. godine



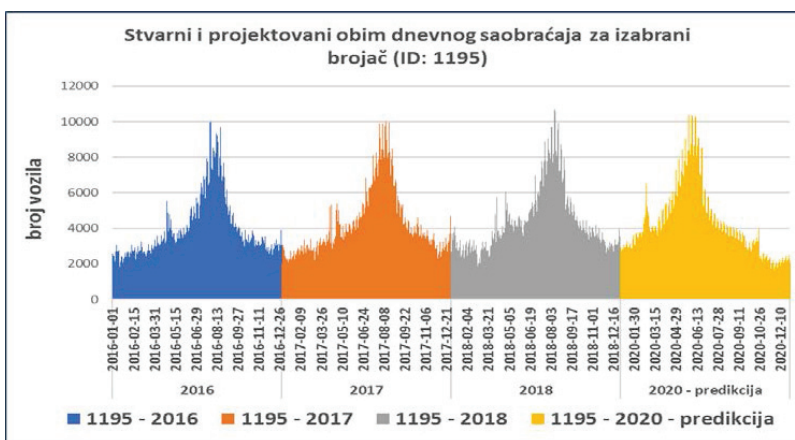
Slika 4: Ukupan mesečni stvarni i projektovani protok vozila po danima u nedelji na brojačkom mestu 1195 u julu, avgustu, septembru i oktobru 2016. godine

Na slici 5 prikazan je deo grafičke prezentacije stabla odlučivanja iz programskog alata *Weka*, modela predikcije baziranog na algoritmu *M5P*, koji je izabran kao najbolji. Svaki list u ovom stablu odlučivanja je jedan linearni model kojim se za jedan određeni prolazak kroz stablo odlučivanja, od korena do lista, izračunava vrednost ciljne promenljive (broj vozila). Ukupan broj listova, odnosno linearnih modela u ovom stablu odlučivanja je 417.



Slika 5: Deo stabla odlučivanja modela baziranog na algoritmu *M5P* u softverskom alatu *Weka*

Na slici 6 prikazani su stvarni dnevni protoci vozila u 2016, 2017 i 2018. godini i projektovani dnevni protok vozila za 2020. godinu, na brojačkom mestu 1195. Prikazana projekcija za 2020. godinu dobijena je primenom modela mašinskog učenja baziranog na algoritmu *M5P*.



Slika 6: Stvarni dnevni protok vozila u 2016, 2017 i 2018. godini i projektovani dnevni protok vozila za 2020. godinu na brojačkom mestu 1195

5. ZAKLJUČAK

U sprovedenoj studiji slučaja obučavani su prediktivni modeli bazirani na regresionim algoritmima, i to: *Linear Regression*, *Multilayer Perceptron*, *IBk (k-Nearest Neighbors)*, *M5P*, *Random Forest*, *Random Tree* i *REPTree*. Na skupu podataka za trening, modeli bazirani na regresionim stablima odlučivanja pokazali su značajno bolje performanse od ostalih modela. Stoga su na skupu podataka za testiranje testirani samo ovi modeli. Među testiranim modelima najbolje rezultate dao je model baziran na algoritmu *M5P*, tako da je predikcija dnevnog obima saobraćaja izvršena korišćenjem ovog modela.

Kao najznačajnija prednost stabala odlučivanja, osim što su primenljiva i na regresione i na klasifikacione probleme, izdvaja se visoka interpretabilnost. Ona se ogleda u tome što stablo vrlo lako možemo vizuelizovati, da bismo analizirali proces predviđanja. Druga značajna prednost ove klase algoritama je jednostavna priprema podataka za obučavanje i testiranje modela. Ovi algoritmi omogućavaju rad sa atributima skoro svih tipova: binarnim, nominalnim, numeričkim, datumskim, kao i sa nedostajućim vrednostima, tako da nije potrebna standardizacija i normalizacija podataka.

Vizuelizacija stvarnog i projektovanog obima saobraćaja pokazuje različite tipove neravnomernosti ukupnog dnevnog saobraćaja na godišnjem nivou, na različitim brojačkim mestima. To ukazuje da bi u budućim istraživanjima na istom skupu podataka bilo svrsishodno primeniti još jednu tehniku mašinskog učenja – klasterovanje. Očekivani rezultati klasterovanja bili bi klasteri brojačkih mesta sa nekim zajedničkim osobinama dnevnog protoka vozila.

Zahvalnica

Ovaj rad delimično je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, u okviru projekta pod brojem 036012.

LITERATURA

- [1] Breiman, L., Friedman, J., Olshen, R., & Stone, C. (1984). *Classification and Regression Trees*. Belmont, California: Wadsworth.
- [2] Quinlan, J.R. (1986). Induction of decision trees. *Machine Learning* 1, 81–106.
- [3] Quinlan, J.R. (1992). Learning with Continuous Classes. *Proceedings of Australian Joint Conference on Artificial Intelligence*, Hobart, Australia, 343-348.
- [4] Wang, Y. & Witten, I. H. (1996). Induction of model trees for predicting continuous classes. *Working Paper 96/23*. Hamilton, New Zealand: The University of Waikato.
- [5] Witten, I. H., Frank, E., Hall, M. A. & Pal, C. J. (2017). *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. (4th ed.). Burlington, USA: Morgan Kaufmann.
- [6] Xu, Y., Kong, Q. & Liu, Y. (2013). Short-term traffic volume prediction using classification and regression trees. *Proceedings of the 2013 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, Gold Coast, Australia, 493-498.

PREDIKCIJA ČASOVNOG PROTOKA VOZILA KORIŠĆENJEM METODA BIG DATA ANALITIKE

HOURLY FLOW PREDICTION OF TRAFFIC USING METHODS OF BIG DATA ANALYTICS

ANA UZELAC¹, STEFAN ZDRAVKOVIĆ¹, SLAĐANA JANKOVIĆ¹, DUŠAN MLADENOVIĆ¹, IVANA ANDRIJANIĆ²

¹ Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, ana.uzelac@sf.bg.ac.rs

² Javno preduzeće „Putevi Srbije“, Beograd

Rezime: Cilj ovog istraživanja je da ispita mogućnosti primene različitih metoda Big Data analitike s ciljem predikcije časovnog protoka vozila. Za obučavanje i testiranje prediktivnih modela korišćen je skup podataka o broju vozila za svaki sat za oba smera na odabranoj lokaciji. Skup podataka sadrži merenja koja su vršena u periodu od 2011. do 2018. godine. Merenja su generisali automatski brojači saobraćaja koji su locirani na putevima u Republici Srbiji. Na raspoloživom skupu podataka, u softverskom alatu Weka, obučavani su i testirani različiti regresioni modeli predikcije, a najbolje rezultate dali su modeli bazirani na Lazy lbc, Random forest, Random Committee i Random Tree algoritmima. Najbolji modeli su izabrani upoređivanjem sledećih mera performansi modela: koeficijent korelacije, srednja apsolutna greška i kvadratni koren srednje kvadratne greške. Zatim su dati modeli testirani na novom testnom skupu podataka koristeći iste metrike kao u slučaju izbora modela, a najbolje performanse je pokazao Lazy lbc algoritam. Grafici predviđenih i stvarnih vrednosti generisani su korišćenjem biblioteka za vizuelizaciju podataka u programskom jeziku Python. Korišćenjem najboljeg modela urađena je predikcija saobraćaja za oba smera svakog sata za celu 2020. godinu na odabranoj lokaciji.

Ključne reči: Big Data analitika, mašinsko učenje, Python, Weka, predikcija saobraćaja

Abstract: The aim of this research is to explore possibilities to use different methods of Big Data analytics with the aim to predict hourly flow of traffic. In order to train and test predictive models, a traffic volume dataset that contains data related to the traffic amount for each hour for both directions at one selected location was used. The dataset contains measurements that were obtained during the period between 2011 and 2018. The measurements were generated by automatic traffic meters located on the roads in the Republic of Serbia. We have trained and tested different prediction regression models on the available dataset using Weka software tool. The best results were obtained by models based on Lazy lbc, Random forest, Random Committee and Random Tree algorithms. The best models were selected by comparing the following measures of model performance: correlation coefficient, mean absolute error, and root mean squared error. The obtained models were tested on the new test dataset using the same metrics as in the case of model selection, and the best performance was obtained by Lazy lbc algorithm. The plots that show predicted and actual values were generated using Python's data visualization libraries. Using the best model, a traffic prediction for each hour for both directions for the whole 2020 year at the selected location was made.

Keywords: Big Data analytics, Machine learning, Python, Weka, Traffic prediction

1. UVOD

Predviđanje saobraćajnog toka postalo je jedan od glavnih zadataka u oblasti pametnih transportnih sistema (Lippi et al., 2013). Poslednjih godina statističke metode, veštačka inteligencija i tehnike rudarenja podataka se sve više koriste za analizu podataka u drumskom saobraćaju i predviđanje budućih pokazatelja saobraćaja (Aqib et al., 2019). Dosadašnja istraživanja ukazuju na to da ne postoji jedinstvena tehnologija koja obuhvata analizu velikog skupa podataka. Stoga je neophodno u zavisnosti od strukture i obima podataka primeniti odgovarajuću tehnologiju kako bi se prikupljeni podaci najbolje iskoristili. Senzori i brojači saobraćaja generišu veliku količinu podataka o protoku saobraćaja, čijom se obradom mogu dobiti značajne informacije za podršku i unapređenje kontrole saobraćaja. Kong et al. (2019) su razvili novi pristup u predviđanju

saobraćaja koji je zasnovan na tehnici mašinskog učenja. Oni smatraju da Big data u saobraćaju pruža odgovarajući obim uzorka na koji je pogodno primeniti ovu tehniku. U sprovedenom istraživanju Alam et al. (2019) razvili su model previđanja saobraćaja zasnovan na primeni LSTM algoritma mašinskog učenja. Pored široke primene vremenskih serija u proceni saobraćaja (Salamanis et al., 2015), u literaturi postoje različiti pristupi u predikciji saobraćaja zasnovani na algoritmima mašinskog učenja kao što su SVR, Random Forest i neuronske mreže (Bratsas et al., 2020). Na neometano odvijanje saobraćajnog toka utiče veliki broj faktora koji se mogu kategorisati u četiri grupe: obrasci aktivnosti koji utiču na dnevni obim saobraćaja, anomalije obrazaca aktivnosti, vremenski uslovi, vreme praznika i odmora (Xie et al., 2020). Pored izbora odgovarajućih metoda za obradu podataka, uzimanje ovih faktora u razmatranje je veoma važno za predikciju saobraćaja. Fokus ovog rada predstavlja istraživanje mogućnosti primene različitih algoritama mašinskog učenja, kao jednu od tehnika Big Data analitike, s ciljem predikcije obima saobraćaja u različitim delovima dana. S obzirom na potrebu obrade i analize velike količine saobraćajnih podataka, autori su se opredelili za poređenje i analizu primene različitih regresionih algoritama mašinskog učenja.

2. STUDIJA SLUČAJA

Studija slučaja zasnovana je na skupu podataka koji su generisali izabrani automatski brojači saobraćaja, na državnim putevima I kategorije u Srbiji, u periodu od 1.1.2011. do 31.12.2018. godine. Rad je zasnovan na skupu podataka koji je generisao jedan od brojača koji nosi oznaku 1046. Izabrani brojač (1046) se nalazi na putu broj 23, IB kategorije (Pojate - Kruševac - Kraljevo - Preljina - Čačak - Požega - Užice - Čajetina - Nova Varoš - Prijepolje - državna granica sa Crnom Gorom: granični prelaz Gostun), a lociran je u mestu Vodice.

Skup podataka korišćen u studiji slučaja sadrži podatke o broju vozila posebno za svaki smer koje je svakog sata registrovao izabrani brojač saobraćaja. Dati brojač je za period od 8 godina generisao skup podataka koji se sastoji od ukupno 140.256 instanci, a svaka instanca je opisana sledećim atributima: *datum*, *dan u nedelji*, *sat*, *smer* i *broj vozila*. Cilj studije slučaja bio je da se na raspoloživom skupu podataka kreiraju modeli mašinskog učenja za predikciju broja vozila na izabranom brojačkom mestu, po smerovima za svaki sat. Kao ciljna (zavisna) varijabla izabran je atribut *broj vozila*. Kao skup podataka za obučavanje modela izabrane su instance koje se odnose na period od 2011.-2015. godine, dok su instance koje se odnose na period od 2016.-2018. godine korišćene za evaluaciju napravljenog modela mašinskog učenja. Tako je skup podataka za trening sadržao 87.648 instanci, dok je skup za testiranje sadržao 52.608 instanci.

3. METODOLOGIJA

U prvom delu ovog istraživanja je izvršena priprema podataka s ciljem da se naprave datoteke koji bi bile pogodne za Big Data analizu. Od izvornih datoteka do datoteka koje su spremne za primenu različitih algoritama mašinskog učenja se došlo korišćenjem makroa za Excel napisanih u VBA (Visual Basic for Applications) i programa napisanih u programskom jeziku Python.

Generisan je skup podataka za učenje koji se sastoji od je 87.648 instanci. Cilj je bio da se projektuje atribut broj vozila. Pošto je projektovani atribut numeričkog tipa, na njega su primenjeni svi regresioni algoritmi za mašinsko učenje koji su dostupni u softverskom alatu *Weka*. Modeli su trenirani i ocenjeni 10-strukom unakrsnom validacijom na trening skupu, a potom su najbolji od njih dodatno ocenjeni na testnom skupu podataka.

3.1. Opis metode

S obzirom na to da je raspoloživi skup podataka bio označen, u istraživanju su korišćene metode nadgledanog mašinskog učenja. Labelle (klase, zavisne varijable), čije vrednosti je trebalo projektovati, su bile numeričke, shodno tome korišćene su metode mašinskog učenja koje su zasnovane na regresionim algoritmima, kao što su: linearna regresija, regresiono drvo, neuronske mreže, itd. Evaluacija svih modela je rađena korišćenjem 10-struke unakrsne validacije. Nakon toga je izabran najbolji model i evaluiran na novom skupu podataka koji do tada nije korišćen – skupu podataka za testiranje. Uspeh predikcije je meren korišćenjem sledećih metrika: koeficijent korelacije (1), srednja apsolutna greška (5) i srednja kvadratna greška (6). Ukupan broj instanci za testiranje je n ; projektovane vrednosti na testnim instancama su p_1, p_2, \dots, p_n ; stvarne vrednosti su a_1, a_2, \dots, a_n ; \bar{p} i \bar{a} su srednje vrednosti projektovanih, odnosno stvarnih vrednosti.

$$\text{koeficijent korelacije} = \frac{S_{PA}}{\sqrt{S_P S_A}} \quad (1)$$

Gde je

$$S_{PA} = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})(a_i - \bar{a})}{n-1}, \quad (2)$$

$$S_P = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2}{n-1}, \quad (3)$$

$$S_A = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2}{n-1} \quad (4)$$

$$\text{srednja apsolutna greška} = \frac{|p_1 - a_1| + \dots + |p_n - a_n|}{n} \quad (5)$$

$$\text{srednja kvadratna greška} = \frac{(p_1 - a_1)^2 + \dots + (p_n - a_n)^2}{n} \quad (6)$$

Najbolji model odabran je korišćenjem različitih kriterijuma: performanse, robustnost (utvrđivanje da li model ima zadovoljavajuće performanse po različitim metrikama), konzistentnost (ispitivanje performansi na skupu podataka za učenje) i utvrđivanje da li model rešava početni problem.

4. REZULTATI

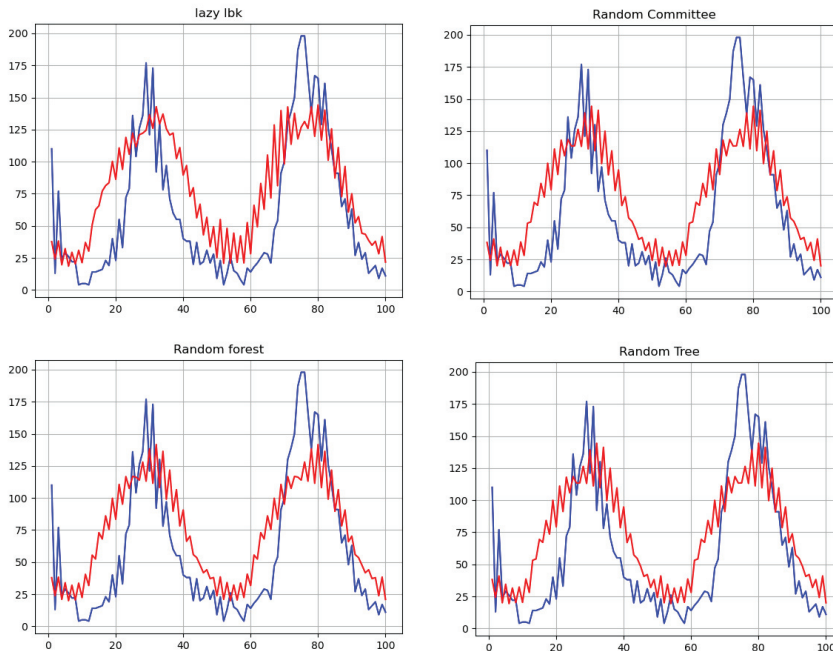
Obučavanje, validacija i testiranje modela mašinskog učenja obavljani su u *data mining* softverskom alatu *Weka* (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*). Ovaj softver predstavlja skup algoritama mašinskog učenja koji se koriste za otkrivanje zakonitosti u podacima. Na skupu podataka za treniranje, u datom softverskom alatu, primenjeni su svi dostupni regresioni algoritmi mašinskog učenja (ciljna varijabla je numeričkog tipa). Za validaciju modela primenjena je unakrsna validacija (*10-fold cross validation*), implementirana u datom softveru. Od svih testiranih algoritama, samo su četiri algoritma dala dobre rezultate.

Performanse četiri najbolja algoritma mašinskog učenja, primenjena na skupu podataka za učenje, korišćenjem 10-struke unakrsne validacije, prikazane su u Tabeli 1.

Tabela 1: Performanse najboljih modela mašinskog učenja primenjenih na skupu podataka za učenje

Algoritam za mašinsko učenje	Lazy lbk	Random Committee	Random Forest	Random Tree
Koeficijent korelacije	0,9424	0,9413	0,954	0,9259
Srednja apsolutna greška	13,4235	13.1908	11,7609	14,9551
Srednja kvadratna greška	19,1172	19.1248	16,9391	21,6507

Za svaki od napravljenih modela je prikazan projektovani i stvarni broj vozila po satu pojedinačno za svaki smer za prvih 100 instanci (Slika 1). Vizuelizacija je rađena korišćenjem programskog jezika Python. Plavom bojom su predstavljene stvarne vrednosti, a crvenom projektovane. Zbog preglednosti grafikona prikazano je samo prvih 100 instanci. Možemo primetiti da sva četiri modela daju dosta približna predviđanja i da su razlike u tačnosti minimalne.



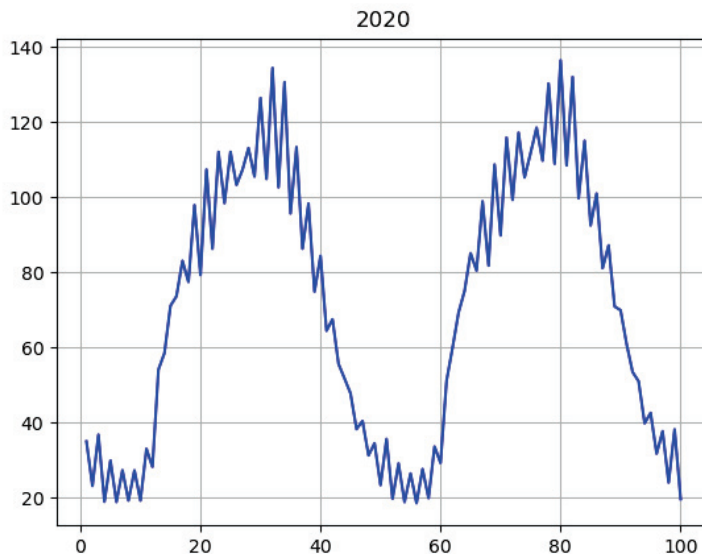
Slika 1: Stvarni i projektovani broj vozila po satu za oba smera na brojačkom mestu 1046 za četiri najbolja algoritma (prikazano prvih 100 instanci koji se odnose na skup podataka za trening)

Za određivanje modela koji najbolje rešava postavljeni problem, izvršena je evaluacija ova četiri modela. Sva četiri modela rešavaju zadati problem, i performanse su približno iste. Najbolji koeficijent korelacije na skupu podataka za učenje ima Random Forest algoritam. Kako bi se ostvarila što objektivnija procena performansi modela, evaluacija je sprovedena i nad novim, nepoznatim skupom podataka – skupom podataka za testiranje. Evaluacija je vršena korišćenjem istih metrika kao prilikom izgradnje modela. Performanse izabranih modela mašinskog učenja izgrađenih na skupu podataka za testiranje prikazane su u Tabeli 2. Iz tabele se može videti da je model baziran na Lazy lbk algoritmu pokazao malo bolje performanse (ima veći koeficijent korelacije, ali istovremeno i manju srednju apsolutnu i srednju kvadratnu grešku) od ostalih modela. Zato je izabran ovaj model kao najbolji.

Tabela 2: Performanse izabranih modela mašinskog učenja izgrađenih na skupu podataka za testiranje

Algoritam za mašinsko učenje	Lazy lbk	Random Committee	Random Forest	Random Tree
Koeficijent korelacije	0,7270	0,7025	0,7018	0.7025
Srednja apsolutna greška	31,7978	32,7818	32,8781	32,7818
Srednja kvadratna greška	50,8012	52,3746	52,5327	52,3746

Korišćenjem modela koji je zasnovan na Lazy lbk algoritmu, urađena je i predikcija za broj vozila po smerovima na odabranoj lokaciji za svaki sat svakog dana u 2020. godini. Prvih 100 projektovanih vrednosti su vizuelizovane korišćenjem programskog jezika Python i prikazane su na slici 2.



Slika 2: Projektovani protok vozila po satu za oba smera u 2020. godini za brojač 1046, prikaz prvih 100 instanci

5. ZAKLJUČAK

U sprovedenoj studiji slučaja obučavani su prediktivni modeli bazirani na regresionim algoritmima, i to: *Lazy Ibk (k-Nearest Neighbors)*, *Random Forest*, *Random Tree* i *Random Committee*. Na skupu podataka za treniranje, svi algoritmi su imali približne performanse, s tim da je *Random Forest* algoritam bio za nijansu bolji od ostala tri. U procesu evaluacije modela na testnom skupu korišćenje istih metrika je opet pokazalo da su modeli priližno sličnih performansi, ali je ovog puta model zasnovan na algoritmu *Lazy Ibk* pokazao rezultate koji su malo bolji od ostalih.

Vizuelizacija stvarnog i projektovanog obima saobraćaja pokazuje da je broj vozila prilično neravnomeran na dnevnom nivou. To govori u prilog tome da bi se u budućim istraživanjima moglo primeniti klasterovanje kojim bi bili izdvojeni delovi dana koji predstavljaju vršna opterećenja sa najvećim brojem vozila nasuprot onim delovima dana kada je protok vozila mali.

Dobijeni rezultat se poklapa sa rezultatima drugog istraživanja iste grupe koautora u kojem je analiziran ukupan dnevni protok vozila. Jedan od pravaca budućeg istraživanja bi mogao da bude objedinjavanje rezultata dobijenih u ova dva istraživanja s ciljem dobijanja preciznije i potpunije slike o protoku saobraćaja na posmatranim lokacijama u različitim delovima dana s ciljem da se unapred detektuju dani i delovi dana kada se očekuje povećan intenzitet saobraćaja.

ZAHVALNICA

Ovaj rad delimično je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, u okviru projekta pod brojem 036012.

LITERATURA

- [1] Aqib, M., Mehmood, R., Alzahrani, A., Katib, I., Albeshri, A., & Altowaijri, S. M. (2019). Smarter traffic prediction using big data, in-memory computing, deep learning and gpus. In *Sensors (Switzerland)* (Vol. 19, Issue 9). <https://doi.org/10.3390/s19092206>
- [2] Bratsas, C., Koupidis, K., Salanova, J. M., Giannakopoulos, K., Kaloudis, A., & Aifadopoulou, G. (2020). A comparison of machine learning methods for the prediction of traffic speed in Urban places. *Sustainability (Switzerland)*, 12(1), 1–15. <https://doi.org/10.3390/SU12010142>
- [3] Kong, F., Li, J., Jiang, B., Zhang, T., & Song, H. (2019). Big data-driven machine learning-enabled traffic flow prediction. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 30(9), 1–13. <https://doi.org/10.1002/ett.3482>

- [4] Lippi, M., Bertini, M., & Frasconi, P. (2013). Short-term traffic flow forecasting: An experimental comparison of time-series analysis and supervised learning. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 14(2), 871–882. <https://doi.org/10.1109/TITS.2013.2247040>
- [5] Salamanis, A., Meladianos, P., Kehagias, D., & Tzovaras, D. (2015). Evaluating the Effect of Time Series Segmentation on STARIMA-Based Traffic Prediction Model. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC, 2015-October*, 2225–2230. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2015.359>
- [6] Xie, P., Li, T., Liu, J., Du, S., Yang, X., & Zhang, J. (2020). Urban flow prediction from spatiotemporal data using machine learning: A survey. *Information Fusion*, 59, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2020.01.002>

IZBOR AKCIJA U FUDBALU NA OSNOVU PODATAKA

DATA-DRIVEN FOOTBALL STRATEGY

SANDRO RADOVANOVIĆ¹, MILAN RADOJIČIĆ¹, BORIS DELIBAŠIĆ¹, ALEKSANDAR ĐOKOVIĆ¹

¹ Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, Beograd, sandro.radovanovic@fon.bg.ac.rs

Režime: Izbor akcija u fudbalu se često sprovodi na osnovu ličnog iskustva igrača i trenera. Međutim, smislenijom upotrebom podataka moguće je odrediti sekvencu akcija koje će dovesti do boljih rezultata. U ovom radu primenjena je metodologija višeručnih bandita koja pronalazi funkciju raspodele verovatnoće dobiti svake akcije i kao rezultat predlaže sekvencu akcija koje će ostvariti najveću dobit, odnosno postići najviše golova. Pokazano je, na sintetičkim slučajevima, da predložena metodologija uspeva da pronađe pravu verovatnoću postizanja gola nakon veoma malog broja slučajeva. Takođe, u poređenju sa metodama koje se koriste za izbor akcija ostvareni su značajno bolji rezultati.

Ključne reči: Učenje sa podsticajem, višeručni banditi, izbor akcija, fudbal.

Abstract: Strategy in football is often conducted based on the personal experience of the football player. However, by using data analysis it is possible to derive a sequence of actions that will lead to better results. In this paper, we applied a multi-armed bandits methodology that finds the probability density function of gain for each action, and as a result recommends a sequence of actions that will lead to the greatest gain, i.e. scoring most goals. It has been shown, on the synthetic dataset that the proposed methodology manages to find the true probability of scoring a goal for each action even after a small number of examples. Additionally, by comparing to traditional playmaking techniques it has been shown that improvement is made.

Keywords: Reinforcement learning, multi-armed bandits, strategy, football.

1. UVOD

Prethodnih godina ekonomija u sportu i analitika događaja u sportu je prešla iz domena rasonode entuzijastičnih analitičara podataka u ozbiljna zanimanja koja služe da naprave razliku između dobrih i vrhunskih sportista ili ekipa. Ova pojava se pojavljuje sa povećanim ulaganjem u sport i industriju zabave, kao i sa rastom literature posvećene sportu i sportskim istraživanjima. (Radovanović et al., 2013)

U više primera je pokazano da se rezultati ekipe i pojedinca u sportskim takmičenjima unapređuju korišćenjem ekonometrije, a u skorije vreme i sportskim otkrivanjem zakonitosti u podacima (Schumaker et al., 2010). Fokus rada jeste fudbal i posmatrajući literaturu uočeno je da se uglavnom ispituju i analiziraju efikasnost ekipe, izbor formacije (Dobreff et al., 2019) ili analiza taktike (Meerhoff et al., 2019). Navedene analize pokušavaju da odgovore na pitanje kako izabrati ili sprovesti neki element igre pri poznatim parametrima, kao što je taktika protivničke ekipe, selekcija igrača i slično. Analizom efikasnosti dobija se odgovor na pitanje da li bi dati igrač trebalo da igra bolje od trenutnih performansi i ako je odgovor pozitivan, koje aspekte igre bi trebalo da popravi. Analiza formacije i analiza taktike pomaže treneru da pripremi ekipu za predstojeću utakmicu. Ovakve analize, iako korisne po prirodu, ne pomažu donosiocu odluke na terenu kako da odigra akciju u datom trenutku. Uvidevši ovaj nedostatak, autori se bave pitanjem izbora akcija koje bi trebalo da se odigraju kako bi ekipa ostvarila željeni efekat, odnosno postigla gol. Problem koji se pokušava rešiti je komplikovan jer zahteva od pojedinca da orkestrira celom ekipom kako bi se postigao željeni efekat. Uticaj različitih sila na realizaciju akcije je veliki i često nemerljiv. Drugim rečima, u identičnim postavkama se može desiti da akcija u jednom slučaju proizvede željeni efekat, a da naredni put ne proizvede željeni efekat. Uprkos naporima autora da pronađu radove koje se bave ovom tematikom, nije se pronašao nijedan rad koji se bavi korišćenjem analize podataka u cilju definisanja akcija koje ekipa treba da sprovedu na terenu.

Ideja ovog rada jeste da se igraču ili treneru dostavi spisak napadačkih akcija koje treba odigrati kako bi se na utakmici postiglo što više golova. Akcije su unapred predefinisane, ali nije poznato koja akcija ili koji skup akcija tokom utakmice dovodi do najvećeg broja golova. Uglavnom se akcije sprovode na osnovu

osećaja igrača ili trenera, ali želja autora je da se ispita da li je moguće iz podataka otkriti sekvencu akcija koja dovodi do ostvarivanja što većeg broja postignutih golova.

U ovom radu primenjena je metodologija višeručnih bandita za izbor akcija ekipe na nivou utakmice. Ova metodologija uspeva da pronade sekvencu akcija koja će ostvariti najveću dobit, odnosno postići najviše golova. Eksperimenti su sprovedeni u dve iteracije. Naime, prvi eksperimenti su sprovedeni bez konteksta donošenja odluka, odnosno donosilac odluke nije imao na raspolaganju kriterijume, tj. osobine protivničke ekipe, dok je druga postavka eksperimenta sadržala osobine protivničke ekipe. Eksperimenti su sprovedeni na sintetičkim primerima i pokazuje se da ova metodologija uspeva da dođe do rešenja koje je blizu optimalnog rešenja u veoma kratkom vremenskom periodu. U poređenju sa dva pristupa koja se trenutno često koriste u procesu izbora akcija na terenu, pokazalo se da ovakav pristup postiže značajno bolje rezultate.

U narednom poglavlju je opisana metodologija koja se koristila u ovom radu. Nakon metodologije, opisana je postavka eksperimenta, kao i rezultati eksperimenta i njihova diskusija, da bi se nakon toga zaključio rad i predstavili budući pravci istraživanja.

2. METODOLOGIJA

Postupak izbora akcije sa aspekta teorije odlučivanja predstavlja postupak analize odlučivanja u uslovima nesigurnosti i rizika (Gollier, 2018). Naime, izbor akcije bi trebalo da bude usmeren ka ostvarivanju cilja, tj. postizanju gola. Međutim, donosiocu odluke nije unapred poznato koja akcija će postići željeni efekat. Pri tome, vrlo lako se može desiti da izbor iste akcije ne rezultuje identičnim efektima. Tačnije, realizacija akcije zavisi od velikog broja faktora koji donosiocu odluke nisu poznati ili nisu dostupni uopšte. Dodatni problem jeste činjenica da se izvor nesigurnosti i rizika menja kroz vreme. Npr. igrači postaju svesni mana protivnika ili tim postaje uigraniji bilo u napadu, bilo u odbrani. U pojmovima matematičkog modelovanja, funkcija cilja ne može da se iskaže jednostavno te ne može da se optimizuje klasičnim metodama optimizacije.

Metodologija koja omogućava proces donošenja odluka koja odgovara problemu koji se rešava se naziva višeručni banditi (engl. *multi-armed bandits*). Ova metodologija predstavlja grupu algoritama koji služe za određivanje optimalne strategije u uslovima rizika i nesigurnosti koji zavise od vremenske dimenzije. Osobina ove metodologije je da funkcija raspodele dobiti postoji, ali ne može da se iskaže unapred već je neophodno sprovesti akcije i meriti efekte izabranih akcija. (Kaufmann et al., 2016)

Preslikavajući metodologiju na problem koji se rešava, „ruka“ predstavlja akciju koju bi donosilac odluke trebalo da izabere. Svaka akcija ima funkciju raspodele dobiti koja nije unapred poznata i koju je potrebno odrediti. Problem koji postoji jeste činjenica da je potrebno eksploatisati akciju koja donosi najbolje rezultate, ali istovremeno i pokušavati druge akcije u cilju ostvarivanja još boljih rezultata. Imajući u vidu da rezultat akcije može biti postignut gol ili ne postignut gol (binarni izlaz) funkcija raspodele koja može da se koristi je beta raspodela. Razlog je što njena funkcija gustine ima raspon od nula do jedan što odgovara verovatnoći da će se postići gol odigravajući tu akciju, ali i omogućava uključivanja mišljenja donosioca odluke kroz definisanje *a priori* verovatnoće (Chen & Novick, 1984).

Dodatni nivo kompleksnosti koji je uveden u ovom radu je činjenica da se proces donošenja odluka sprovodi u prisustvu različitih kriterijuma, odnosno konteksta odluke. Stoga je metodologija višeručnih bandita obogaćena atributima koji opisuju situaciju u kojoj je potrebno doneti odluku. Ovakvi modeli višeručnih bandita se nazivaju kontekstualni višeručni banditi (Cortez, 2018). U ovom radu korišćena su tri algoritma višeručnih bandita koje mogu da se koriste i u situacijama kada nije poznat kontekst donošenja odluke i u situacijama kada je kontekst donošenja odluke opisan preko atributa.

Prvi algoritam se zasniva na određivanju gornje granice verovatnoće odigravanja željenog događaja preko intervala poverenja od 80%. U svakom koraku t bira se ona akcija koja ima najveću vrednost gornje granice verovatnoće, odnosno koristi se fomula:

$$A_t = \operatorname{argmax}_a \left(p_t(r|a) + c \sqrt{\frac{\ln(t)}{N_t(a)}} \right) \quad (1)$$

gde $p_t(r|a)$ predstavlja trenutnu procenu verovatnoće da će akcija rezultovati golom, odnosno procenu verovatnoće da će ostvariti dobit r pod uslovom akcije a u vremenskom trenutku t . Ovaj deo funkcije služi za eksploataciju dobrog rešenja. Desni deo funkcije služi da omogući eksploraciju drugih rešenja, odnosno traženje gornje granice funkcije raspodele. Parametar c opisuje interval poverenja i on je jednak 0,8, dok $N_t(a)$ predstavlja brojač izbora akcije a do vremenskog trenutka t . Dodatak koji je uveden prilikom

određivanja $p_t(a, r)$ je da se određuje primenom butstrap metode uzorkovanja kako bi sigurnost u procenu verovatnoće bila veća (u daljem tekstu *BUCEB*). (Garivier & Moulines, 2011)

Drugi algoritam koji se koristi se naziva Tompsonovo uzorkovanje, poznato i kao *a posteriori* uzorkovanje. Naime, koristeći funkciju raspodele i Bajesove teoreme dolazi se do verovatnoće uspeha akcije. Prvo je uneta pretpostavka da akcije imaju identičnu funkciju raspodele i to beta raspodelu sa parametrima $\alpha = 1, \beta = 1$. Zatim za svaku opservaciju, ažuriraju se parametri beta raspodele i dobijaju se nove očekivane verovatnoće da će akcija ostvari željeni rezultat. Potom se bira ona akcija (u vremenskom trenutku t) koja će ostvariti najveću očekivanu nagradu, odnosno:

$$A_t = \operatorname{argmax}_a(p(\theta|a, r)) \quad (2)$$

gde $p(\theta|a, r)$ predstavlja *a posteriori* verovatnoću ostvarivanja parametara Beta raspodele θ za akciju a i nagradu r ostvarenim u prethodnim koracima. Ova vrednost verovatnoće se može izračunati na osnovu Bajesove teoreme kao:

$$p(\theta|a, r) = p(r|\theta, a) * p(\theta) \quad (3)$$

Kao i kod procesa određivanja gornje granice intervala poverenja u cilju bolje procene verovatnoće koristi se butstrap procedura. U daljem tekstu ovaj algoritam će se zvati *BTS*. (Agrawal & Goyal, 2012)

Treći i poslednji algoritam koji se koriste je *Epsilon-Greedy* algoritam koji u 80% slučajeva bira onu akciju koja ima najveću verovatnoću ostvarivanja dobiti. Odnosno, bira akciju koja ima najveću vrednost $p_t(r|a)$, a u preostalih 20% slučajeva nasumičnim izborom bira drugu akciju (zarad eksploracije drugih akcija). Ovaj procenat se vremenom smanjuje kroz dodatni hiper-parametar tako što bira nasumično drugu akciju sa verovatnoćom $0,2 * 0,9999$. (Kuleshov & Precup, 2014)

Problem se značajno komplikuje dodavanjem konteksta odlučivanja. Naime, pored akcije a , dobiti r , dodaje se i kontekst odlučivanja kroz skup atributa X . Samim dodavanjem konteksta procene verodostojnosti postaje nemoguća za direktno računanje iz podataka. Odnosno, potrebno je koristiti klasifikacioni algoritam koji će proceniti funkciju verodostojnosti. U ovom radu korišćena je logistička regresija sa optimizacijom hiper-parametra λ koja se koristi prilikom L_2 regularizacije (engl. *Ridge regression*) modela logističke regresije. (James et al., 2013)

Kao rezultat primene metodologije dobija se sekvenca akcija koje treba odigrati u narednoj utakmici. Npr. ukoliko imaju četiri raspoložive akcije i sedam akcija tokom utakmice moguća sekvenca bi bila $\{a_2, a_3, a_1, a_1, a_2, a_2, a_4\}$.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Pre prikaza rezultata i diskusije biće opisana postavka eksperimenta.

3.1. Postavka eksperimenta

Cilj ovog istraživanja jeste da se iz podataka otkrije sekvenca akcija koja dovodi do ostvarivanja što većeg broja postignutih golova. Preformulacijom cilja u matematičke pojmove identifikovana su sledeća istraživačka pitanja:

- Da li je moguće naučiti pravu funkciju raspodele verovatnoća uspeha akcije?
- Da li dodavanjem konteksta odlučivanja možemo da pomognemo proces odlučivanja?

Kako bismo ostvarili postavljene ciljeve sproveden je eksperiment na sintetičkim podacima koji imaju određeni nivo šuma. Naime, napravljen je skup podataka koji se sastoji od 79 utakmica, svaka sa po 25 akcija. Proces učenja funkcija raspodele verovatnoća se uči na osnovu prethodnih utakmica. U prvoj utakmici koristi se samo *a priori* verovatnoća koja je zadata od strane donosioca odluke. U narednim utakmicama funkcije raspodele verovatnoća se ažuriraju na osnovu izbora akcija prethodnih utakmica i ostvarenim dobitima odigravanjem tih akcija. Kao rezultat modela dobija se sekvenca akcija koje je potrebno odigrati u narednoj utakmici kako bi se ostvarila najveća dobit, odnosno postiglo najviše golova. Uspešnost modela se meri verovatnoćom da će sprovedene akcije rezultovati golom. U cilju merenja efekta kroz vreme korišćene se kumulativna prosečna verovatnoća postizanja gola, odnosno verovatnoća postizanja gola od prve akcije na prvoj utakmici do poslednje akcije u vremenskom trenutku t . Svi eksperimenti su sprovedeni 10 puta. Prikazane su prosečne vrednosti koje su ostvarene u vremenskim trenucima t .

Korišćena su dva metoda za poređenje rezultata. Ovi metodi su jednostavni i služe za diskusiju dobijenih rezultata. Prvi metod jeste *izbor najbolje akcije*. Izbor najbolje akcije podrazumeva da je verovatnoća odigravanja poznata i računa se izborom akcije koja na celom skupu podataka ima najveću verovatnoću dobiti (na slikama prikazana isprekidanim plavim linijama). Drugi metod koji se koristi je nasumičan izbor

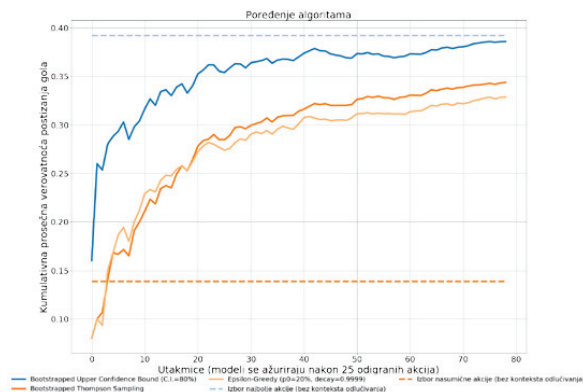
akcija (isprekidana narandžasta linija). Metode opisane u metodologiji su prikazane punim linijama, i to plavom linijom *BUCB*, narandžastom linijom *BTS* i žutom linijom *Epsilon-Greedy* algoritam.

Prvi skup eksperimenata će odgovarati na prvo postavljeno pitanje, a to je da li može da se nauči funkcija raspodele dobiti bez konteksta odlučivanja. Sprovedeni su eksperimenti koji opisuju dve situacije. Prva situacija je kada je jedna akcija dominantna u smislu dobiti, a druga kada dve od četiri akcije rezultuju dobrim rešenjima. Drugi eksperiment dodaje kontekst odlučivanja kroz attribute koji opisuju protivničku ekipu. Dodate su četiri osobine koje numerički, na skali od jedan do sto opisuju kvalitet protivničke ekipe, odnosno kvalitet golmana, odbrane, veznog reda i napada.

3.2. Rezultati i diskusija

U prvom eksperimentu ne postoji kontekst odlučivanja, već se uči izbor akcije na osnovu pokušaja i grešaka. Tim na raspolaganju ima četiri akcije koje imaju verovatnoću ostvarivanja događaja od 5%, 40%, 5% i 5%. Dakle, jedna akcija je dominantna, ali donosiocu odluke nije poznato koja, te je potrebno naučiti sekvencu izbora akcija. Rezultati opisanog eksperimenta su prikazani na slici 1. Naime, može se uočiti da predloženi metodi ostvaruju bolje rezultate od nasumičnog izbora akcije već tri utakmice. Potom postupak učenja pravih verovatnoća asimptotski teži stvarnoj najvećoj mogućoj dobiti od 0,4. Razlog zašto ne dostiže gornju granicu jeste što omogućava eksploraciju drugih akcija. Ova osobina je potencijalno dobra. Ukoliko je funkcija raspodele dobiti dinamična (a uglavnom jeste) onda se verovatnoće dobiti menjaju sa vremenom. To su situacije kada ekipe postaju svesne prednosti i mana, te postavljaju igru na drugačiji način čineći napad ili odbranu efektivnijim.

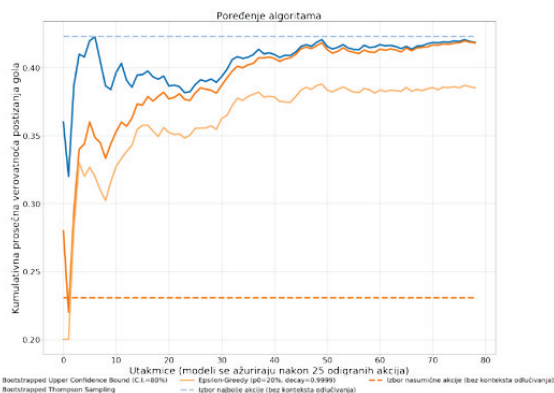
Može se uočiti da *BUCB* metoda ima bolje rezultate od druge dve metode. Naime, razlika u dobitima je konstantno iznad 4%. Razlog za to je dobra kontrola eksploatacije dobrih akcija i izbor drugih akcija. Naime, druge metode, a posebno *Epsilon-Greedy* isključivo bira one alternative koje su bile dobre. Dešava se da zbog slučajnosti (izabrana je loša akcija koja je rezultovala golom) dobije precenjenu verovatnoću da je akcija dobra.



Slika 1: Rezultati eksperimenta bez konteksta odlučivanja i sa jednom dominantnom akcijom

Naredni eksperiment podrazumeva da su dve akcije dominantne. Odnosno, tim na raspolaganju ima četiri akcije sa verovatnoćama ostvarivanja od 5%, 40%, 40% i 5%. Dobijeni rezultati su prikazani na slici 2. Za razliku od prvog eksperimenta, proces učenja funkcije raspodele verovatnoća dobiti akcija je brža, tj. već nakon prve utakmice postižu se rezultati koji su bolji od nasumičnog izbora akcija. Takođe, opet se pokazalo da je *BUCB* algoritam rezultovao u modelu koji je dobar. Međutim, u ovom eksperimentu i *BTS* postiže veoma slične rezultate.

Drugi eksperiment podrazumeva dodavanje konteksta odlučivanja kroz četiri osobine, tj. kvalitet golmana, odbrane, veznog reda i napada. U zavisnosti od ovih osobina pojedine akcije imaju veću stvarnu verovatnoću uspeha, dok su druge akcije manje delotvorne. Podaci su sintetički napravljeni tako da zadovoljavaju osobine opisane u tabeli 1. Naime, osobine ekipe su generisane tako da nasumično bira broj iz raspodele sa zadatim parametrima koji su opisani u tabeli, npr. osobina golmana u prvom redu tabele je dobijena izborom nasumičnog broja iz $N(90, 2)$ raspodele, zatim kvalitet odbrane $N(60, 5)$. Nakon generisanja sve četiri osobine, određene su stvarne verovatnoće uspeha akcije koje su date u tabeli. Dakle, primećuje se da se za jednu dobru osobinu ekipe vezuje jedna akcija. Podaci su generisani nasumično za svaku utakmicu koristeći navedena pravila.



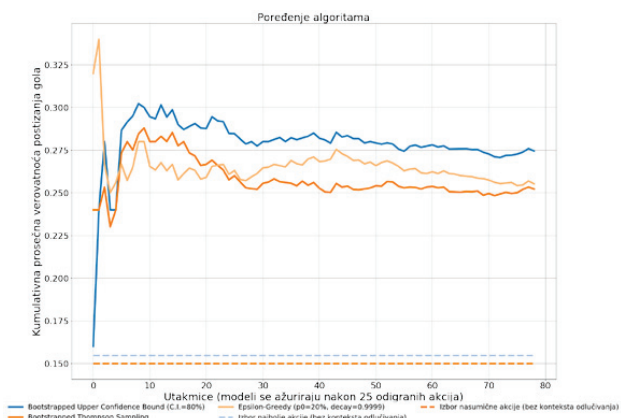
Slika 2: Rezultati eksperimenta bez konteksta odlučivanja i sa dve dominantne akcije

Primer sekvence akcija iz za prvi eksperiment (sekvenca od deset akcija) može biti $\{a_3, a_2, a_2, a_4, a_1, a_2, a_1, a_2, a_4, a_2\}$, a za drugi eksperiment može biti $\{a_2, a_3, a_3, a_1, a_2, a_3, a_4, a_2, a_3, a_2\}$.

Tabela 1: Proces generisanja podataka

Golman	Odbrana	Vežni red	Napad	Akcija 1	Akcija 2	Akcija 3	Akcija 4
(90, 2)	(60, 5)	(60, 5)	(60, 5)	40%	5%	5%	5%
(60, 5)	(90, 2)	(60, 5)	(60, 5)	5%	40%	5%	5%
(60, 5)	(60, 5)	(90, 2)	(60, 5)	5%	5%	40%	5%
(60, 5)	(60, 5)	(60, 5)	(90, 2)	5%	5%	5%	40%
(60, 5)	(60, 5)	(60, 5)	(60, 5)	40%	40%	40%	40%
(90, 2)	(90, 2)	(90, 2)	(90, 2)	5%	5%	5%	5%
(90, 2)	(90, 2)	(60, 5)	(60, 5)	20%	20%	5%	5%
(60, 5)	(60, 5)	(90, 2)	(90, 2)	5%	5%	20%	20%

U ovom slučaju, za razliku od prethodnog eksperimenta izbor najbolje akcije će biti približno sličan nasumičnom izboru akcije. Naime, kontekst donošenja odluke igra veliku ulogu u procesu izbora akcije. Imajući u vidu da donosilac odluke na terenu nema previše vremena za analizu navedene (u ovom uprošćenom eksperimentu) četiri osobine i da na osnovu toga bira akcije, dostavljanje spiska akcija koje bi trebalo da sprovede bi bilo od velikog doprinosa za postizanje željenog rezultata. Rezultati su prikazani na slici 3.



Slika 3: Rezultati eksperimenta sa kontekstom odlučivanja

Pokazuje se da proces učenja sekvence akcija već u prvoj utakmici pokazuje dobre rezultate i da dolazi do veoma dobrih performansi. Naime, ukoliko bi se koristili pristupi koji su dominantni u pozivanju akcija

(nasumičan izbor akcije) ostvarila bi se dobit od 15%, odnosno 15,5% sa pozivom akcije koja ima najveću verovatnoću postizanja gola. Međutim, uključivanjem konteksta ostvaruje se 27% uspešnih akcija za *BUCB* metod, odnosno malo iznad 25% za preostale dve metode. Primećuje se da su ovi rezultati postignuti već nakon prve utakmice i vrlo brzo postižu stabilnost. Takođe, može se primetiti da je 35% najveća moguća dobit (u šest situacija verovatnoća uspeha je 40%, a u dve situacije 20%), a da je očekivana dobit 27%. Dakle, očekivano „žaljenje“ je ukupno 8%. Ova vrednost nam govori da postoji cena isprobavanja drugih akcija koju je neophodno imati kako bismo dobili što bolje rezultate.

4. ZAKLJUČAK

Ovaj rad se bavi problemom izbora akcija u fudbalskoj utakmici koristeći istorijske podatke. Odnosno, kao cilj može se reći da je problem naučiti koje akcije bi trebalo odigrati kako bi se postiglo što više golova. Ovaj problem odgovara teoriji odlučivanja pri riziku i neizvesnosti. Dodatna kompleksnost se ogleda u tome što se efekti odluke menjaju kroz vreme. Problem je što funkcija raspodele verovatnoće postizanja gola odigravanjem neke akcije nije unapred poznata i mora se otkriti isprobavanjem. Kao prikladnu metodologiju za rešavanje ovog problema izabrana je metodologija višeručnih bandita sa dodatkom konteksta odlučivanja.

Korišćena su tri algoritma, a to su određivanje gornje granice intervala poverenja, Tompsonovo uzorkovanje i *epsilon-greedy* algoritam, koja se generalno koriste u praksi za različite potrebe i primenjena na sintetičke podatke koje oslikavaju osobine koje se mogu naći u stvarnim fudbalskim utakmicama. Kao istraživački problem postavljena su pitanja da li je moguće naučiti funkciju raspodele verovatnoće postizanja gola odigravanjem akcije i ako jeste koliko brzo se može otkriti, kao i da li dodavanjem konteksta odlučivanja možemo postići bolje rezultate. Eksperimenti na sintetičkim primerima su pokazali da je moguće naučiti pravu funkciju raspodele verovatnoće postizanja gola odigravanjem akcije i to već nakon nekoliko utakmica. Takođe, dodavanjem konteksta odlučivanja efekti primene postojeće metodologije se drastično unapređuju.

Kao deo budućeg istraživanja planiramo da metodologiju primenimo na podatke iz realnom sistema i izvršimo detaljniju analizu.

LITERATURA

- [1] Agrawal, S., & Goyal, N. (2012, June). Analysis of thompson sampling for the multi-armed bandit problem. In *Conference on learning theory* (pp. 39-1).
- [2] Chen, J. J., & Novick, M. R. (1984). Bayesian analysis for binomial models with generalized beta prior distributions. *Journal of Educational Statistics*, 9(2), 163-175.
- [3] Cortes, D. (2018). Adapting multi-armed bandits policies to contextual bandits scenarios. *arXiv preprint arXiv:1811.04383*.
- [4] Dobreff G., Pašić A., Sonkoly B., and Toka L. (2019) The formation game in football. In *Proceedings of the 6th Workshop on Machine Learning and Data Mining for Sports Analytics – ECML PKDD 2019*.
- [5] Garivier, A., & Moulines, E. (2011, October). On upper-confidence bound policies for switching bandit problems. In *International Conference on Algorithmic Learning Theory* (pp. 174-188). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [6] Gollier, C. (2018). *The economics of risk and uncertainty*. Edward Elgar Publishing Limited.
- [7] James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). *An introduction to statistical learning* (Vol. 112, pp. 3-7). New York: Springer.
- [8] Kaufmann, E., Cappé, O., & Garivier, A. (2016). On the complexity of best-arm identification in multi-armed bandit models. *The Journal of Machine Learning Research*, 17(1), 1-42.
- [9] Kuleshov, V., & Precup, D. (2014). Algorithms for multi-armed bandit problems. *arXiv preprint arXiv:1402.6028*.
- [10] Meerhoff, L.A, Goes, F. R., De Leeuw, A.-W., and Knobbe, A. (2019) Exploring Successful Team Tactics in Soccer Tracking Data. In *Proceedings of the 6th Workshop on Machine Learning and Data Mining for Sports Analytics – ECML PKDD 2019*.
- [11] Radovanović, S., Radojičić, M., Jeremić, V., & Savić, G. (2013). A novel approach in evaluating efficiency of basketball players. *Management*, 67, 37-45.
- [12] Schumaker, R. P., Solieman, O. K., & Chen, H. (2010). *Sports data mining* (Vol. 26). Springer Science & Business Media..

PREPOZNAVANJE SAOBRAĆAJNIH ZNAKOVA KORIŠĆENJEM KONVOLUTIVNE NEURONSKE MREŽE

TRAFFIC SIGN RECOGNITION USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK

SANJA MOSIĆ¹, IVANA DRAGOVIĆ², BRATISLAV PETROVIĆ³

¹ Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, Beograd, sanja.mosicgm96@gmail.com

² Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, Beograd, dragovic.ivana@fon.bg.ac.rs

³ Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, Beograd, petrovic.bratislav@fon.bg.ac.rs

Rezime: U ovom radu opisan je problem prepoznavanja saobraćajnih znakova, gde je kao klasifikator korišćena konvolutivna neuronska mreža (eng. Convolutional Neural Network). U prvom delu rada dat je pregled nekih od radova iz oblasti klasifikacije saobraćajnih znakova, kao i opis metoda koje se najčešće koriste za klasifikaciju slika. Nakon toga, opisana je struktura i primena konvolutivne neuronske mreže na odabrani skup podataka. U implementaciji korišćen je programski jezik Python i biblioteka Keras, koja pruža već implementirane funkcije za realizaciju konvolutivnih modela. Dati model ostvaruje tačnost predviđanja od 95%.

Cljučne reči: Prepoznavanje saobraćajnih znakova, Konvolutivne neuronske mreže, Duboko učenje, Keras, Python.

Abstract: This paper describes the problem of recognizing traffic signs, where a convolutional neural network is used as a classifier. The first part of the paper lists several related papers, as well as a description of the methods most commonly used to classify images. The structure and implementation of the convolutional neural network in the selected data set are then described. The Python programming language was used for implementation, as well as the Keras library, which provides already implemented functions for creating convolutional models. The given model achieves a prediction accuracy of 95%.

Keywords: Traffic sign recognition, Convolutional Neural Networks, Deep Learning, Keras, Python

1. UVOD

Saobraćajni znakovi čine sastavni deo infrastrukture puteva i njihovo prepoznavanje predstavlja izazovni problem već duži niz godina. Oni proizvode krucijalne informacije za sigurnu vožnju, zahtevajući od učesnika u saobraćaju da prilagode svoje ponašanje datim informacijama. Međutim, postoji velika verovatnoća da dođe do previda nekog znaka, samim tim, kako bi se povećala sigurnost i obaveštenost pojedinca koji upravlja vozilom, sistem za prepoznavanje saobraćajnih znakova je preko potreban alat u vozilima.

Znakovi su dizajnirani tako da budu lako uočljivi i prepoznatljivi od strane vozača. Prema tome, ljudi su sposobni da prepoznaju razne znakove na putevima sa tačnošću koja je blizu 100%. Oni predstavljaju širok spektar varijacija, stoga se mogu podeliti u više klasa, razvrstanih na osnovu boje, oblika i prisustva teksta. Znakovi koji imaju slično značenje, na primer, znakovi ograničenja brzine, predstavljaju podskup datih klasa.

Sistem za prepoznavanje znakova se sastoji od dva glavna koraka: prvi predstavlja detekciju potencijalnih znakova na slici, njihovo izdvajanje od okoline, bazirano na boji i obliku konkretnog znaka. Drugi korak jeste klasifikacija odabranih regiona za dalju identifikaciju i određivanje tačnog tipa znaka. Prilikom primene klasifikatora moraju se uzeti u obzir varijacije kojima se on mora prilagoditi, kao što su promena osvetljenja, vremenski uslovi, zaklonjeni znakovi.

U ovom radu klasifikacija i prepoznavanje se vrši korišćenjem konvolutivnih neuronskih mreža (eng. Convolutional Neural Networks).

1.1. Srodni radovi

Mnogi radovi su objavljeni na temu detekcije i prepoznavanja saobraćajnih znakova. Svaki rad baziran je na različitim podacima i tehnologijama, stoga je teško izvršiti njihovo poređenje i oceniti koji pristup daje najbolje rezultate. Neki od radova navedeni su u daljem tekstu.

Ruta et al. (2010) predstavlja još jedan okvir za detekciju znakova. Sistem uključuje detekciju i klasifikaciju 48 različitih znakova koji su prikupljeni na poljskim i japanskim putevima. Klasifikator je testiran nad statičkim slikama sa niskom rezolucijom i poređen sa tehnikama baziranim na AdaBoost i PCA (eng. *Principal component analysis*) algoritmima. Tačnost celokupnog sistema iznosi 85.3% sa greškom klasifikacije manjom od 9%.

U radu Keller et al. (2008) klasifikator je korišćen za pravougaone znakove ograničenja brzine, koji su prikupljeni na američkim putevima i treniran je nad 2880 slika. Postiže tačnost klasifikacije od 92.4% na 1233 slika.

U studiji Maldonado Bascon et al. (2010), klasifikator je postigao tačnost od 95.5% primenom metode potpornih vektora. Primenjen je nad bazom koja sadrži oko 36 000 španskih znakova i oko 193 klasa datih znakova. Međutim, nije u potpunosti određeno da li su skupovi za testiranje i treniranje nezavisni, jer je pri nasumičnom deljenju uzeto u obzir samo održavanje raspodele klasa saobraćajnih znakova.

Stallkamp et al. (2012) uporedili su performanse konvolutivnih neuronskih mreža i čoveka prilikom prepoznavanja saobraćajnih znakova. Iako je tačnost prepoznavanja znakova od strane čoveka izuzetno velika, čak 99.22%, konvolutivne neuronske mreže, primenjene u ovom istraživanju, uspele su nadmaše čoveka i njihova tačnost, kao klasifikatora, iznosi 99,46%.

Sermanet i LeCun (2011) su primenili konvolutivne neuronske mreže za klasifikaciju saobraćajnih znakova kao deo GSTRB takmičenja. U prvoj fazi takmičenja ostvarena je tačnost od 98,97%, zatim je u drugoj fazi, postignut rekord i tačnost je iznosila 99.17%, povećan je kapacitet mreže i informacije o boji nisu uzimane u obzir.

2. METODE KLASIFIKACIJE SLIKA

Razvijene su mnoge tehnologije i metode za klasifikaciju slika i detekciju objekata na slikama. Klasifikacija spada u tehnike nadgledanog učenja (eng. *Supervised Learning*), koja kao ulaz dobija podatke i posebnu oznaku, labelu. Labela označava jednu od nekoliko mogućih klasa i cilj same klasifikacije jeste da pogodi vrednost labele, odnosno da odredi kojoj klasi pripada dati podatak. Na osnovu toga, klasifikacija slike predstavlja proces kojim se na osnovu informacija sa slike ona svrstava u neku od ponuđenih klasa. Neke od metoda koje se najviše primenjuju prilikom klasifikacije slika su navedene i opisane u nastavku teksta.

Metoda potpornih vektora (eng. *Support Vector Machines, SVM*) se često koristi u ulozi klasifikatora. SVM je linearni model koji se može koristiti za rešavanje linearnih i nelinearnih problema. Ideja ovog algoritma je jednostavna, kreira se prava ili hiperravan koja razdvaja podatke u određene klase. Potrebno je pronaći tačke koje su najbliže liniji i izračunati njihovo rastojanje od nje. Date tačke se nazivaju potporni vektori (eng. *Support vectors*), a distanca je margina koju težimo maksimizirati. Ukoliko se javi problem da podaci nisu linearno separabilni moguće ih je konvertovati dodavanjem nove dimenzije.

K najbližih suseda (eng. *K- nearest neighbors, KNN*) je jedan od najjednostavnijih algoritama mašinskog učenja koji se koristi za klasifikaciju. KNN posmatra sve primerke u skupu podataka i klasifikuje nove primerke na osnovu sličnosti. Međutim, korišćenje celog skupa podataka za učenje i klasifikaciju, predstavlja glavni nedostatak ovog algoritma, jer mu je za predviđanje klase potrebno dosta vremena.

Neuronske mreže (eng. *Neural Network*) predstavljaju najčešći odabir za potrebe klasifikacije. Ovaj algoritam nastao je kao pokušaj da se oponaša način na koji ljudski mozak uči, tj. način na koji ljudski mozak klasifikuje i spoznaje stvari. Oblast primene uključuje sisteme identifikacije i upravljanja, prepoznavanje šablona (prepoznavanje lica, objekata itd.), prepoznavanje sekvenci (gestova, govora, rukopisa), medicinske dijagnoze (korišćene su za dijagnozu nekih vrsta kancerogenih bolesti), filtriranje neželjenih elektronskih poruka (spam).

2.1. Konvolutivne neuronske mreže

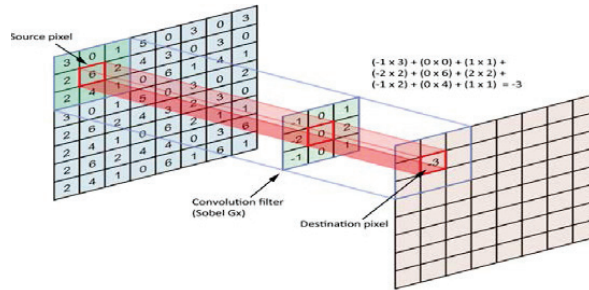
Konvolutivne neuronske mreže (eng. *Convolutional Neural Networks*) predstavljaju specijalnu vrstu neuronskih mreža za procesiranje nestruktuiranih podataka. Konvolutivne mreže (CNN) se primarno koriste za klasifikaciju slika, identifikaciju lica, saobraćajnih znakova i mnogih drugih objekata. CNN kao ulaz očekuje sliku (crno-belu ili u boji), koja je zapisana kao niz piksela $h \times w \times c$, gde h predstavlja visinu slike izraženu u pikselima, w širinu, a c broj kanala ($c=1$ za crno-belu sliku, $c=3$ za RGB slike).

Pri izradi konvolutivne neuronske mreže najčešće se koriste tri gavnja sloja: konvolutivni, potpuno povezani i sloj sažimanja.

Konvolutivni sloj predstavlja najbitniji sloj mreže. On se sastoji od određenog broja konvolutivnih filtera, poznatih i kao matrice karakteristika (eng. *Feature maps*), praćenih ReLU aktivacionim funkcijama. Ulazna slika se prosleđuje svakom od filtera u ovom sloju. Filteri se zadaju kao dvodimenzionalne matrice dimenzija

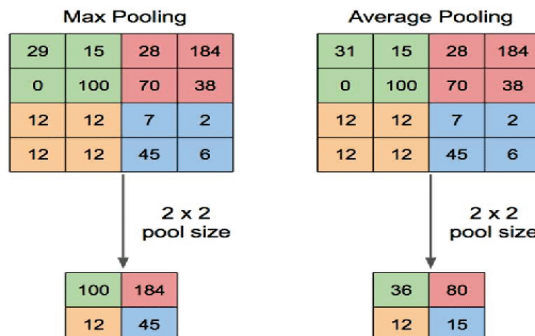
$m \times n$ i cilj je da se sadržaj filtera izmeni u toku treniranja mreže kako bi ona obavljala predviđeni zadatak. Nakon filtera sledi deo sloja sa aktivacionim funkcijama, gde se najčešće koristi ReLU (eng. *Rectified Linear Unit*) funkcija. ReLU funkcija je najčešće korišćena aktivaciona funkcija u modelima dubokog učenja. Data funkcija vraća 0 ukoliko, kao ulaz, dobije negativnu vrednost, u suprotnom vraća dobijenu pozitivnu vrednost x . ReLU aktivaciona funkcija definiše se kao:

$$f(x) = \max(0, x) \tag{1}$$



Slika 1: Konvolutivni sloj

Nakon prethodno opisanog sloja sledi sloj sažimanja (eng. *Pooling layer*) koji se obično dodaje između sukcesivnih konvolutivnih slojeva. Cilj uvođenja ovog sloja jeste da se smanji dimenzionalnost matrica dobijenih raznim konvolucijama, kao i broj parametara koje mreža treba da nauči. Funkcija sažimanja je uglavnom oblika maksimalnog (eng. *max-pooling*) ili prosečnog sažimanja (eng. *Average-pooling*).

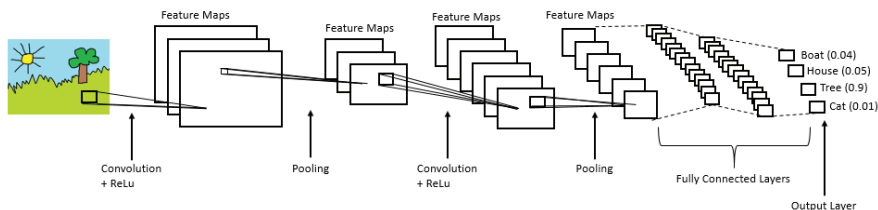


Slika 2: Sloj sažimanja

Izlaz iz konvolutivnih slojeva predstavlja niz uzoraka koji su nastali učenjem ulaznih podataka. Sloj koji se koristi kao završni prilikom izgradnje konvolutivne neuronske mreže jeste potpuno povezani sloj (eng. *Fully connected layer*). Svrha ovog sloja je da iskoristi rezultate prethodnih slojeva i pomoću njih izvrši

klasifikaciju slika u labele. Izlazi prethodnih slojeva se pretvaraju u vektore koji se koriste kao ulazi u daljem procesu klasifikacije.

Na slici ispod prikazana je jedna od najčešćih arhitektura konvolutivne neuronske mreže.



Slika 3: Prikaz arhitekture konvolutivne neuronske mreže

3. PRIMENA ALGORITMA

Skup podataka koji je korišćen u ovom radu je deo nemačkog takmičenja – *German Traffic Sign Recognition Benchmark* i sastoji se od pedeset hiljada različitih saobraćajnih znakova, podeljenih u 43 klase. Svaka klasa odgovara određenom znaku i sadrži različite prikaze datog znaka, koji se razlikuju na osnovu veličine, osvetljenja i vidljivosti. Pre primene samog algoritma, dati skup je potrebno srediti. Slike i njihove labele iz skupa za treniranje su prikupljene u liste korišćenjem PIL biblioteke i nad njima će se sprovesti treniranje modela. Skup se sastoji od 39 209 slika u boji čija je veličina svedena na 30x30 piksela. Dobijene liste su potom pretvorene u nizove korišćenjem numpy biblioteke, kako bi se mogle dalje koristiti u modelu.

Za kreiranje algoritma korišćen je programski jezik Python i biblioteka Keras koja nudi već implementirane funkcije potrebne za realizaciju konvolutivnih modela. Postoje dva načina da se izgradi Keras model: sekvencijalni i funkcionalni. U ovom radu opisan je sekvencijalni Keras model (*eng. Sequential model*) koji sadrži funkciju `add` i omogućava dodavanje jednog po jednog sloja prilikom kreiranja mreže.

Sama mreža se sastoji od četiri konvolutivna sloja u kojima je korišćena aktivaciona funkcija ReLU (*eng. Rectified Linear Unit*). Pored potpuno povezanog sloja i sloja sažimanja, umetnut je i sloj izbacivanja (*eng. Dropout layer*) koji sprečava overfitt-ovanje modela. Dati sloj će nasumičnim neuronima postaviti vrednost težine na 0. Pošto je u sloju prosleđena vrednost 0.25, 25% neurona će biti zahvaćeno. Na ovaj način neuronska mreža postaje otpornija na manje varijacije među podacima.

U poslednjem sloju (*eng. Dense layer*) kreirane mreže primenjena je Softmax aktivaciona funkcija koja se najčešće koristi kada postoji veći broj klasa u koje je moguće klasifikovati sliku ili objekat na njoj. Data funkcija pretvara izlaze potpuno povezanog sloja u verovatnoće. Softmax funkcija je preporučeni izbor kod problema klasifikacije zbog osobine da suma verovatnoća na izlazu treba biti jedanka jedinici. Zadatak poslednjeg sloja jeste da redukuje izlaznu matricu na 43 vrednosti koje odgovaraju različitim klasama saobraćajnih znakova.

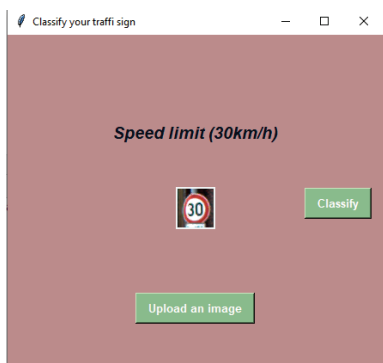
Kreirani model se zatim primenjuje nad skupom za treniranje (*eng. Training dataset*) korišćenjem funkcije `model.fit()`. Model je treniran kroz 15 epoha, odnosno iteracija. Broj uzoraka treniranja prilikom jedne iteracije iznosi 64, a zadat je parametrom `batch_size`. Za funkciju gubitka izabrana je funkcija `categorical_crossentropy` koja se koristi prilikom više-klasne klasifikacije, a kao funkcija optimizacije koristi se funkcija pod nazivom Adam koja spada u kategoriju optimizacionih algoritama sa derivacijom prvog stepena. Nakon završenog procesa treniranja, dati model daje tačnost od 95%.

Pored skupa za treniranje, prvobitni skup podataka sadrži i podskup koji je potrebno iskoristiti za testiranje napravljenog modela. Kao i tokom treniranja, skup je potrebno srediti pre primene samog algoritma. Sve slike su svedene na veličinu 30x30 piksela za čije prikupljanje je iskorišćena numpy biblioteka. Postignuta tačnost modela i nad test skupom iznosi 95% za čije izračunavanje je korišćena funkcija `accuracy_score`.

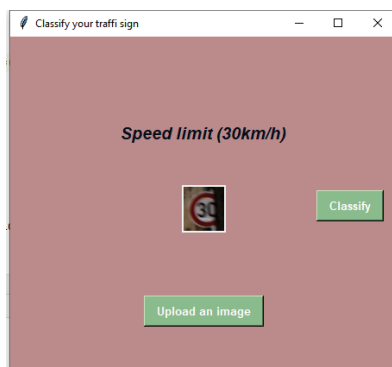
Poslednji korak predstavlja kreiranje jednostavnog korisničkog interfejsa, čiji je zadatak da ispiše kojoj klasi pripada odabrana slika.

U nastavku je dat primer tačne i pogrešne klasifikacije jednog od saobraćajnih znakova ograničenja brzine. Sa slika navedenih ispod možemo videti da mreža vrši tačnu klasifikaciju i ukoliko je manji deo

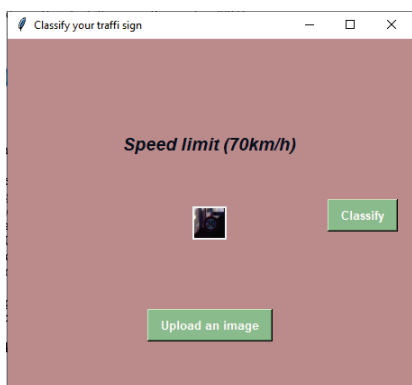
znaka prekriven nekim objektom, međutim, problem se javlja kod slika koje su previše tamne i mutne. U tim slučajevima dolazi do pogrešne klasifikacije saobraćajnog znaka kao što možemo videti na slici 6. i 7.



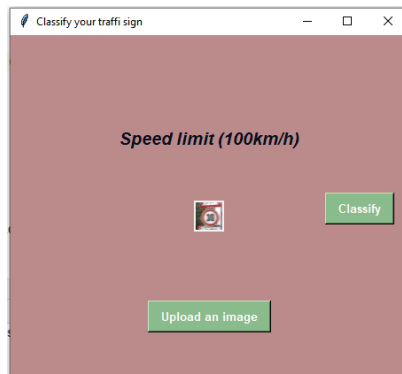
Slika 4: Prikaz ispravno klasifikovanog saobraćajnog znaka ograničenja brzine



Slika 7: Tačno klasifikovan saobraćajni znak



Slika 5: Prikaz pogrešne klasifikacije saobraćajnog znaka ograničenja brzine



Slika 6: Pogrešno klasifikovan saobraćajni znak

4. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je kreiranje modela dubokog učenja za klasifikaciju saobraćajnih znakova. Kreirana je konvolutivna neuronska mreža koja klasifikuje ulaznu sliku u jednu od 43 kategorije. Objasnjeni su slojevi konvolutivne neuronske mreže i prikazana je implementacija mreže pomoću Keras biblioteke. Dati model ostvaruje tačnost predviđanja od 95% nad odabranim skupom podataka. Iako se trenutni model pokazao kao vrlo dobar klasifikator, sa slika u prilogu se može uočiti da kreirana mreža ne prepoznaje slike koje su slabijeg kvaliteta i loše osvetljenosti. Daljim razvojem i povećanjem složenosti modela moguće je povećati tačnost klasifikacije i do približno 100% , što bi u velikoj meri doprinelo celokupnom procesu razvoja inteligentnih automobila.

LITERATURA

- [1] Sermanet, P., & LeCun, Y. (2011, July). Traffic sign recognition with multi-scale convolutional networks. In The 2011 International Joint Conference on Neural Networks (pp. 2809-2813). IEEE.
- [2] De la Escalera, A., Armingol, J. M., & Mata, M. (2003). Traffic sign recognition and analysis for intelligent vehicles. *Image and vision computing*, 21(3), 247-258.

- [3] Stallkamp, J., Schlipsing, M., Salmen, J., & Igel, C. (2011, July). The German traffic sign recognition benchmark: a multi-class classification competition. In The 2011 international joint conference on neural networks (pp. 1453-1460). IEEE.
- [4] Stallkamp, J., Schlipsing, M., Salmen, J., & Igel, C. (2012). Man vs. computer: Benchmarking machine learning algorithms for traffic sign recognition. *Neural networks*, 32, 323-332.
- [5] Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. In *Advances in neural information processing systems* (pp. 1097-1105).
- [6] Ruta, A., Li, Y., & Liu, X. (2010). Real-time traffic sign recognition from video by class-specific discriminative features. *Pattern Recognition*, 43(1), 416-430.
- [7] Gómez-Moreno, H., Maldonado-Bascón, S., Gil-Jiménez, P., & Lafuente-Arroyo, S. (2010). Goal evaluation of segmentation algorithms for traffic sign recognition. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 11(4), 917-930.

Poslovna analitika

Business Analytics

LINGUISTICALLY SUMMARIZING AND VISUALIZING INFORMATION FROM DATA WAREHOUSES

MIROSLAV HUDEC^{1,2}, PATRIK POLAČEK²

¹ University of Economics in Bratislava - Faculty of Economic Informatics, Bratislava, Slovak Republic

² VSB–Technical University of Ostrava - Faculty of Economics, Ostrava, Czech Republic

Abstract: *Data visualization is the output of the business intelligence concept for end–users. It is considered as a mean for understanding developments in a company and as a supporting tool for decision–making. A high amount of work is realized in all stages of developing a business intelligence solution, including visualizing information and mined knowledge on dashboards. When dashboards fail to communicate efficiently and effectively it jeopardizes all effort already done. This work discusses augmenting dashboards by the short quantified sentences of natural language. Less statistically literate domain experts and novice professionals might especially benefit from this visualization. Short quantified sentences are understandable despite the professional background. In addition, several data cannot be explained by graphs or in tables. It holds for the non–linear dependencies among attributes and flexible concepts. Finally, this approach is less sensitive to the lower quality and imprecision in data, which especially holds for data extracted from the external sources into the company’s data warehouses.*

Keywords: *Linguistic Summaries, Strategic Dashboards, Analytical Dashboards, Data Warehouse, Business Intelligence*

1. INTRODUCTION

Roughly speaking, the mission of business intelligence concept is transforming raw data into the meaningful information for supporting decision–making on diverse levels in an institution or company [5, 10, 17]. This mission is supported through data warehouses (multidimensional databases), ETL processes (extract data from sources, their transformation into the desired structure including data cleaning, and load into a data warehouse), querying by SQL, OLAP cubes (queried by MDX), data mining and visualization (often by dashboards).

The users are on several levels in a company: operational, tactical and strategic. As we move to the higher level, the granulation should be less detailed. For instance, decision maker on a strategic level in a hotel is not interested in complaints of a particular guest, but in a category of guests having a significantly higher number of complaints.

A higher amount of work is realized before interpreting information and mined knowledge on dashboards. From the end–user’s point of view, visualization is usually the main part. Strategic dashboard is a collection of multiple visual components (e.g., charts, summarizing tables and key performance indicators) on a single view so the main messages can be monitored at glance [4]. However, many dashboards fail to communicate efficiently and effectively [16]. Next, less statistically literate domain experts and novice professionals struggle to understand tables and graphs (especially when the information is not visually clear [16], and when it consists of diverse statistical figures [8]). Thus, failure in this step might jeopardize all good job done in the previous stages of developing a business intelligence solution. Contrary, summarized sentences like *regularly, in early autumn the number of complaints is high and the most of visits from French speaking countries is in early spring* are understandable at first glance regardless professional background. In addition, these sentences cannot be easily interpreted on graphs or in tables.

The reminder of the paper is structured as follows. Section 2 briefly describes the preliminaries of linguistic summaries including measuring their quality, whereas Section 3 explains the main concepts of data warehouses. Section 4 proposes integration of relevant summaries into dashboards and related discussion. Finally, Section 5 concludes this work.

2. LINGUISTIC SUMMARIES IN BRIEF

Linguistic summaries (LSs) rely on the theories of fuzzy sets and fuzzy logic, where belonging to a set (to concepts like *high turnover*, and to relative quantifiers like *most of*) is a matter of degree.

The concept of LSs was introduced in [20], whereas [2] provides an overview of the recent developments and applications. This field is still active. For instance, in [19] is developed an application in agriculture domain,

whereas in [7] is proposed an application for smart cities. Next, an overview of quality measures (and applied to official statistics data) is discussed in [8]. The quality measures selects a smaller set of the most relevant summaries, and filter summaries which explain outliers or are based on the improperly constructed (families of) fuzzy sets.

The classic structure of LS is *Q entities in database have S* [20]. Quantifier *Q* and summarizer *S* are usually formalized by fuzzy sets, i.e. *most of the visits are from high-income countries*, but we can also apply classical predicates, e.g., *most of the visits are from Europe*. The proportion of elements in a data set *X* that fully and partially satisfies the predicate *S* is defined as

$$y_B(\mathbf{x}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu_S(x_i) \quad (1)$$

where *n* is the number of elements in a data set and the membership function μ formalizes summarizer *S*. The validity (truth value) of the summary is calculated as

$$v_B(\mathbf{x}) = \mu_Q(y_B(\mathbf{x})) \quad (2)$$

where the function μ formalizes relative quantifier *Q* for the summary. Both y_B and v_B assume values in the unit interval.

The classic structure LSs with restrictions take the form *Q R entities in database have S*, where restriction *R* focuses on a part of data set relevant for the summarization [15], i.e., *most of the visits from remote countries have a short stay*. The proportion of records that satisfies summary is defined as

$$y_R(\mathbf{x}) = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_S(x_i) \wedge \sum_{i=1}^n \mu_R(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_R(x_i)} \quad (3)$$

where *n* is the number of elements in *X* and the membership function μ formalizes, both *S* and *R*. The convention $0/0=0$ is used in order to avoid undefined proportions; this situation occurs, when not a single record does meet *R* (and therefore (due to conjunction) not a single record does simultaneously meet both *R* and *S*). Analogously to (2) we calculate the validity for (3)

$$v_R(\mathbf{x}) = \mu_Q(y_R(\mathbf{x})) \quad (4)$$

The basic quality criterion (validity as defined in (2) and (4)) is the relevant one, but it does not cover all quality aspects [11]. A detailed review of quality measures for both summaries (1, 3) can be found in e.g., [8].

3. DIMENSIONAL DATA STRUCTURES

The dimensional data structures consist of fact table(s), which contain measures, and dimensions, which explain the meaning of measures. The simplest structure, STAR scheme is a structure, where a central table represents the fact on which the analysis is focused, and a number of tables, represent the dimensions required for analyses [12].

Often, to answer a business intelligence question we need data from internal and external sources. An illustrative data warehouse for a hypothetical hotel is shown in Figure 1, where * indicates attributes whose values are extracted from the external sources.

User on a strategic level asks questions by attributes of dimensional tables, usually not by numbers or intervals. Instead of question *Is it true that the most of guests from Benelux prefer hotels situated in altitude from 600 to 1 000 meters?*, user might poses a question *Is it true that the most of guests from Benelux prefer hotels situated in medium altitude areas?*

The external sources, in his case official statistics data, contain crisp values. Thus, the external numerical data should be transformed into granules having sharp borders, e.g., altitude 1 000 m is *medium altitude*, or even into fuzzy sets indicating the intensity of altitude to the concept, which leads to fuzzy data warehouses [3].

4. LINGUISTIC SUMMARIES ON DASHBOARDS

This section discusses summarized sentences on dashboards and sensitivity of results.

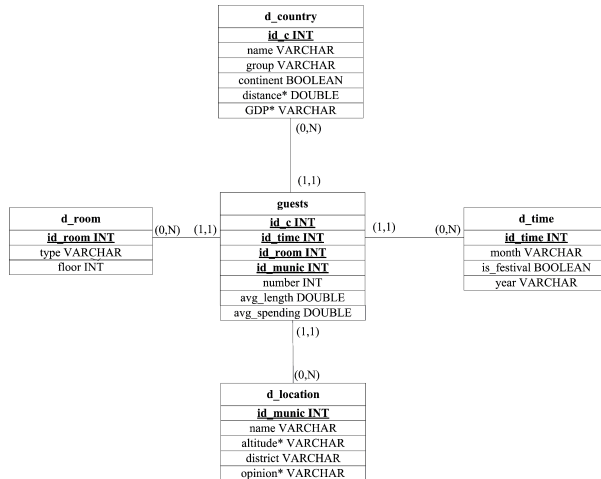


Figure 1 The simplified structure of a STAR scheme for a hypothetical hotel.

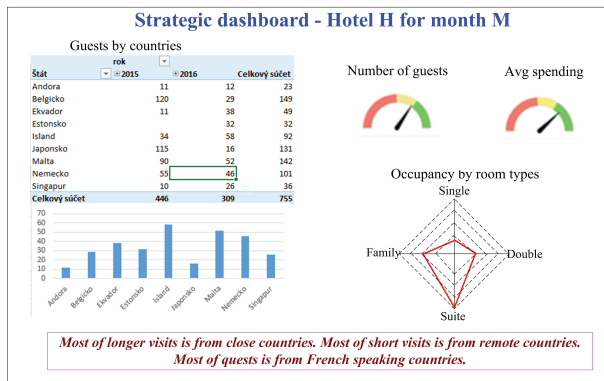


Figure 2 The suggestion for a dashboard augmented by the short quantified sentences of natural language.

4.1. Dashboards

Business intelligence visualisation considers strategic, operational and analytical dashboards [17]. Strategic dashboard is a consolidated and arranged collection of multiple visual components (e.g., charts and key performance indicators) on a single view so the main messages can be monitored at glance [4]. The main goal is to provide a quick overview of the development in an organization, not to explain reasons for such development. Therefore, the predefined linguistic summaries of structures (2, 4) are suitable for the top level managers, which usually are not interested in detailed data analyses and finding reasons for measured performances.

Each key indicator and its the most convenient visualization should be confirmed by user. The same holds for summarized sentences. The background of sentences consists of subsets of attributes, their granules and a family of quantifiers. When user wishes to focus attention on length of visits, then we construct (from available data or users opinion) the linguistic variable on numeric attribute *avg_length* (Figure 1) consisting of terms like *low*, *medium* and *high*. The same holds for numeric attributes of dimensional tables like *distance* in dimension *d_country*.

The calculation of validity and other quality measures can be computed by methods suggested in, e.g., [8, 13], where the optimisation procedures reduce calculations for insignificant summaries.

A hypothetical example of a dashboard augmented by the summarized sentences is depicted in Figure 2. The combination of labels with the highest validity and quality measures is provided on dashboard. In addition, classical prototype forms can be adjusted to explain time series like *most of quests in location L_i measured significant decrease in average spending*, i.e., recently, they do not ordered additional services.

Contrary, analytical dashboards supports interaction with data by roll-up, drill-down and drill-across queries

among others. The results are usually shown in tables or on graphs, which are often interactive. The same functionality should be offered by quantified sentences. For instance, when summarized sentence on continent level indicates that the continent *CI* is problematic, we can drill-down to reveal the problematic group of countries.

In addition to the strategic dashboards, this kind of dashboard should offer option for deeper analyses by selecting and formalizing

- relevant quantifier (few, about half, most of, almost all)
- attributes (from dimensions and fact tables),
- linguistic terms (low, medium, around m , where $m \in \mathbb{R}$, high)

Let us have for instance the following hypothetical summarized sentences from data (Figure 1)

1. The most of visits from Asia is of long stay
2. About half visits from Europe is of long stay
3. Few visits from Australia is of long stay

Sentence 1 indicates the most perspective continent, whereas sentence 3 reveals the least perspective one. Concerning sentence 2, in this continent might be groups of countries with long stay.

The hypothetical drill-down summaries are

1. The most of visits from Baltic countries is of long stay
2. Few visits from Scandinavian countries is of long stay

It is a valuable information for marketing department to devote campaigns to the recognized continents and groups of countries. A department for public relations might be intrigued to reveal the reasons for such visitors' distributions.

4.2. Sensitivity

The ability to load data of a high quality to the data warehouse from the internal and external sources using the ETL process is a key requirement. It especially holds for data from the external sources, which face diverse quality problems, mainly because the methodology of data collection is not known. Challenges for tracking data quality are discussed in e.g., [14, 18]. Even though many approaches for covering data quality exist, it is impossible to guarantee that a warehouse contains data without quality issues and imprecision (guessed or imputed data instead of real ones, for instance).

The linguistic summaries are less sensitive to the factors like a small imprecision in data and user's linguistic requirements formalized as fuzzy sets. In linguistically summarized sentences similar entities similarly contribute to the validity. The monotonicity (one of crucial factor in data analysis) says that if matching degree of one element increases, whereas the other remains the same, the validity of summary remains the same or increases, when we apply increasing quantifier like *most of* or *almost all*). It is a matter of direct verification.

Regarding the summarization on a constantly increasing number of records like in the fact tables in data warehouses, the proportion in (2, 4) is a distributive operation [17]. So, we can build results on the previously calculated proportions.

The quality of linguistic summaries is another topic which should be considered. The quality measures like data coverage, simplicity and relevance are recognized by [6] and their aggregation for data warehouses is proposed in [9]. Hence, summaries which meet all relevant quality measures should be interpreted on dashboards.

5. CONCLUSION

Visualisation interprets information and knowledge revealed from data. It is one of the key steps for successful application of a business intelligence solution in practice. Dashboards usually consist of tables, diverse graphs and thematic maps, which are not always understandable at first glance. This work has theoretically analysed benefits of including short quantified sentences of natural language for augmenting established visualization techniques on dashboards. The benefits for end-users are the immediately understood message from data, and explained frequencies, modes of behaviour and relational knowledge among data, which cannot be efficiently conveyed by the established visualisation methods on dashboards.

Moreover, linguistically summarized sentences can be interpreted by text-to-speech synthesis systems. They are especially useful whenever the users' visual attention is focused on something else [1]. Thus, summaries opens new dimension on interpreting information from data warehouses to the business users. The next step is building full-featured dashboards which integrate linguistically explained developments and relational dependencies among relevant data.

Acknowledgement

This paper was supported by SGS project No. SP2020/125 by the Ministry of Education, Youth and Sport of the Czech Republic.

REFERENCES

- [1] Arguelles, L., & Triviño, G. (2013). I–struve: Automatic linguistic descriptions of visual double stars. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26, 2083–2092.
- [2] Boran, F. E., Akay, D., & Yager, R.R. (2016). An Overview of Methods for Linguistic Summarization with Fuzzy Sets. *Expert Systems with Applications*, 61, 356–377.
- [3] Fasel, D. (2014). *Fuzzy Data Warehousing for Performance Measurement*. Cham: Springer.
- [4] Few, S. (2006). *Information Dashboard Design: The Effective Visual Communication of Data*. O’Reilly Media.
- [5] Grossmann, W., & Rinderle-Ma, S. (2015). *Fundamentals of Business Intelligence*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- [6] Hirota, K., & Pedrycz, W. (1999). Fuzzy computing for data mining. *Proceedings of the IEEE*, 87, 1575–1600.
- [7] Hudec M. (2019). Possibilities for linguistic summaries in cognitive cities. In Portmann E., Tabacchi M., Seising R., & Habenstein A. (Eds.), *Designing Cognitive Cities (47–84)*. Cham: Springer.
- [8] Hudec, M., Bednárová, E. & Holzinger, A. (2018). Augmenting statistical data dissemination by short quantified sentences of natural language. *Journal of Official Statistics*, 34, 981–1010.
- [9] Hudec, M. (2018). Quality measures of quantified linguistic summaries aggregated by the uninorm connective for dimensional data structures. *Proceedings of the XIII Balkan Conference on Operational Research*, Belgrade, 73–80.
- [10] Jensen, C.S., Pedersen, T.B., & Thomsen, C. (2010). *Multidimensional Databases and Data Warehousing*. Morgan & Claypool Publishers.
- [11] Kacprzyk, J., & Yager, R.R. (2001). Linguistic Summaries of Data Using Fuzzy Logic. *International Journal of General Systems*, 30, 133–154.
- [12] Kimball, R., & Ross, M. (2013). *The Data Warehouse Toolkit (3rd ed.)*. New York: John Wiley & Sons.
- [13] Liu, B. (2011). Uncertain Logic for Modeling Human Language. *Journal of Uncertain Systems*, 5, 3–20.
- [14] Souibguia, M., Atigui, F., Zammali, S., Cherfi, S., & Yahia, S.B. (2019). Data quality in ETL process: A preliminary study. *Proceedings of the 23rd International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information Engineering Systems*, Budapest, 676–687.
- [15] Rasmussen, D., & Yager, R.R. (1997). Summary SQL – A Fuzzy Tool for Data Mining. *Intelligent Data Analysis*, 1, 49–58.
- [16] Reiter, E. (2017). Non-experts struggle with information graphics. Source: <https://ehudreiter.com/2017/10/02/non-experts-struggle-graphs/> [accessed March 2020.]
- [17] Vaisman, A., & Zimányi, E. (2014). *Data Warehouse Systems – Design and Implementation*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- [18] Wang, R. Y., & Strong, D.M. (1996). Beyond Accuracy : What Data Quality Means to Data Consumers. *Journal of Management Information Systems*, 12, 5–33.
- [19] Wilbik, A. Barreto, D., & Backus, G. (2020). On relevance of linguistic summaries – A case study from the agro-food domain. *Proceedings of the 18th International Conference Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems (IPMU 2020)*, Lisbon, 289–300.
- [20] Yager, R.R. (1982). A New Approach to the Summarization of Data. *Information Sciences*, 28, 69–86.

Primene OI u građevinarstvu

*OR Applications in Civil
Engineering*

PRIMENA AHP METODE VIŠEKRITERIJUMSKE OPTIMIZACIJE ZA IZBOR KRANA NA VELIKIM INVESTICIONIM PROJEKTIMA

THE APPLICATION OF THE AHP METHOD FOR CRANE SELECTION IN LARGE INVESTMENT PROJECTS

NEVENA SIMIĆ¹, NATAŠA PRAŠČEVIĆ³, MARIJA IVANOVIĆ²

¹ Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, nsimic@grf.bg.ac.rs

² Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, natasa@grf.bg.ac.rs

³ Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, mpetrovic@grf.bg.ac.rs

Rezime: Izbor kрана na velikim investicionim projektima predstavlja rizičnu aktivnost za postizanje osnovnih ciljeva projekta. Kao posledica lošeg izbora kрана mogu se javiti kašnjenja zbog loše organizacije, kao i prekoračenja budžeta. Ustaljena praksa je da se izbor kрана vrši na osnovu najvećeg tereta koji se podiže i najvećeg radijusa dejstva kрана, iako je to često predmet kritike istraživača, kao i lica koja se time bave u praksi. Problem izbora kрана treba posmatrati kao problem višekriterijumske optimizacije. U ovom radu za izbor kрана na velikim građevinskim projektima korišćena je AHP metoda. Predloženi model primenjen je na studiji slučaja izgradnje jednog industrijskog objekta i dati su rezultati sa diskusijom.

Gljučne reči: AHP metoda, izbor kрана, višekriterijumska optimizacija.

Abstract: The selection of a crane on large investment projects is a risky activity to achieve the basic objectives of the project. As a consequence of poor choice of crane, there may be delays due to poor organization, as well as budget overruns. It is a well-established practice that the selection of a crane is made on the basis of the largest load being lifted and the largest radius of action of the crane, although this is often the subject of criticism by researchers as well as those who deal with it in practice. The problem of crane selection should be viewed as a problem of multi-criteria optimization. In this paper, the AHP method is used for the selection of cranes on large construction projects. The proposed model was applied to the case study of the construction of an industrial facility and the results are given with discussion.

Keywords: AHP method, crane selection, multi-criteria decision making

1. UVOD

Izbor odgovarajuće mehanizacije za vertikalni transport (pre svega kрана) se kod izgradnje velikih investicionih projekata s pravom obeležava kao rizična aktivnost. Kašnjenja zbog loše organizacije, kao i prekoračenja budžeta na ovim projektima se dešavaju veoma često. Imajući pre svega u vidu bezbednost na radu, kao i osnovne ciljeve svakog investicionog projekta (vreme, troškovi i kvalitet), izbor kрана na velikim projektima je izuzetno važna aktivnost kojoj se često ne posvećuje dovoljna pažnja.

Kran, kao mašina za unutrašnji transport materijala i elemenata objekta, predstavlja najbitniju mehanizaciju na gradilištu koja značajno utiče na budžet i rok za završetak određenog projekta. Neadekvatan izbor tipa i pozicije kрана na gradilištu može dovesti do poremećaja dinamičkog plana izvođenja radova i prekoračenja troškova.

Ustaljena praksa je da se izbor kрана vrši na osnovu najvećeg tereta koji se podiže i najvećeg radijusa dejstva kрана, iako je to često predmet kritike istraživača, kao i lica koji se time bave u praksi. Neretko, na investicionim projektima u Srbiji, zbog velike cene koštanja kрана, ovaj izbor se svodi na izbor kрана koji je u vlasništvu izvođača radova. Velika verovatnoća je da odabrani kran ne predstavlja najbolje rešenje za određeni problem unutrašnjeg transporta, tj. da bi se izbor drugog tipa kрана pokazao kao bolje rešenje čak i ako nije u vlasništvu izvođača radova, odnosno ako ga je neophodno kupiti ili iznajmiti.

Veliki broj istraživanja bavio se procedurama za izbor kрана na građevinskim projektima. U tim procedurama izbor kрана je definisan kao jedan od kritičnih faktora za dostizanje tradicionalnih ciljeva projekta (vreme, troškovi i kvalitet) (Hanna, 1999). Iz tog razloga, mnogi autori su tražili za modelom koji bi olakšao donošenje odluke o izboru najpovoljnijeg kрана i kao takav doprineo poboljšanju performansi

projekta (Warszawski, 2006, Chao, 1993, Gray and Little, 2006, Hanna, 1999, Huang, Wong and Tam, 2011).

Da bi se navedeni problem prevazišao, mnogi autori u svojim radovima napominju da problem izbora kрана treba posmatrati kao višekriterijumski problem, tj. da pri izboru kрана treba uzeti u obzir više kriterijuma. Za razvoj višekriterijumskog modela autori primenjuju različite metode (Chao, 1993, Hanna, 1999, Al-Hussein, 2012). Jedna od predloženih metoda jeste AHP (Analitički Hijerarhijski Proces). Ova metoda višekriterijumske optimizacije nalazi široku primenu u različitim segmentima upravljanja projektima u građevinarstvu (Al-Harbi, 2001, Temiz and Calis, 2017, Saaty, 1990, Lin, Wang and Yu, 2008, Cakmak and Cakmak, 2013, Nassar, Thabet and Beliveau, 2003, Shapira, Asce and Goldenberg, 2006).

Dalalah i ostali su primenili AHP metodu za odabir najboljeg kрана koji će služiti procesu izgradnje na prilično optimizovan način (Dalalah, Al-Oqla and Hayajneh, 2010). Analizirana su tri tipa kрана: toranjski, derik kрана i auto dizalice. Autori su definisali grupe kriterijuma sa podkriterijumima koji utiču na izbor kрана. Rangiranje kriterijuma je izvršeno primenom AHP metode. Prema Dalalahu i ostalima, najvažniji faktor koji utiče na izbor kрана je bezbednost. Za njim slede uslovi gradilišta, zahtevi projekta, kapaciteti kрана, i na kraju ekonomski faktor. Autori su u okviru rada razvijeni model za izbor najboljeg kрана primenili na jednu studiju slučaja kako bi prikazali funkcionisanje modela. Rezultati rada pokazuju da toranjski kran predstavlja najbolji izbor.

Skibnievski i Čao su analizirajući situaciju oko izbora povoljnije strategije između primene tradicionalnog ili polu-automatizovanog sistema toranjskog kрана za izgradnju poslovnog objekta visine 66 m formirali model primenom AHP metode sa pet hijerarhijskih nivoa. Model je zasnovan na modifikovanom i proširenom cost-benefit pristupu (Chao, 1993). Kriterijumi su hijerarhijski razvrstani na kriterijume vezane za troškove i kriterijume koji se tiču prednosti koje određeni tip kрана obezbeđuje. Skibnievski i Čao ističu da je dobra komunikacija između eksperata u procesu evaluacije neophodna kako bi se spojila sva potrebna ekspertiska znanja koja će dovesti do efikasnog ocenjivanja alternativa. N. Prašćević i Ž. Prašćević (2016, 2017) su razvili postupak AHP sa rasplnutim (fuzzy) promenljivim i parametrima i primenili ga za rangiranje alternativa prilikom donošenja odluka u upravljanju građevinskim projektima.

Model za višekriterijumski izbor kрана na velikim građevinskim projektima zasnovan na AHP metodi predložen je i opisan u ovom radu u narednim odeljcima.

2. METODOLOGIJA

2.1. Predlog procedure za višekriterijumski izbor kрана

Na Slici 1 dat je šematski prikaz predložene metodologije.



Slika 1: Predložena metodologija

Pregledom literature i anketiranjem eksperata sa višegodišnjim iskustvom u izvođenju radova analizirani su kriterijumi za izbor kрана. Predloženi su sledeći kriterijumi koje treba uzeti u obzir prilikom izbora kрана: K1 – karakteristike projekta, K2 – troškovi, K3 – tehničke karakteristike mehanizacije, K4 – uticaj na životnu sredinu. Svaki od kriterijuma se sastoji od podkriterijuma. Kriterijumi sa svojim podkriterijumima dati su u Tabeli 1.

Tabela 1: Kriterijumi i podkriterijumi

Kriterijumi	Podkriterijumi
K1 - Karakteristike projekta	Uslovi tla (nosivost tla u odnosu na opterećenja od kрана) Lokacijski uslovi (pozicija kрана i prostor za transport, montažu i demontažu kрана)
K2 –Troškovi	Koštanje radnog sata mehanizacije Kh Transport Montaža i demontaža Održavanje i amortizacija
K3 - Tehničke karakteristike mehanizacije	Pouzdanost Nosivost kрана Visina dohvata kрана Radijus dejstva
K4 - Uticaj na životnu sredinu	Potrošnja energije (u zavisnosti od pogonskog sredstva) Emisija CO ₂ Bezbednost i zdravlje ljudi

Predloženi model razmatra prethodno navedene kriterijume na osnovu ulaznih podataka. Ulazni podaci na kojima se zasniva evaluacija kriterijuma su: projektna dokumentacija, tehničke specifikacije proizvođača mehanizacije i baza istorijskih podataka sa prethodnih projekata. Evaluacija kriterijuma podrazumeva najpre određivanje najznačajnijeg kriterijuma koji najviše utiče na izbor kрана. Sledeći korak je određivanje najznačajnije alternative rangiranjem alternativa po kriterijumima. Kada je određen najznačajniji kriterijum i alternative rangirane po kriterijumima sledi određivanje cilja tj. izbor kрана.

3. AHP METODA

Analički hijerarhijski proces (AHP) je metoda višekriterijumskog odlučivanja čiju je matematičku i idejnu osnovu razvio Thomas Saaty (Saaty, 1990, Saaty, 2015). Osnovni princip ove metode je razlaganje složenog problema u hijerarhiju. Na vrhu hijerarhije je postavljen cilj, a kriterijumi, podkriterijumi i alternative su razloženi na više hijerarhijskih nivoa. Zaključivanje se vrši poređenjem elemenata u parovima na svakom hijerarhijskom nivou u odnosu na element na višem nivou, korišćenjem osnovne Saatyjeve skale. Osnovna skala koja se koristi za poređenje elemenata sastoji se od kvalitativnih ocena kojima odgovaraju numeričke vrednosti (1, 3, 5, 7, 9). Pored njih, postoje i srednje vrednosti (2, 4, 6, 8). Krajnji rezultat poređenja su vektori relativnog značaja (prioriteta) kriterijuma i alternativa u odnosu na cilj.

Rezultati poređenja elemenata na jednom hijerarhijskom nivou formiraju matrice poređenja A , gde element a_{ij} predstavlja odnos kriterijuma i prema kriterijumu j . Ukoliko ima n kriterijuma, matrica poređenja je kvadratna matrica reda n . Kako bi se očuvala konzistentnost odlučivanja, elementi a_{ij} predstavljaju recipročnu vrednost odgovarajućih elemenata a_{ji} . Elementi na dijagonali matrice jednaki su 1. Pri idealno konzistentnom vrednovanju, matrica A bi se dobila iz odnosa relativnih težinskih koeficijenata kriterijuma:

$$A = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & w_2/w_n \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & w_n/w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{2n} \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{nn} \end{bmatrix},$$

gde je w_i relativni težinski koeficijent elementa i .

Postoji više definisanih metoda za određivanje težinskih koeficijenata $W^T = [w_1, \dots, w_n]$. Saaty je predložio da se najpre odredi sopstvena vrednost λ_{\max} matrice A . Uzimajući u obzir da važi:

$$\begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & w_2/w_n \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & w_n/w_n \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_n \end{bmatrix} = \lambda * \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_n \end{bmatrix},$$

vektor sopstvenih vrednosti matrice se može definisati kao vektor približnih vrednosti težinskih koeficijenata W^T .

Jedna od pomenutih metoda za dobijanje vektora w jeste rešavanje sistema linearnih jednačina:

$$A \cdot W = \lambda \cdot W \text{ ili } (A - \lambda \cdot I) \cdot W = 0, \quad (1)$$

gde je I jedinična matrica.

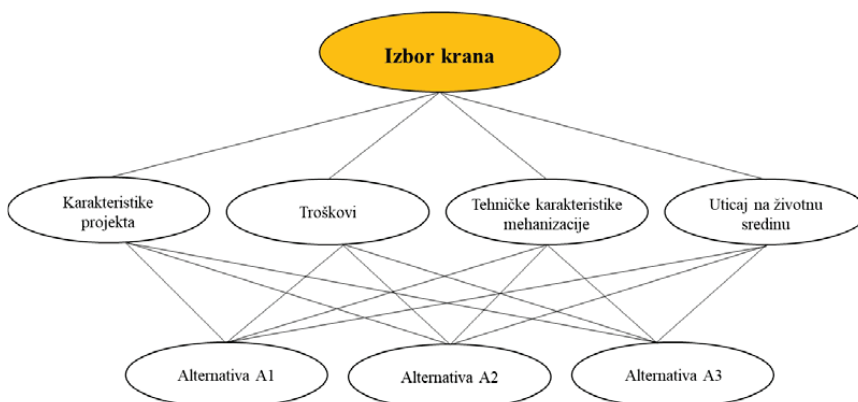
Kako bi elementi vektora W bili jedinstvene vrednosti, oni se normalizuju tako što se podele svojom sumom. Potom se vrši množenje vektora W sa težinskim koeficijentom elementa na višem hijerarhijskom nivou koji je u procesu poređenja upotrebljen kao kriterijum, ponavljajući postupak od viših ka nižim nivoima. Kompozitni relativni težinski koeficijenti elemenata na nižim nivoima se određuju pomoću težinskih koeficijenata koji se sračunavaju za svaki element na datom nivou. Kada je postupak sproveden do najnižeg hijerarhijskog nivoa (alternativa), definišu se kompozitni težinski koeficijenti za svaku alternativu. Zbir kompozitnih koeficijenata iznosi 1. Kao rezultat sprovedenog postupka dobijaju se dve ključne informacije za proces odlučivanja: značaj svake alternative u odnosu na cilj i rangiranje alternativa prema značaju.

4. PRIMER SA REZULTATIMA I DISKUSIJOM

Studija slučaja izgradnje industrijskog objekta kod koga je proces izbora kрана ranije završen i čije je izvođenje još uvek u toku korišćena je kako bi se pokazala predložena metodologija. Kранаovi koji su izabrani da opslužuju gradilište su u vlasništvu izvođača radova. Osnovna svrha modela je ocena da li je usvojeno rešenje zaista najbolja opcija, tj. u kojoj meri je prilikom izbora kрана moguće uzeti u obzir i druge kriterijume koji bi možda vodili do izbora drugog rešenja i pospešili dostizanje osnovnih ciljeva projekta.

Izabrani kранаovi su tipa Liebherr LM 120 HC i postavljeni su tako da je visinska razlika između kранаova dovoljna da ne postoje prostorni sukobi niti sučeljavanja. Visina objekta iznosi 55.95 m. Krovna i fasadna konstrukcija su projektovane kao noseća čelična konstrukcija. Objekat ima kružni poprečni presek prečnika 38.5 m. U blizini objekta nema susednih objekata koji bi ograničavali izbor kрана. Sva skladišta i zone montaže nalaze se uz sam objekat.

AHP model se sastoji od tri alternative A1, A2 i A3 i četiri kriterijuma. Hijerarhijska struktura modela je prikazana na Slici 2.



Slika 2: Hijerarhijska dekompozicija modela

Na Slici 2 su lako uočljiva tri nivoa modela. Najviši nivo predstavlja cilj problema - izbor kрана, na drugom nivou su četiri kriterijuma koji doprinose cilju i na trećem nivou su tri alternative. Kriterijumi sa svojim podkriterijumima detaljnije su opisani u Tabeli 1. Vrednosti podkriterijuma za kriterijum K2 (Troškovi) sračunate su za sve alternative pomoću poznatih formula za proračun koštanja radnog sata mehanizacije (Kh). U obzir su uzete činjenice da li je kрана u vlasništvu Izvođača ili ga je potrebno iznajmiti. Potrošnje energije u zavisnosti od pogonskog sredstva sračunate su takođe pomoću pomenutih formula. Vrednosti emisije SO₂ određene su pomoću predložene metodologije (Bouferguene et al., 2013). Sve ostale potrebne vrednosti preuzete su iz tehničkih specifikacija proizvođača mehanizacije. Kvalitativni podkriterijumi su svedeni na kvantitativne ocenama nezavisnih eksperata. Svakom podkriterijumu dodeljene su ocene od 1 do 5. Ocene definišu u kojoj meri je neka alternativa zadovoljila određeni podkriterijum, gde 1 predstavlja ocenu dovoljno, a 5 ocenu odlično.

Alternative koje se razmatraju u predmetnoj studiji slučaja su: A1 – toranjski kрана Liebherr 130 ES-V 6, A2 – kрана Potain MCT 178, A3 – postojeće rešenje (dva kрана tipa Liebherr LM 120 HC). Treća alternativa

su dva kрана koja su u vlasništvu Izvođača, a prve dve su kranovi koji su dostupni Izvođaču za iznajmljivanje na tržištu Srbije.

Procenjivanje alternativa i međusobno poređenje kriterijuma izvršeno je anketiranjem nezavisnih eksperata. Anketirana su tri nezavisna eksperta sa dugogodišnjim iskustvom u izgradnji investicionih projekata. Dva eksperta su građevinske struke, dok je jedan mašinske struke, što je dobra kombinacija s obzirom na predmet problema. Svaki ekspert vrši procene kriterijuma poređenjem parova kriterijuma. Poređenja kriterijuma svakog eksperta obrazuju poredbenu matricu. Normalizovani sopstveni vektor matrice poređenja predstavlja vektor težinskih koeficijenata kriterijuma za svakog eksperta. Finalni težinski koeficijenti kriterijuma predstavljaju aritmetičku sredinu ako se uzme u obzir jednako učešće eksperata (Cho and Cho, 2008).

Tabela 2: Prosečni težinski koeficijenti kriterijuma

ω_1	ω_2	ω_3	ω_4
0,0709	0,2180	0,5255	0,1856

Iz Tabele 2 se može zaključiti da tehničke karakteristike mehanizacije (kriterijum K3) sa 52.55% i dalje imaju vodeći značaj pri izboru kрана. Pokazalo se takođe da kriterijumi K2 (troškovi) i K4 (uticaj na životnu sredinu) sa 17.32% i 16.99% respektivno, takođe značajno utiču na izbor kрана na gradilištu.

Naredni korak je procena alternative za svaki pojedinačni kriterijum imajući u vidu cilj modela. Ove procene alternativa u odnosu na kriterijum su elementi u matricama poređenja alternativa. Alternative su rangirane prema svakom od kriterijuma u Tabeli 3. Rangiranje je izvršeno na osnovu sopstvenih vektora poredbenih matrica alternativa.

Tabela 3: Matrica rangiranja alternativa po kriterijumima

	K1	K2	K3	K4
A1	0.083	0.057	0.057	0.074
A2	0.193	0.295	0.649	0.643
A3	0.724	0.649	0.295	0.283

U Tabeli 4 prikazano je finalno rangiranje alternativa na osnovu finalnog vektora prioriteta za alternative (sopstvenog vektora cilja). Sopstveni vektor cilja određen je množenjem sopstvenog vektora poredbene matrice kriterijuma i matrice rangiranja alternativa po kriterijumima.

Tabela 4: Finalno rangiranje alternativa

A1	A2	A3
0,0618	0,5382	0,4000

Iz tabele 4 se može zaključiti da je, uzimajući u obzir težinske koeficijente kriterijuma, alternativa A2 najbolje rangirana, a da za njom sledi alternativa A3. Ovo pokazuje da alternativa A2 predstavlja kran koji najbolje zadovoljava višekriterijumski postavljen problem izbora kрана primenom metode AHP. Postojeće rešenje (alternativa A3) je najbolje rešenje u pogledu troškova s obzirom da nema troškova iznajmljivanja mehanizacije, ali kada se uzmu u obzir i drugi kriterijumi, ona ne predstavlja optimalno rešenje.

5. ZAKLJUČAK

U predloženom modelu izbora kрана na velikim investicionim projektima problem izbora kрана razmatran je kao problem višekriterijumske optimizacije. Za određivanje optimalnog rešenja korišćena je AHP metoda. Model koji je predstavljen u ovom radu primenjen je na studiji slučaja izgradnje jednog industrijskog objekta. Evaluacija modela izvršena je na osnovu definisanih kriterijuma, dostupnih ulaznih podataka i procena nezavisnih eksperata. Pored tehničkih karakteristika mehanizacije, uzeti su u obzir i kriterijumi vezani za karakteristike projekta, troškove i uticaj na životnu sredinu. Rangiranjem kriterijuma primenom AHP metode pokazano je da kriterijum koji se odnosi na tehničke karakteristike mehanizacije učestvuje u procesu selekcije sa 52.55%, ali i da ne treba zanemariti i druge kriterijume kao što su troškovi i uticaj na životnu sredinu. Optimalna alternativa prikazane studije slučaja je kran sa приметно višim troškovima u odnosu na troškove ostalih alternativa, ali koji znatno bolje zadovoljava ostale definisane kriterijume.

LITERATURA

- [1] Al-Harbi, K. M. A. (2001). Application of the AHP in project management. *International Journal of Project Management*, 19, pp. 19–27.
- [2] Al-Hussein et al. (2012). An algorithm for mobile crane selection and location on construction sites. *Construction Innovation*, 1 (2), 91-105.
- [3] Bouferguene, A. et al. (2013). Productivity and CO₂ emission analysis for tower crane utilization on high-rise building projects. *Automation in Construction*, 31, 255–264.
- [4] Cakmak, P. I. and Cakmak, E. (2013). An Analysis of Causes of Disputes in the Construction Industry Using Analytical Network Process. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 109, 183–187.
- [5] Chao, L. (1993). Evaluation of advanced construction technology with AHP method. *Journal of Construction Engineering and Management*, 118 (3), 577–593.
- [6] Cho, Y. and Cho, K. (2008). A loss function approach to group preference aggregation in the AHP. *Computers and Operations Research*, 35 (3), 884–892.
- [7] Dalalah, D., Al-oqla, F. and Hayajneh, M. (2010). Application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) in Multi- Criteria Analysis of the Selection of Cranes. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 4 (5), 567–578
- [8] Hanna (1999). A fuzzy logic approach to the selection of cranes. *Automation in Construction*, 8 (5), 597–608.
- [9] Gray, C. and Little, J. (2006). A systematic approach to the selection of an appropriate crane for a construction site. *Construction Management and Economics*, 3 (2), 37–41.
- [10] Huang, C., Wong, C. K. and Tam, C. M. (2011). Optimization of tower crane and material supply locations in a high-rise building site by mixed-integer linear programming. *Automation in Construction*, 20 (5), 571–580.
- [11] Lin, C., Wang, W. and Yu, W. (2008). Improving AHP for construction with an adaptive AHP approach (A³). *Automation in Construction*, 17 (2), 180–187.
- [12] Nassar, K., Thabet, W. and Beliveau, Y. (2003). A procedure for multi-criteria selection of building assemblies. *Automation in Construction*, 12 (5), 543–560.
- [13] Prašević, N., Prašević, Ž. (2016). Application of Fuzzy AHP method Based on Eigenvalues for Decision Making in Construction Industry, *Technical Gazette*, 23(1), 57-64.
- [14] Prašević, N., Prašević, Ž. (2017). Application of Fuzzy AHP for Ranking and Selections of Alternatives in Construction Project Management, *Journal of Civil Engineering and Management*, 23 (8), 1123-3730.
- [15] Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26.
- [16] Saaty, T. L. (2015). Axiomatic foundation of the Analytic Hierarchy Process. *Management Science*, 32 (7), 841–855.
- [17] Shapira, A., Asce, M. and Goldenberg, M. (2006). AHP-Based Equipment Selection Model for Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131 (12), 1263–1273.
- [18] Temiz, I. and Calis, G. (2017). Selection of Construction Equipment by Using Multi-criteria Decision Making Methods. *Procedia Engineering*, 196, 286–293.
- [19] Warszawski, A. (2006). Expert systems for crane selection. *Construction Management and Economics*, 8 (2), 179-190.

BIM U GRAĐEVINARSTVU

BIM IN CIVIL ENGINEERING

LJUBO MARKOVIĆ¹, LJILJANA MILIĆ MARKOVIĆ²

¹ Univerzitet u Prištini - 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: *Building Information Modelling (BIM) podrazumeva izradu višedimenzionalnog informacionog modela objekta, koji se zasniva na osnovnom 3D modelu i omogućava deljenje informacija među učesnicima u projektu tokom celog životnog veka objekta. U radu je ukazano na značaj primene BIM tehnologije u građevinarstvu i njenu ulogu u procesu planiranja, projektovanja, izgradnje i održavanja objekata.*

Cljučne reči: *BIM, informacioni model, građevinarstvo, planiranje, projektovanje, izgradnja, održavanje*

Abstract *Building Information Modelling (BIM) means developing of multi-dimensional information model of a building, which is established on a basic 3D model and enables information sharing among the participants on a project during the entire lifetime of a building. The paper presents the significance of BIM technology in civil engineering and its role in the process of planning, designing, construction and maintenance of a building.*

Keywords: *BIM, information model, civil engineering, planning, designing, construction, maintenance.*

1. UVOD

Globalizacija, ekonomska kriza u poslednjih nekoliko godina i borba za nova tržišta izazvala je značajne promene u građevinarstvu. Smanjenje investicija i ulaganja u građevinske projekte dovelo je do zaoštavanja konkurencije među građevinskim firmama koje, da bi zadržale konkurentnost i ostale profitabilne u ovako izazovnoj poslovnoj klimi, moraju usvajati nove načine rada, alate i tehnologije.

Vodeća metodologija koja objedinjuje takve procese je BIM-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). BIM omogućava objektu da bude izgrađen virtuelno pre fizičke izgradnje, eliminišući tako dosta problema koji se javljaju tokom izgradnje. BIM je proces koji može da obuhvati kompletan životni ciklus objekta - od početne ideje do korišćenja objekta nakon izgradnje. BIM je zajednički izvor informacija o formiranom objektu, pouzdana osnova za odluke tokom njegovog životnog ciklusa (od ideje o izgradnji do korišćenja i rušenja). Osnovna premisa BIM-a je saradnja različitih aktera u različitim fazama životnog ciklusa objekta prilikom dodavanja, izdvajanja, ažuriranja ili modifikacija informacija u BIM-u, da podrži i ukaže na ulogu tog aktera (NBIMS 2010).

BIM je zapravo sličan konceptu PLM (Product lifecycle management - upravljanje životnim vekom proizvoda) jer dotiče teme kao što je upravljanje troškovima, projektni menadžment, ali dozvoljava i istovremeni rad na većini različitih aspekata korišćenja objekta (Build 2010). Najveća prednost BIM-a je pouzdanim prenos informacija između različitih projektnih timova, ali i projekatana i izvođača, odnosno, po završetku projekta, pristup pouzdanim informacijama za one koji održavaju objekat (KGH sisteme, vodovod i kanalizaciju, itd).

Svest o prednostima BIM-a iz godine u godinu raste. Prednosti BIM-a koje se najčešće ističu su: bolja vizuelizacija, unapređena produktivnost zbog jednostavne izmene informacija, bolja koordinacija svih projektnih dokumenata, dodavanje i povezivanje ključnih informacija (specifikacija materijala, položaj detalja i parametri količina potrebni za narudžbinu i proračun troškova), brže projektovanje i smanjenje troškova.

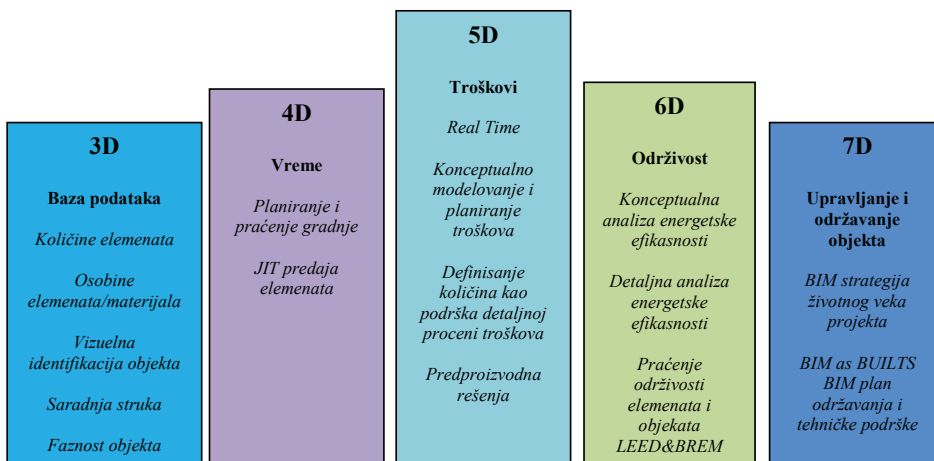
BIM je postao standard u velikom broju zemalja širom sveta, kao i Evropske Unije. U Severnoj Americi od 2007. godine do 2012. godine upotreba BIM, u raznim sferama inženjerstva, porasla je sa 28% na 71%. I na našim prostorima, u poslednjih par godina, sve više inženjera uvida da je BIM jedno od najperspektivnijih otkrića koje svoju primenu nalazi u arhitekturi, inženjerstvu i građevinskoj industriji (Ninkov et al. 2016).

Plan udruženja BIM Srbija, koje promoviše primenu i standardizaciju informacionih tehnologija i nauka u građevinarstvu, jeste da do 2022. godine BIM softver postane obavezan, kako bi građevinska industrija postala efikasnija (<https://bim-serbia.com/>).

2. PRIMENA BIM-A

2.1 Primena BIM-a u procesu projektovanja

Dosadašnji način projektovanja podrazumevao je kreiranje objekta u 2D ravni (osnove, karakteristični preseci, izgledi). Proces počinje izradom 2D crteža 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 osnova 3D model nad kojim se razvijaju dodatne dimenzije - vreme (4D), troškovi (5D), održivost i potrošnja energije (6D), upravljanje i održavanje objekta (7D).



Slika 1: Proces razvoj BIM-a

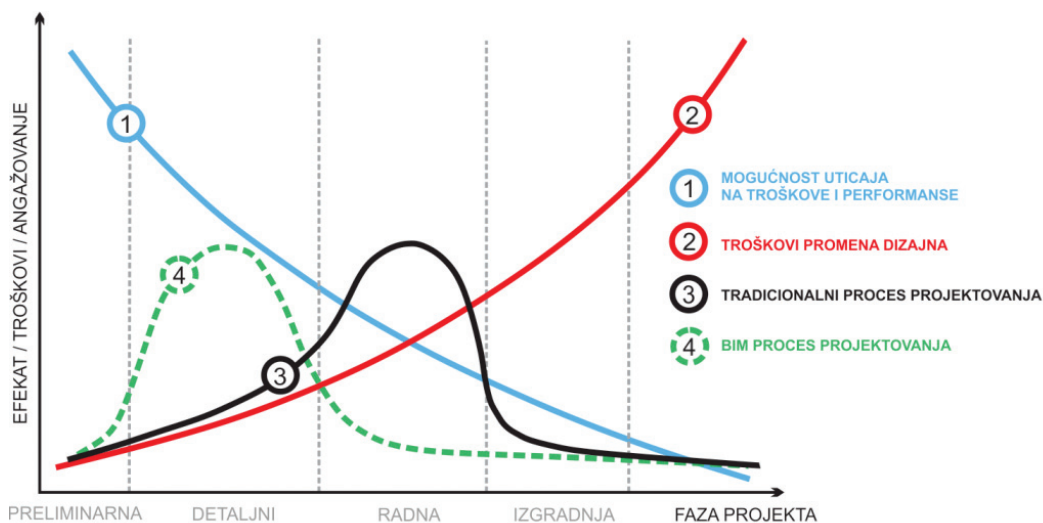
Proces projektovanja primenom BIM-a počinje od osmišljavanja dizajna koncepta objekta, a završava se izradom projektne dokumentacije koja omogućava investitoru izgradnju objekta. BIM predstavlja stvaranje i korišćenje koordinisanog, jedinstvenog i preciznog 3D modela objekta koji kao podlogu ima sistem informacija. Informacije o projektu dobijene na osnovu digitalnog prikaza objekta mogu se koristiti za simulaciju različitih varijanti rešenja i njihovo ispitivanje, detaljnu analizu i predviđanje performansi objekta u izgrađenom okruženju, izradu kompletne projektne dokumentacije, detaljnu specifikaciju materijala i procenu troškova buduće izgradnje (www.autodesk.osa.rs).

BIM objedinjuje geometriju, prostorne odnose, analizu osvetljenja, geografske parametre, količine i tehnički opis elemenata (specifikaciju materijala, isporučioaca potrebnog materijala, izvođača radova) (Sabadoš *et al.* 2016). Određeni sistemi ili pozicija rada mogu biti posebno definisani, izdvojeni iz projekta i prikazani u odgovarajućoj razmeri u odnosu na ceo objekat (Build 2010).

BIM način projektovanja kreira bazu podataka u kojoj se na jednom mestu nalaze u digitalnom formatu informacije o određenom projektu (površinama i zapreminama, redosledu gradnje), posebnom elementu (dimenzije, količina materijala, cena, proizvođač, boja). Baze podataka su dostupne svim učesnicima u projektu - kako projektantima svih uključenih struka, proizvođačima opreme, investitorima itd.

Kao finalni produkt projektovanje pomoću BIM-a, sva projektna dokumentacija i crteži u 2D ravni mogu biti kreirani direktno iz informacionog modela objekta. Sam model može poslužiti za upoređenje sa izgrađenim delovima pa čak i za poslovanje i održavanje tokom eksploatacije (www.cenews.com).

Projektovanje pomoću BIM-a osigurava puno kvalitetniji uvid u osobine objekta koji se projektuje, što utiče na kvalitet projekta i efikasnost projektovanja. Takav uvid omogućava kvalitetnije projektantske odluke, smanjuje mogućnost grešaka i previda, smanjuje troškove projektovanja i pojavu nejasnoća u toku gradnje.



ORIGINALNI GRAFIK: Patric MacLeamy

Slika 2: Uticaj BIM-a na troškove projekta
(preuzeto: <https://www.revit4you.com/bim/>)

Ukoliko se tokom izgradnje objekta ukaže potreba za izmenom projekta, sve izmene se vrše na jedinstvenom 3D modelu. Sve mere potrebne za izgradnju uzimaju se direktno sa digitalnog modela čime se sprečavaju greške izgradnje usled preklapanja i multiplikovanja projektne dokumentacije.

Ovakav pristup projektantima osigurava konzistentnije i predvidivije ishode, što povećava zadovoljstvo klijenata.

BIM softveri za projektovanje arhitektonskih i građevinskih objekata prisutni su u građevinarstvu već preko dve decenije. Poslednjih godina preuzeli su primat nad klasičnim CAD konceptom.

Revit softver je posebno napravljen za BIM, sa ciljem da osposobi arhitektonske i građevinske inženjere da ideju dovedu do izgradnje pristupom zasnovanim na koordiniranom i konzistentnom modeliraju (Sabadoš *et al.* 2016). To uključuje funkcionalnost svih Revit disciplina (arhitektura, mašinstvo, energetika, instalacije, građevinarstvo) u jedan jedinstveni interfejs. Trenutno najrazvijenija i najpopularnija BIM aplikacija za projektovanje u visokogradnji je Autodesk Revit koji se deli na:

- Revit Architecture - Autodesk Revit Architecture automatski gradi parametarski okvir oko modela, nudeći veći nivo kreativne kontrole, preciznosti i fleksibilnosti. Program podržava ranu analizu objekta, pa projektni tim može da bude bolje informisan i da donosi važne odluke pri samim začetima projekta. Na taj način se daje mogućnost da se na vreme definišu površine i zapremine, orijentacija prema dnevnom svetlu, geodetska podloga, energetska analiza objekta, pa čak i količina potrebnih materijala;
- Revit Structure - Autodesk Revit Structure smanjuje vreme potrebno za izradu celokupne projektne dokumentacije. Zbog toga što koristi BIM, svaki nacrt ili bilo koja informaciju se povlači iz iste baze podataka (modela). Izmene na konstrukciji objekta parametarska tehnologija u Revitu automatski koordinira i ažurira kroz ceo projekat i sve osnove, preseke, izgleda;
- Revit MEP - Autodesk Revit MEP služi za projektovanje instalacija u građevinarstvu kao i kontrolu kolizije između elemenata instalacija i građevinskih elemenata ili instalacija različitih struka. S Revit MEP-om inženjeri mogu pravovremeno da donose odluke jer mogu precizno da odrede položaj instalacija već u fazi projektovanja, što dovodi do boljih, tačnijih i jeftinijih projekata, kraćeg vremena izrade projekata kao i eliminaciju izmena u fazi izvođenja. Izradom BIM modela instalacija u Revit MEP-u smanjuje se mogućnost grešaka i poboljšava se saradnja, odnosno, koordinacija između inženjera različitih struka. Revit MEP podijeljen je u tri grupe: Mechanical - sistemi grejanja, hlađenja i ventilacije, Electrical - električne instalacije, Plumbing - vodovod, kanalizacija, sprinkler i hidrantska mreža.

Pored Revit-a, u upotrebi su i Tekla, AlarmCAD, ArchiCad, AutoCad AEC, Applications, Auto SPRINK, Bentley Building, CAD Pipe, Design Master Software, Fire Acad, Generative Components. Neka popularnija

BIM softverska rešenja za modelovanje cevi, instalacija i metalnih konstrukcija su: Revit, InfiPoints i EdgeWise (Sabadoš *et al.* 2016).

2.2 Primena BIM - a u projektovanju i gradnji puteva i pruga

BIM nije ograničen samo na primenu u visokogradnji. BIM su vrlo brzo prepoznali i građevinski inženjeri kao alat koji omogućava brzo i pametno projektovanje puteva i pruga (www.acronymonline.org). Primena BIM-a kod projektovanja puteva i pruga počinje izradom kvalitetnih 3D podloga terena, kao što su digitalni model terena (DTM) i digitalni model površi (DSM) (Ninkov *et al.* 2016). Zatim se nastavlja modelovanjem na bazi relevantnih informacija o projekt dizajnu i prostornom položaju objekta. To dovodi do izrade inteligentnog 3D modela čiji elementi su povezani dinamički, ne samo tačkama, površinom, ravnima, već bogatim skupom zajedničkih podataka (www.cenews.com).

Najveće prednost BIM projektovanja puteva i pruga jeste kvalitetniji projekat i povećana efikasnost i produktivnost. Zbog dinamičke povezanosti projekta i građevinske dokumentacije, vreme potrebno za kreiranje alternativnih rešenja, izmene projekta i dokumentacije je znatno umanjeno. Poseban značaj ovoga ogleđa se u mogućnosti planiranja dostave materijala na gradilište, što skraćuje vreme realizacije projekta i gradnju po predvidljivijem rasporedu. Pored efikasnosti i produktivnosti informacioni model objekta omogućava optimizaciju na bazi vizualizacije, simulacije i raznih analiza u sklopu projekta. Time se znatno redukuju potencijalni problemi gradnje pre nego što do njih dođe i na taj način štedi novac koji bi bio potrošen na eventualne parnice (www.cenews.com).

Program AutoCAD Civil 3D je Autodesk BIM rešenje u niskogradnji (www.teamcad.rs).

2.3 Primena BIM-a u kontroli izgradnje

Kod tradicionalnog pristupa, kontrola izgradnje se može vršiti u grubim okvirima i to pre svega u gabaritima objekta, dok se kontrola unutrašnjosti gotovo ne praktikuje i precizna realizacija se svodi na umeće majstora. Razvoj savremenih tehnologija poput laserskog skeniranja (Light Detection and Ranging-LiDAR) i bespilotnih letelica (Unmanned aerial vehicle-UAV) omogućio je prikupljanje velike količine prostornih podataka u kratkom vremenskom interval (Ninkov *et al.* 2016). Kao produkt primene pomenutih tehnologija moguće je kreirati 3D model izvedenog stanja objekta (informacije o trenutnom stanju izvedenih radova, procena količina izvedenih radova daje se u stvarnom vremenu, detaljne informacije o uslovima na lokaciji) koji se može koristiti za razne analize i komparaciju projekta i izvedenog stanja, kao i kontrolu poštovanja urbanističkih uslova. Primena ovih tehnologija predstavlja značajan korak u kontroli izgradnje i omogućava brz i efikasan uvid u eventualna odstupanja od projektne dokumentacije (Ninkov *et al.* 2016). Prikupljeni podaci se mogu koristiti za modelovanje unutrašnjih i spoljašnjih površina objekta u postupku stvaranja BIM postojećeg objekta. Ovo je od posebnog značaja prilikom upravljanja većim i kompleksnijim gradilištima (Ninkov, Sabadoš, Ninkov, 2016).

2.4 Primena BIM-a u procesu održavanja objekata

Troškovi održavanja objekta su najčešće veći od troškova njegovih ostalih životnih faza-u zavisnosti od vrste objekta prosečno iznose 60% celokupnih troškova njegovog trajanja (Liu 2012). Za uspešno upravljanje održavanjem objekta neophodna je saradnja svih učesnika na projektu, od stručnjaka za održavanje objekta do onih koji su uključeni u projektovanje, a potom i izvođenje samog objekta. Lakšu interoperabilnost i saradnju svih učesnika omogućava primena BIM tehnologija koja podrazumeva izradu višedimenzionalnog informacionog modela koji uz 3D geometriju sadrži i bitne informacije o elementima objekta, te obuhvata sve učesnike u procesu građenja. Spajanje 3D modela objekta sa pripadajućim relevantnim informacijama potrebnim za kvalitetno održavanje objekta omogućava smanjenje troškova i vremena potrošenog na održavanje i pronalaženja optimalnih rešenja u održavanju (Volk *et al.* 2014). BIM i automatizaciju takođe je moguće zajednički koristiti za unapređenje tradicionalnih metoda u građevinarstvu (Ding *et al.* 2014), pa tako i u korišćenju i održavanju objekata.

2.5 Formiranje BIM-a starih-postojećih objekata

U mnogim zemljama teži se ka tome da se formira BIM model postojećeg stanja lokacije, postojećih objekata ili određenog dela postojećeg objekta koji će u budućnosti poslužiti za potrebe daljeg održavanja i revitalizacije. Taj proces nosi mnoge probleme jer mora sadržati sve informacije. Parcijalno unošenje samo onih poznatih predstavlja potencijalnu opasnost, jer budući korisnici BIM-a podrazumevaće da se u njemu nalaze apsolutno svi podaci o objektu na kojem se preduzimaju intervencije (Build 2010).

Ovaj model može se razviti primenom LiDAR i UAV tehnologija koje omogućavaju kreiranje detaljnog georeferenciranog površinskog modela objekta, bilo da se radi o objektu, unutrašnjosti objekta, putu ili pruži (Sabadoš *et al.* 2016) ili konvencionalnih tehnologija geodetskog snimanja, u zavisnosti od toga šta je potrebno.

LiDAR i UAV tehnologija omogućavaju kreiranje površinskog modela, dok georadar omogućava da se prikupe značajne informacije ispod površine (Ninkov *et al.* 2016). Primena georadara, LiDAR i UAV tehnologija omogućavaju dobijanje preciznih informacija koji predstavljaju osnovu za kreiranje detaljnog 3D modela. U narednoj fazi stvaranja BIM-a postojećeg objekta potrebno je bazu podataka dopuniti značajnim informacijama o delovima objekta (kod puteva to bi moglo biti ujedno i kontrola izgradnje, jer pruža uvid u debljinu slojeva puta kao i registraciju pratećih vodova i instalacija). Informacije od značaja za bazu podataka odnosile bi se na to ko je izvođač radova, koštanje radova, godinu izgradnje, proizvođači pojedinih delova objekta i rok trajanja istih, dimenzije pojedinih delova, informacije o održavanju i potrošnji i mnoge druge (Ninkov *et al.* 2016). Time bi se zaokružio proces kreiranja i ostvarila dalja mogućnost premene BIM tehnologije u daljoj eksploataciji objekta (Ninkov *et al.* 2016).

2.6 Primena BIM-a u geodeziji

Uloga geodezije u stvaranju BIM-a jeste da na bazi merenja obezbedi informacije o fizičkim i funkcionalnim karakteristikama mesta i prezentuje ih u digitalnom formatu. Bilo da se radi o terenu, projektu praćenja implementacije planske dokumentacije ili o kreiranju BIM-a postojećeg objekta, savremene tehnologije prikupljanja prostornih podataka omogućuju kreiranje detaljnih i kvalitetnih digitalnih reprezentata stvarnih objekata.

Razvoj savremenih geodetskih tehnologija poput LiDAR (laserskog skeniranja) i UAV (bespilotna letelica) omogućio je prikupljanje velike količine prostornih podataka u kratkom vremenskom intervalu (Sabadoš *et al.* 2016).

Upravljanje zemljištem i katastrom jeste još jedna od sfera gde primena BIM tehnologija ima značajnu ulogu. BIM potencijalno može ponuditi neke pogodnosti u upravljanju slojevitim katastarskim prostorom u urbanim sredinama. Širok spektar prostornih i semantičkih informacija o fizičkim strukturama unutar modela omogućio bi razumevanje katastarskih granica, pružajući nedvosmisleno podelu vlasništva, prava, obaveza i ograničenja (Sabadoš *et al.* 2016). Osim toga, korišćenjem BIM-a za upravljanje katastarskim podacima moglo bi unaprediti postojeći analogni 2D sistem upravljanja zemljištem u 3D-digitalni, inteligentni, interaktivni i dinamički (Atazadeh *et al.* 2016). Primenom BIM tehnologija omogućilo bi se i interaktivno upravljanje životnim ciklusom objekta i time dobila informacija o vrednosti objekta (Atazadeh *et al.* 2016).

3. ZAKLJUČAK

Building Information Modeling (BIM) predstavlja simulaciju i optimizaciju procesa planiranja i izgradnje objekata na osnovu sveobuhvatnih digitalnih modela. BIM nudi značajne prednosti u odnosu na tradicionalne metode planiranja zato što u svakom trenutku omogućava pristup detaljnim informacijama o svim komponentama objekta, a svaki detalj procesa projektovanja i izvođenja može biti pažljivo planiran, izgrađen i analiziran unapred, da bi se umanjili rizici. BIM je bogat podacima, objektno orijentisan, inteligentan i parametarski digitalni reprezent stvarnog objekta koji omogućava različitim korisnicima različite poglede. Izdavanje podataka od interesa, omogućava vršenje analiza i simulacija iz kojih mogu prosteći značajne informacije, koje mogu biti upotrebljene u procesu odlučivanja i donošenju odluka i na osnovu kojih se može unaprediti proces projektovanja i izgradnje objekata (Kolbe 2007).

Najveća prednost primene BIM tehnologija je pouzdaniji prenos informacija između različitih projektnih timova, ali i projektanata i izvođača, odnosno, po završetku projekta, pristup pouzdanim informacijama za one koji održavaju objekat. Kako se upotreba BIM-a povećava, saradnja projektnih timova raste, što će dovesti do poboljšanja profitabilnosti, smanjenja troškova, boljeg upravljanja vremenom i poboljšanih odnosa sa klijentima.

S obzirom da je građevinarstvo u svakoj državi pokazatelj ali i pokretač ekonomije, jasno je da i država treba da bude zainteresovana za bolju komunikaciju na građevinskim projektima koju omogućavaju BIM tehnologije.

Pored brojnih prednosti koje ova tehnologija donosi u građevinskoj industriji, ostale struke ne bi smele zanemariti njene mogućnosti i trebale bi iskoristiti njen potencijal.

LITERATURA

- [1] Atazadeh B., Kalantari M., Rajabifard A., Ho S., Ngo T.(2016). Building Information Modelling for High-rise Land Administration. Transactions in GIS. doi:10.1111/tgis.12199. ISSN 1467-9671.
- [2] Behnam Atazadeh, Mohsen Kalantari, Abbas Rajabifard, Tom Champion.(2016). Filling the space. RICS Land Journal. Royal Institution of Chartered Surveyors.
- [3] Build magazine(2010). Br 15.
- [4] Ding, L., Wei, R., Che, H. (2014) Development of a BIM-based automated construction system, Procedia Engineering, 85, pp. 123- 131, doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.536.
- [5] Hardin, B. (2009). BIM and Construction Management, Indianapolis: Wiley Publishing, IN.
- [6] Kolbe, T. H. (2007). CityGML - 3D Geospatial and Semantic Modelling of Urban Structures. Institute for Geodesy and Geoinformation Science. Berlin University of Technology.
- [7] Liu, R., Issa, R.R.A. (2012). Automatically updating maintenance information from a BIM database. International Conference on Computing in Civil Engineering. Clearwater Beach. pp. 373-380.
- [8] NBIMS (2010) National Building Information Modeling Standard. Online at http://www.wbdg.org/pdfs/NBIMSv1_p1.pdf
- [9] Ninkov T., Sabadoš I., Sušić Z., Batilović M., Bulatović V. (2016). BIM tehnologija i njena primena kod projektovanja i gradnje puteva. Drugi srpski kongres o putevima. Beograd.
- [10] Ninkov T., Sabadoš I., Ninkov J. (2016) BIM tehnologija i njena primena u postupku praćenja implementacije planske dokumentacije u urbanim sredinama, 12. Naučno stručni skup „Letnja škola urbanizma“, Maj 17-19. Jagodina.
- [11] Sabadoš I., Ninkov T., Petković M., Batilović M., Antonić N.(2014). BIM i geodezija, JOURNAL OF FACULTY OF CIVIL ENGINEERING 30.
- [12] Volk, R., Stengel, J., Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs. Automation in Construction. 38, pp. 109-127, doi. org/10.1016/j.autcon.2013.10.023.
- [13] <http://autodesk.osa.rs/proizvodi/arhitektura-i-gradjevinarstvo>. Pristupljeno 06.06.2020.
- [14] http://cenews.com/article/6098/what_does_bim_mean_for_civil_engineers/. Pristupljeno 06.06.2020.
- [15] <https://www.revit4you.com/bim/>. Pristupljeno 06.06.2020.
- [16] <http://www.teamcad.rs/>. Pristupljeno 06.06.2020.
- [17] <https://bim-serbia.com/>. Pristupljeno 08.06.2020.
- [18] <https://www.acronymonline.org/bim-isnt-buildings-means-public-sector-highway-design/>. Pristupljeno 08.06.2020.



EFIKASNOST ONLINE PRIPREMNE NASTAVE ZA UPIS NA TEHNIČKE FAKULTETE NA PRIMJERU ARHITEKTONSKO-GRAĐEVINSKO-GEODETSKOG FAKULTETA U BANJOJ LUCI

EFFICIENCY OF ONLINE PREPARATORY COURSES FOR ENROLLMENT IN TECHNICAL FACULTIES ON THE EXAMPLE OF THE FACULTY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY IN BANJA LUKA

SANDRA KOSIĆ-JEREMIĆ¹, MAJA ILIĆ², SNJEŽANA MAKSIMOVIĆ³

¹ Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Banja Luka, sandra.kosic.jeremic@aggf.unibl.org

² Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Banja Luka, maja.ilic@aggf.unibl.org

³ Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Banja Luka, snjezana.maksimovic@aggf.unibl.org

Rezime: U radu je analiziran uspjeh kandidata koji su polagali prijemni ispit za upis na Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci. Poređen je uspjeh kandidata u odnosu na način pripreme za prijemni ispit: na tradicionalni način (u učionici), online (na daljinu) ili samostalno. Pripremna nastava održana je iz dva predmeta – matematika i percepcija i prezentacija prostora. Dobijeni rezultati su predstavljani putem deskriptivne statistike i adekvatnih statističkih testova.

ključne reči: Prijemni ispit, nastava na daljinu, uspjeh kandidata, statistički testovi

Abstract: The paper analyzes the success of candidates who took the entrance exam for enrollment at the Faculty of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, University of Banja Luka. The success of the candidates was compared in relation to the way they prepared for the entrance exam: in the traditional way (in the classroom), online (at a distance) or independently by themselves. Preparatory classes were held in two subjects - mathematics and spatial perception and presentation. The obtained results are presented through descriptive statistics and adequate statistical tests.

Keywords: Entrance exam, distance learning, success of candidates, statistical tests

1. UVOD

Razvojem informacionih tehnologija otvaraju se nove mogućnosti za izvođenje nastave na daljinu. Nastava na daljinu praktikuje se unazad dugi niz godina prolazeći kroz razne transformacije (Harasim, 2000), a u posljednje vrijeme na svjetskom nivou primijećen je porast broja studenata koji se prijavljuju za online kurseve u odnosu na one koji se prijavljuju za pohađanje tradicionalne nastave (Gray, 2013). Kao najveću prednost ovakvog učenja studenti su naveli *fleksibilnost* u radu (Sagheb-Tehrani, 2008). Izbor između ovih mogućnosti zavisi od tehničke opremljenosti univerziteta koji nudi kurs, kulturološkog i socijalnog nivoa društva, pripremljenosti nastavnog kadra za ovakav vid nastave, međutim, učenje na daljinu je doživjelo veliku ekspanziju tokom 2020. godine pokazavši se veoma značajnim u situaciji izazvanoj globalnom pandemijom virusa Kovid 19. Ovakav vid nastave je zapravo bio i jedini mogući. Međutim, postavilo se i pitanje uspješnosti ovakve nastave i da li u budućnosti tradicionalnu nastavu treba zamijeniti online nastavom.

Neka istraživanja pokazuju da su studenti postigli značajno veći uspjeh slušajući tradicionalnu nastavu (Faidley, 2018). Sa druge strane, postoje i ona koja pokazuju da nije pronađena bitna razlika u uspješnosti studenata u savladavanju gradiva između nastave na daljinu i nastave u učionici. Međutim, ovdje se radilo o kursevima iz oblasti društvenih nauka, izostavljajući polje STEM-a (Paul & Jefferson, 2019; Shelley, Swartz, & Cole, 2007), što ukazuje na postojanje specifičnosti u savladavanju gradiva za tehničke fakultete vrijedno daljeg istraživanja. Takođe, postojala su i druga ograničenja u poređenju ovih podataka koja se tiču načina polaganja testova – online i papirni test (Stack & Stack, 2015).

Važnost prijemnog ispita se pokazala veoma značajnom kako pri upisu kandidata, tako i u njihovom daljem studiranju (Preradović & Kosić-Jeremić, 2019). Stoga ne treba zanemariti ni značaj načina

pripremanja prijemnog ispita. Na AGGF-u u Banjoj Luci se već dugi niz godina sprovode analize uticaja pripreme nastave, prijemnog ispita i uspjeha kandidata u daljem školovanju (Ilić et al., 2020; Maksimović, Boroja, & Kosić-Jeremić, 2015; Preradović, 2015; Preradović & Kosić-Jeremić, 2019; Preradović, Stojisavljević, & Gaćina, 2019).

U tom cilju smo postavili sljedeća istraživačka pitanja:

IP1) Koji način izvođenja pripreme nastave donosi bolje rezultate na prijemnom ispitu, online ili tradicionalni?

IP2) Da li pohađanje pripreme nastave utiče na uspjeh kandidata u odnosu na kandidate koji su se samostalno pripremali?

IP3) Koji način pripremanja za prijemni ispit se pokazao najuspješnijim: tradicionalna priprema nastava u učionici, priprema nastava na daljinu – online nastava ili samostalna priprema kandidata?

Studije na Arhitektonsko-građevinsko-geodetskom fakultetu u Banjoj Luci odvijaju se na tri studijska programa: Arhitektura, Građevinarstvo i Geodezija. Od 2019. godine prijemni ispit na studijskim programima Građevinarstvo i Geodezija polaže se samo iz matematike, dok kandidati na studijskom programu Arhitektura mogu birati da li će polagati prijemni ispit iz matematike ili percepcije i prezentacije prostora. Većina kandidata prijavljenih za upis na Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet dolazi iz građevinske škole i gimnazija. Ukupan broj bodova na prijemnom ispitu iznosi 50, a kandidat treba osvojiti 15 bodova da bi položio prijemni ispit. Ukupan prosječan uspjeh ostvaren tokom srednjoškolskog obrazovanja se vrednuje sa maksimalno 50 bodova. Rang lista kandidata koji konkurišu za upis na Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet se formira na osnovu zbira bodova ostvarenih u srednjoj školi i uspjeha na prijemnom ispitu. Prijemni ispit iz matematike se sastoji iz deset zadataka razvrstanih po oblastima i svaki zadatak nosi po pet bodova, dok prijemni ispit iz percepcije i prezentacije prostora podrazumijeva rješavanje zadataka za procjenu prostornih sposobnosti takođe razvrstanih po oblastima, i čiji ukupan broj u prijemnom ispitu varira u zavisnosti od kompleksnosti zadatka.

U toku juna mjeseca svake godine izvodi se priprema nastava za upis na Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, ali od 2019. godine ona se izvodi samo iz matematike i percepcije i prezentacije prostora. Priprema nastava iz svakog predmeta traje dvije sedmice u ukupnom fondu od 30 školskih časova za svaki predmet.

Zbog novonastale situacije izazvane pandemijom virusa Kovid 19, sva nastava u ljetnom semestru školske 2019/2020. godine, kao i priprema nastava za 2020. godinu na Arhitektonsko-građevinsko-geodetskom fakultetu u Banjoj Luci odvijala se online putem platforme Google meet i Google Classroom. Kandidati su se prijavljivali na sajtu fakulteta i formirane su google učionice iz oba predmeta koja se izvode na pripreмноj nastavi u koje su pozvani kandidati. Većina kandidata se odlučila da pohađa samo jedan predmet, dok su neki kandidati pratili oba predmeta. Priprema nastava se izvodila svaki ponedjeljak (percepcija i prezentacija prostora) i utorak (matematika) u periodu 18.5.-23.6.2020. u trajanju od 3 školska časa po terminu za svaki predmet.

Priprema nastava iz matematike odvijala se putem google meeta uz korištenje dokument kamere Epson lpd21 tako da su kandidati direktno mogli pratiti šta nastavnik piše na papiru, umjesto na tabli kao što je uobičajeno tokom izvođenja nastave na tradicionalni način. Takođe, svake sedmice u google učionici postavljani su zadaci za vježbu kao .pdf dokumenti. Kandidati su tokom nastave mogli postavljati i pitanja. Na tradicionalni način, kako se izvodila 2019. godine, u pripreмноj nastavi iz Percepcije i prezentacije prostora (PPP) korištena je dokument kamera. Na početku i na kraju kursa studenti su radili ulazni i kontrolni test kako bi se utvrdilo koliko su napredovali tokom kursa. Nastava je vođena na način da su kandidati rješavali zadatke predstavljene na tabli u grupi, odnosno razgovarali i pokušavali objasniti strategije koje su koristili u rješavanju problema. Pojedinačne zadatke su dobijali su u papirnoj formi, koje su samostalno rješavali na času ili kod kuće, a zatim je predavač za svaku vrstu zadatka objasnio moguću analitičku strategiju za rješavanje u slučaju da kandidat zadatak nije riješio intuitivno. Osim zadataka na papiru, kandidati su tokom pauza imali na raspolaganju i didaktički materijal u obliku drvenih kockica ili drugih predmeta, papira i makaza ili mogućih fizičkih modela na kojima su mogli vježbati svoje prostorne vještine. Tokom pripreme nastave održane 2020. godine, dimanika rada bila je malo drugačija, odnosno, zadaci su na času rješavani zajednički, odnosno, predavač je na kameri prikazao način rješavanja zadataka, a pojedinačne zadatke su kandidati dobijali da rade kući. Naredni čas bi se vršila provjera zadataka. Uvid u specifične mogućnosti i rad svakog kandidata na času u velikoj mjeri nije bio moguć, a kandidati su nerijetko izbjegavali da se lično uključuju u nastavu, već su većinom posmatrali. (Ilić, Kosić-Jeremić, & Papaz, 2020)

2. ORGANIZACIJA I METODE ISTRAŽIVANJA

Od ukupno 253 kandidata koji su konkurisali za upis na Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci, u prvom upisnom roku za školsku 2019/20 prijavilo se 125 kandidata, a za 2020/21 godinu 128 kandidata. Pripremnu nastavu 2019. godine slušalo je 79 kandidata, dok je 2020. godine online pripremnu nastavu slušalo 88 kandidata. U analizi rezultata korišten je analitičko-statistički paket SPSS v.20, pri čemu je korištena deskriptivna statistika za prezentovanje i sumiranje podataka, Kruskal - Wallis test, neparametarski Mann-Whitney U test. Promjenljive koje su posmatrane u ovom istraživanju nemaju normalnu raspodjelu.

Tabela 1. Broj kandidata po usmjerenju i godini

		GODINA			
		2019	2020	Ukupno	
Odsjek	ARH	Broj	73	86	159
		% od GODINA	58.4%	67.2%	62.8%
	GRA	Count	32	28	60
		% od GODINA	25.6%	21.9%	23.7%
	GEO	Count	20	14	34
		% od GODINA	16.0%	10.9%	13.4%
Ukupno		Count	125	128	253
		% od GODINA	100.0%	100.0%	100.0%

U posmatranom uzorku najviše je kandidata za upis na studijski program arhitektura 159 (62.8%), za građevinarstvo 60 (23.7%) i geodeziju 34 (13.4%), dok je po godinama upisa približno jednaka zainteresovanost za upis na AGGF, s tim da je već tradicionalno najveća zainteresovanost za upis na studij arhitekture (tabela 1). Posmatrajući uzorak po polu, tu se primjećuje približno isti broj kandidata ženskog i muškog pola u obe posmatrane godine, ukupno 162 (64%) kandidata ženskog pola i 91 (36%) muškog pola. Po prosjeku ocjena u srednjoj školi kandidati su prilično ujednačeni u odnosu na način pripremanja prijemnog ispita (tabela 2).

Tabela 2. Prosjek ocjena u srednjoj školi u odnosu na način pripremanja kandidata

Način	N	Aritm.sredina	Std. Dev.
Tradicionalno	79	40.30	6.04
Online	88	41.63	5.68
Samostalno	86	40.29	6.97
Ukupno	253	40.76	6.26

Testovi za prijemni ispit, u obe posmatrane godine, su bili usklađeni i po težini i po oblastima koje se polažu.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Tabela 3. Uspjeh kandidata na prijemnom ispitu po godinama za sve kandidate

GODINA	N	Aritm.sredina	Std. Dev.	Median	Minimum	Maximum
2019	125	27.70	12.24	29.00	.00	49.00
2020	128	23.74	12.58	22.25	.00	50.00
Ukupno	253	25.70	12.55	25.00	.00	50.00

Mann-Whitney U test je pokazao statistički značajnu razliku u uspjehu između kandidata koji su prijemni ispit polagali 2019. godine (N=125, Md=29.00) i kandidata koji su prijemni ispit polagali 2020. godine (N=128, Md=22.25) (tabela 4). Prosječan broj bodova ostvaren na prijemnom ispitu 2019. godine iznosio je 27.70 bodova, dok je za 2020. godinu uspjeh slabiji i prosječan broj bodova je iznosio 23.74 (tabela 3).

Tabela 4. Razlika u uspjehu po godinama - Mann-Whitney U test

Mann-Whitney U test	U	Z	p
Razlika u uspjehu u odnosu na godinu upisa za sve kandidate 2019 (N=125, Md=29.00), 2020 (N=128, Md=22.25)	6427.000	-2.705	0.007*
Razlika u uspjehu u odnosu na godinu upisa za kandidate koji su slušali pripremnju nastavu 2019 (N=79, Md=30.50), 2020 (N=88, Md=23.50)	2667.000	-2.595	0.009*
Razlika u uspjehu u odnosu na godinu upisa za kandidate koji su slušali pripremnju nastavu iz matematike 2019 (N=48, Md=28.50), 2020 (N=58, Md=21.00)	1159.500	-1.478	0.138
Razlika u uspjehu u odnosu na godinu upisa za kandidate koji su slušali pripremnju nastavu iz percepcije 2019 (N=31, Md=36.00), 2020 (N=30, Md=25.75)	286.000	-2.584	0.01*

IPI1)**Tabela 5.** Uspjeh kandidata na prijemnom ispitu po godinama za kandidate koji su slušali pripremnju nastavu iz predmeta koji su polagali na prijemnom ispitu

GODINA	N	Aritm.sredina	Std. Dev.	Median	Minimum	Maximum
2019	79	30.20	10.57	30.50	8.00	49.00
2020	88	25.88	12.36	23.50	.00	50.00
Ukupno	167	27.92	11.71	28.00	.00	50.00

Mann-Whitney U test je pokazao statistički značajnu razliku u uspjehu između kandidata koji su pripremnju nastavu slušali na tradicionalni način 2019. godine (N=79, Md=30.50) i kandidata koji su pripremnju nastavu slušali online 2020. godine (N=88, Md=23.50). Kandidati iz 2019. godine su pokazali bolji uspjeh (tabela 4). Njihov prosječan broj bodova na prijemnom ispitu je iznosio 30.20 sa standardnom devijacijom 10.57, a kandidata u 2020. godini 25.88 sa standardnom devijacijom 12.36. (tabela 5).

Tabela 6. Uspjeh kandidata koji su slušali pripremnju nastavu iz matematike i polagali matematiku na prijemnom ispitu, po godinama

GODINA	N	Aritm.sredina	Std. Dev.	Median	Minimum	Maximum
2019	48	28.15	11.39	28.50	8.00	49.00
2020	58	25.21	13.52	21.00	.00	50.00
Ukupno	106	26.54	12.63	25.00	.00	50.00

Za kandidate koji su slušali pripremnju nastavu iz matematike **Mann-Whitney U test** nije pokazao statistički značajnu razliku u uspjehu (tabela 4). Iako se iz tabele 6 vidi da su kandidati koji su nastavu slušali u 2019. godini postigli bolji prosječan broj bodova (28.15) u odnosu na kandidate u 2020 (25.21).

Tabela 7. Uspjeh kandidata koji su slušali pripremnju nastavu iz percepcije i polagali percepciju na prijemnom ispitu, po godinama

GODINA	N	Aritm.sredina	Std. Dev.	Median	Minimum	Maximum
2019	31	33.37	8.36	36.00	15.00	47.50
2020	30	27.17	9.81	25.75	8.00	44.50
Ukupno	61	30.32	9.55	30.00	8.00	47.50

Za kandidate koji su slušali pripremnju nastavu iz percepcije i prezentacije prostora **Mann-Whitney U test** je pokazao statistički značajnu razliku u uspjehu (tabela 4), na nivou značajnosti 0.05. Kandidati koji su nastavu slušali u 2019. godini postigli i statistički značajan bolji prosječan broj bodova (33.37) u odnosu na kandidate u 2020 (27.17) (tabela 7).

IP2)

Tabela 8. Uspjeh kandidata u odnosu na pohađanje pripreme nastave

Slusali pripr	N	Aritm.sredina	Std.Dev.	Median	Minimum	Maximum
DA	167	27.92	11.71	28.00	.00	50.00
NE	86	21.38	13.05	19.75	.00	48.00
Ukupno	253	25.70	12.55	25.00	.00	50.00

Mann-Whitney U test je na nivou značajnosti 0,05 pokazao statistički značajnu razliku u uspjehu na prijemnom ispitu između kandidata koji su slušali pripremu nastavu iz matematike ili percepcije (N=167, Md=28.00) i onih koji nisu slušali pripremu nastavu (N=86, Md=19.75), za dve godine zajedno (U=5101.00, z=-3.776, p=0.000). Bolji uspjeh su postigli kandidati koji su slušali pripremu nastavu bar iz jedne od ponuđenih oblasti (tabela 8).

Tabela 9. Uspjeh kandidata koji su slušali pripremu nastavu iz PPP i onih koji nisu i polagali prijemni iz PPP

Slusali pripr	N	Aritm.sredina	Std.Dev.	Median	Minimum	Maximum
DA	61	30.32	9.55	30.00	8.00	47.50
NE	29	24.43	10.84	24.50	8.00	43.00
Ukupno	90	28.42	10.30	28.75	8.00	47.50

Mann-Whitney U test je na nivou značajnosti 0,05 pokazao statistički značajnu razliku u uspjehu na prijemnom ispitu između kandidata koji su slušali pripremu nastavu iz PPP (N=61, Md=30.00), i onih koji nisu i polagali prijemni ispit iz PPP (N=29, Md=24.50), (U=605.000, z=-2.410, p=0.016) (tabela 9).

Tabela 10. Uspjeh kandidata koji su slušali pripremu nastavu i onih koji nisu i polagali prijemni iz matematike

Slusali pripr	N	Aritm.sredina	Std.Dev.	Median	Minimum	Maximum
DA	106	26.54	12.63	25.00	.00	50.00
NE	57	19.82	13.88	16.00	.00	48.00
Ukupno	163	24.19	13.43	23.00	.00	50.00

Mann-Whitney U test je na nivou značajnosti 0,05 pokazao statistički značajnu razliku u uspjehu na prijemnom ispitu između kandidata koji su slušali pripremu nastavu iz matematike (N=106, Md=25.00), i onih koji nisu (N=57, Md=16.00), i polagali prijemni ispit iz mat. (U=2149.500, z=-3.039, p=0.002).

IP3)

Tabela 11. Uspjeh kandidata u odnosu na način pripremanja za prijemni ispit

Način	N	Aritm.sredina	Std.Dev.	Median	Minimum	Maximum
Tradicionalno	79	30.20	10.57	30.50	8.00	49.00
Online	88	25.87	12.36	23.50	.00	50.00
Samostalno	86	21.38	13.05	19.75	.00	48.00
Ukupno	253	25.70	12.55	25.00	.00	50.00

Kruskal Wallis test je pokazao statistički značajnu razliku u uspjehu na prijemnom ispitu u odnosu na način pripremanja ($\chi^2=20.524$, p=0.000). Iz tabele 11 se vidi da su kandidati koji su se pripremali na tradicionalan način postigli najbolji uspjeh, prosječan broj bodova ovih kandidata je iznosio 30.20 sa standardnom devijacijom 10.57.

4. ZAKLJUČAK

Nakon sprovedenog istraživanja i analize rezultata dobili smo odgovore na postavljena istraživačka pitanja:

IP1) Posmatrajući samo kandidate koji su slušali pripremu nastavu tokom 2019. i 2020. godine dobili smo rezultat da su statistički značajno bolji uspjeh postigli kandidati koji su nastavu slušali u 2019. godini na tradicionalni način, u učionici. Bolji uspjeh je postignut i kod kandidata koji su slušali pripremu nastavu iz matematike, kao i kod kandidata koji su slušali pripremu nastavu iz percepcije i prezentacije prostora. Dakle, tradicionalni način izvođenja pripreme nastave se pokazao uspješnijim, a naročito kod PPP s obzirom na vrstu i način rješavanja zadataka.

IP2) Kandidati koji su pohađali pripremu nastavu su postigli statistički značajno bolji uspjeh u odnosu na kandidate koji su se samostalno pripremali.

IP3) U odnosu na način pripremanja pripreme nastave, tradicionalni, online ili samostalno, ponovo se tradicionalna priprema nastava pokazala i statistički značajno najuspješnijom. Najlošiji su bili kandidati koji su se pripremali samostalno.

Na osnovu dobijenih rezultata zaključujemo da tradicionalna nastava i dalje daje najbolje rezultate u učenju, te je ni u budućnosti ne treba potpuno zamijeniti sa online nastavom.

Prednosti online načina rada koje smo primijetili tokom izvođenja pripreme nastave su svakako mogućnost rada sa velikim brojem polaznika kursa, veći broj kandidata koji su van područja Banja Luke, te samim tim i bolja promocija škole, te smanjeni troškovi održavanja nastave i za kandidate (s obzirom da nisu morali biti fizički prisutni u Banjoj Luci) i za fakultet (podloge za rad su dostavljane digitalno, za razliku od prethodnih godina kada su štampane). Kao nedostatke ovakvog načina rada možemo navesti: nemogućnost sticanja uvida u rad samih kandidata tokom časa i njihovo sporadično uključivanje u proces nastave, povećan broj radnih sati za nastavnike tokom individualnih konsultacija i pregleda zadataka i nedostatak individualnog pristupa u radu sa kandidatima (kada su u pitanju napredniji kandidati kojima je moguće zadati dodatne zadatke naprednijeg tipa tokom časa ili im obezbijediti didaktički materijal za vježbu).

Međutim, u nepredviđenim okolnostima, kada je online nastava jedini način komunikacije sa studentima, svakako je treba koristiti, jer i ona daje zadovoljavajuće rezultate. Najlošije se pokazala samostalna priprema kandidata, odakle zaključujemo da je priprema nastava na jedan od dva ponuđena načina bolja od samostalne pripreme.

ZAHVALNICA: Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva za naučnotehnoški razvoj, visoko obrazovanje i informaciono društvo Vlade Republike Srpske po projektu broj 19.032/961-103/19.

LITERATURA

- [1] Faidley, J. (2018). Comparison of Learning Outcomes from Online and Face-to-Face Accounting Courses Recommended Citation. East Tennessee State University. Retrieved from <https://dc.etsu.edu/etd/3434>
- [2] Gray, D. (2013). Barriers To Online Postsecondary Education Crumble: Enrollment In Traditional Face-To-Face Courses Declines As Enrollment In Online Courses Increases. *Contemporary Issues In Education Research*, 6(3), 346–348.
- [3] Harasim, L. (2000). Shift happens: Online education as a new paradigm in learning. *Internet and Higher Education*, 3, 41–61.
- [4] Ilić, M., Kosić-Jeremić, S., & Papaz, D. (2020). Can Spatial Ability Be Trained – the Analysis of Preparatory Course for Enrolment At the Faculty of Architecture. *Savremena teorija i praksa u graditeljstvu XIV*, 14(1), 318–329. <https://doi.org/10.7251/stp2014318i>
- [5] Maksimović, S., Boroja, I.-V., & Kosić-Jeremić, S. (2015). Uticaj pripreme nastave na uspjeh u polaganju kvalifikacionog ispita. V *Matematička konferencija Republike Srpske*, 299–307.
- [6] Paul, J., & Jefferson, F. (2019). A Comparative Analysis of Student Performance in an Online vs. Face-to-Face Environmental Science Course From 2009 to 2016. *Frontiers in Computer Science*, 1. <https://doi.org/10.3389/fcomp.2019.00007>
- [7] Preradović, Lj., & Kosić-Jeremić, S. (2015). Student achievement in the university entrance examination and the effects of preparation classes – a case study of civil engineering students. *Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette*, 22(3), 785-791. <https://doi.org/10.17559/tv-20140513114019>
- [8] Preradović, Lj., & Kosić-Jeremić, S. (2019). Povezanost uspjeha studenata geodezije tokom studija sa kvalifikacionim ispitom i završenom srednjom školom. *XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima SYM-OP-IS 2019*, 586–591.
- [9] Sagheb-Tehrani, M. (2008). The results of online teaching: A case study. *Proceedings of the Information Systems Education Conference, ISECON*, 25(April).
- [10] Shelley, D. J., Swartz, L. B., & Cole, M. T. (2007). A Comparative Analysis of Online and Traditional Undergraduate Business Law Classes. *International Journal of Information and Communication Technology Education (IJICTE)*, 3(1), 10–21. <https://doi.org/10.4018/jicte.2007010102>
- [11] Stack, S., & Stack, S. D. (2015). Learning Outcomes in an online vs traditional course. *International Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*, 9(1). <https://doi.org/10.20429/ijstl.2015.090105>
- [12] Preradović, Lj., Stojisavljević, Đ., & Gačina, A. (2019). Primjena informacionih tehnologija u analizi i predviđanju uspjeha studenata. *Agg+*, 1(6), 28-38. <https://doi.org/10.7251/aggplus1806028v>.



MOGUĆNOST IZRADE GEODETSKIH PODLOGA SAOBRAĆAJNICA PRIMENOM „LOW COST“ FOTOGRAMETRIJSKIH REŠENJA

POSSIBILITY OF MAKING GEODETIC BASES OF ROADS USING "LOW COST" PHOTOGRAMMETRIC SOLUTIONS

SLAVOLJUB TOMIĆ¹, PETAR IVETIĆ², SLOBODAN PANDŽIĆ³

¹ Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija – Odsek Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd, tomicslavoljub@vggs.rs

² Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija – Odsek Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd, ivetic.petar@gmail.com

³ Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija – Odsek Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd, slobodanpandzic@vggs.rs

Rezime: U radu je prikazana „low cost“ metodologija fotogrametrijskog snimanja saobraćajnica u predelima obraslim gustom šumom ili gusto izgrađenim visokim objektima, a gde nije moguća primena komercijalnih rešenja i standardnih metoda geodetskog snimanja terena. Eksperimentalno je potvrđeno da se obradom ovako dobijenih fotogrametrijskih snimaka može dobiti zadovoljavajuća geometrijska tačnost geodetskih podloga koje se izrađuju za različite namene.

Ključne reči: Fotogrametrija, Fotogrametrijsko snimanje, Oblak tačaka, Digitalni model terena.

Abstract: The paper presents a "low cost" methodology of photogrammetric survey of roads in areas overgrown with dense forest or densely built high-rise buildings, and where it is not possible to apply commercial solutions and standard methods of geodetic surveying. It has been experimentally confirmed that by processing the photogrammetric images obtained in this way, a satisfactory geometric accuracy of geodetic products that are made for different purposes can be obtained.

Keywords: Photogrammetry, Photogrammetric recording, Point cloud, Digital terrain model.

1. UVOD

Veoma često je neophodna izrada odgovarajućih geodetskih podloga za potrebe projektovanja radova na saobraćajnicama. Najčešće se zahtevaju digitalni modeli terena (DMT), digitalni ortofoto ili konvencionalni geodetski topografski plan. Za ove potrebe je u geodetskoj praksi razvijeno više metoda, kojima je moguće izraditi zahtevane geodetske podloge sa zahtevanim karakteristikama, pri čemu se uzima u obzir linijski karakter saobraćajnica.

Standardne geodetske metode, kao što su polarna metoda i GNSS metoda mogu da obezbede podatke za izradu DMT i geodetskih planova sa veoma visokom tačnošću, ali ove metode zahtevaju opsežne terenske radove i geodetsko snimanje veoma velikog broja detaljnih tačaka. U praksi se sve češće primenjuju i fotogrametrijska i laserska (LIDAR) snimanja iz bespilotnih aerofotogrametrijskih sistema – dronova, koji obezbeđuju zadovoljavajuću tačnost i dodatno mogućnost izrade digitalnog ortofotoa konkretne saobraćajnice. Nažalost, često su saobraćajnice, koje su predmet snimanja, okružene gustom šumom ili izgrađenim objektima koje otežavaju let dronova i sam postupak snimanja.

Za snimanje i izradu geodetskih podloga saobraćajnica koje se nalaze u gustim šumama ili gustim naseljenim područjima moguće je primeniti Mobile Mapping System. Oni predstavljaju sistem sa više senzora (fotogrametrijska kamera, laserski skener i GNSS) integrisanih u jednu celinu koja se postavlja na posebno prilagođena motorna vozila, koja krećući se duž saobraćajnice prikupljaju neophodne podatke za izradu geodetske podloge pređene trajektorije. Ovi sistemi su u ovom trenutku relativno skupi, a njihovu primenu ograničava i neophodnost konstantne i kvalitetne GNSS konekcije u toku snimanja, a koja može na nekim delovima da bude otežana.

Prethodno navedeno je bilo motivacija za istraživanje sa ciljem da se utvrdi da li se nekim low cost fotogrametrijskim rešenjima mogu dobiti kvalitetni podaci za izradu zahtevanih geodetskih podloga (Trivunović 2019). Zbog toga je u okviru primenjenog istraživačkog rada na master strukovnim studijama na

studijskom programu Geodezija-Geomatika koji se realizuje na Odseku Visoka građevinsko-geodetska škola, Akademije tehničko-umetničkih strukovnih studija u Beogradu realizovano istraživanje i eksperimentalna provera mogućnosti primena metoda bliskopredmetne fotogrametrije korišćenjem relativno jeftinih amaterskih fotografskih kamera, široko rasprostranjenih softvera i priručnih sredstava. U radu će biti detaljnije prikazani polazna hipoteza i metodologija i tok eksperimentalnog istraživanja, sa analizom tačnosti dobijenih rezultata.

2. METODOLOGIJA

Polazna pretpostavka za istraživanje je da se primenom jeftinih i relativno široko pristupačnih amaterskih fotografskih kamera, softvera za fotogrametrijsku obradu snimaka i pribora montiranog na standardno motorno vozilo može obaviti fotogrametrijsko snimanje saobraćajnice koje se protežu u gusto pošumljenim predelima i na osnovu toga izraditi kvalitetne geodetske podloge sa prihvatljivom tačnošću (Trivunović 2017). Cilj je da se na osnovu jednog snimanja obezbedi prikupljanje podataka za izradu digitalnog modela terena, digitalnog ortofotoa i konvencionalnog geodetskog topografskog plana.

Pošto se u ovakvim slučajevima ne može obezbediti kontinuirano GNSS pozicioniranje projekcionog centra kamere, za georeferenciranje će se koristiti orijentacione tačke koje će biti fotosignalisane na optimalnim pozicijama duž saobraćajnice. Koordinate orijentacionih tačaka će biti određene konvencionalnim geodetskim metodama kojima se inače određuju položajne koordinate tačaka operativnih poligona (GNSS i poligonometrija), a visine će biti određene geometrijskim nivelmanom.

Pored orijentacionih tačaka, predviđeno je i fotosignalisanje i određivanje koordinata određenog broja kontrolnih tačaka koje će biti korišćene za ocenu tačnosti dobijenih podataka.

Za realizaciju eksperimenta korišćena standardna geodetska oprema kojom su obavljena merenja za potrebe određivanja koordinata orijentacionih i kontrolnih tačaka (totalna stanica, GNSS prijemnik, nivelir). Na automobil je postavljen nosač kamere sa priručnim stabilizatorom položaja kamere (rešenje preuzeto sa drona) kojim je obezbeđeno da se kamera postavi na visinu od 4.15m, a da pri tome njena optička osa bude približno vertikalna. Za snimanje je korišćena kamera Sonyalpha 6000 sa rezolucijom od 24 Megapixelsa, veličnom piksela od 3,9 μ m i fiksnom žižnom daljinom od 12mm. Obrada snimaka i izrada traženih geodetskih podloga je obavljena pomoću softvera Agisoft PhotoScan (<https://www.agisoft.com/>).

3. EKSPERIMENT

Planirani eksperiment je realizovan za potrebe izrade Projekta izvedenog stanja rekonstrukcije dela ulice Volgina, koje se proteže u Zvezdarskoj šumi u Beogradu. Zbog visokog drveća u neposrednoj blizini ulice nije bilo moguće snimanje pomoću drona, Mobile Mapping sistema ili GNSS prijemnicima. Primena polarne metode bi zahtevala obimne terenske radove, a na kraju bi se dobio DMT lošijeg kvaliteta zbog manjeg boja tačaka.



Slika 1: Deo ulice Volgina na Zvezdari

Zbog nedostatka postojeće geodetske mreže, neophodno je bilo da se uspostavi namenska geodetska mreža.

Za realizaciju fotogrametrijskog snimanja u okviru eksperimenta definisani su sledeći zahtevi:

- da prostorna rezolucija (GSD), odnosno veličina zahvata piksela snimaka na terenu bude manja od 10mm;
- da generisani DMT bude što verniji;
- da je na DMT i digitalnom ortofotou moguće određivanje koordinata detaljnih tačaka i merenja dužina;
- da je na osnovu dobijenih podataka moguća izrada standardnog topografskog plana dela ulice.

3.1 Pripremni terenski radovi

Za realizaciju postavljenih uslova prvo je uspostavljena geodetska mreža koja se sastojala od 7 tačaka operativnog poligona, koji je umetnut između tačaka 2 i 8 koje su kao i tačke 1 i 9 određene GNSS merenjima. Merenja u operativnom poligonu, kao i merenja ostalih 8 orijentacionih i 9 kontrolnih tačaka su obavljena polarnom metodom. Nadmorske visine svih tačaka su određene geometrijskim nivelmanom. Sve tačke su prethodno propisno sabilizovane metalnim bolcnama i adekvatno fotosignalisane (Trivunović 2017).



Slika 2: Fotoignalisana orijentaciona tačka

Nosač kamere sa stabilizatorom (posebna priručna konstrukcija) se postavlja na automobil (Slika 3) koji se kreće duž ulice. Visina nosača kamere sa stabilizatorom je određena da bude 4.15m, kako bi se izbeglo rastinje koje se nadvilo nad ulicom. Za fotogrametrijsko snimanje je odabrana kamera Sonyalpha 6000 sa rezolucijom od 24 Megapixelsa, veličinom piksela od $3,9\mu\text{m}$ i fiksnom žižnom daljinom od 12mm. To je uslovalo da razmera snimanja (količnik visine senzora iznad terena i žižne daljine objektiva kamere) bude približno 1:346. Iz toga je proizišlo da efektivna prostorna rezolucija izražena kroz veličinu zahvata piksela na terenu bude 1,39mm.



Slika 3: Nosač kamere sa stabilizatorom postavljen na automobil

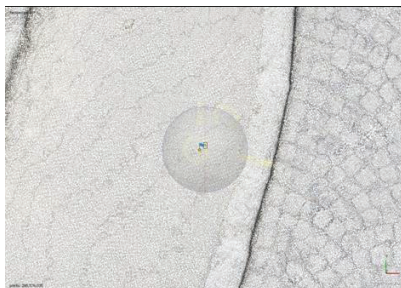
3.2 Fotogrametrijsko snimanje i obrada podataka

Fotogrametrijsko snimanje je obavljeno kontinuiranim kretanjem vozila sa nosačem kamere u dva pravca (prema saobraćajnim pravilima kretanja) i sukcesivnim fotografisanjem trajektorije tako da se ostvari podužni preklop snimaka veći od 75% i poprečnim preklapom između redova snimanja veći od 30%. Pošto je maksimalna brzina snimanja kamere 1snimak u sekundi, da bi se ostvarili zadati preklopi neophodno je bilo da se vozilo kreće brzinom od 2,5 do 3,5 km/h. Upravljanje sa radom kamere je obavljano pomoću

povezanog laptop računra i softvera Sony EDGE. Ukupno je snimljeno 1211 fotografija. Softverom SonyImagingEdgeDesktop je obavljen pregled i primarna uobrada fotografija, koja se sastojala od ujednačavanja tonova na svim snimcima.

Fotogrametrijska obrada snimaka je obavljena softverom AGI SOFT Photoscan 1.4.3 (<https://www.agisoft.com/>). U prvom koraku, nakon učitavanja snimka, obavlja se redanje preklopljenih snimaka (Align photos) koji sadrže zajedničke delove terena i određuju se prostorne pozicije centara projekcije (kamere) za svaki snimak. Pri tome se dobija retki oblak tačaka koji služi za pregled i kontrolu snimanja.

Za potrebe georeferenciranja (prostornog pozicioniranja) oblaka tačaka, na orijentacione tačke se postavljaju „markeri“ i vrši se njihovo povezivanje sa terenskim koordinatama konkretnih tačaka. Da bi se postigla viša tačnost izlaznih podataka, odnosno parametara unutrašnje i spoljašnje orijentacije snimaka, neophodno je sprovođenje postupka optimizacije položaja centara projekcije (optimize camera alignment). Nakon toga se pristupa izradi gustog oblaka tačaka, koji je u ovom slučaju sadržavao preko 280 miliona tačaka (Slika 4).



Slika 4: Gusti oblak tačaka u blizini orijentacione tačke 5

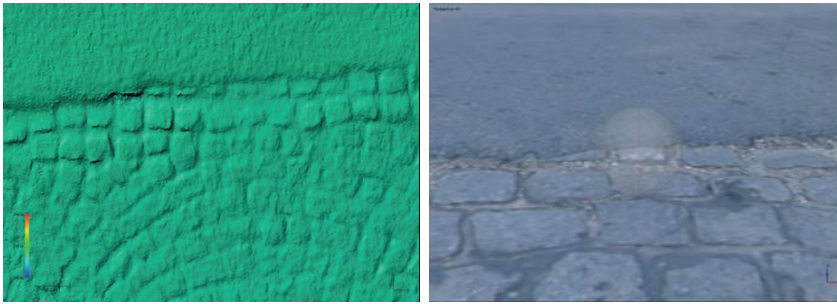
Na osnovu ovako dobijenog gustog oblaka tačaka izrađen je žičani model, a potom i osenčeni i površinski model terana za deo ulice Volgina (Slika 5). Ovi modeli se mogu obogatiti dodavanjem teksture. Ovako, na bazi generisanog oblaka tačaka, dobijeni modeli predstavljaju osnovu za izradu zahtevanih geodetskih podloga.



Slika 5: Žičani, osenčeni i površinski model u blizini orijentacione tačke 5

4. IZRADA ZAHTEVANIH GEODETSKIH PODLOGA

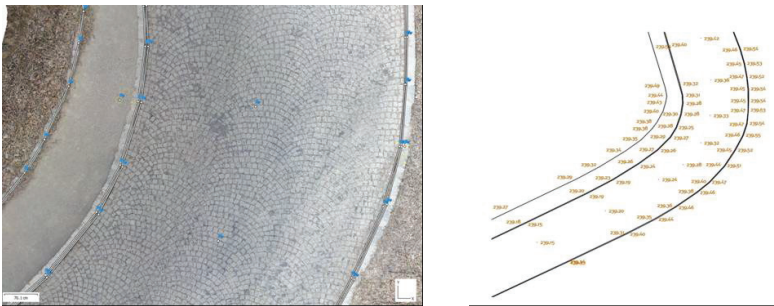
Na osnovu fotogrametrijski generisanog oblaka tačaka i potom izrađenog žičanog modela jednostavno je generisan digitalni model terena (DMT) za deo ulice Volgina, sa svim neophodnim karakteristikama (Slika 6). Za potrebe ovog eksperimenta DMT je izrađen u lokalnom terenskom koordinatnom sistemu. Ovako generisan DMT je moguće konvertovati u željene formate zapisa i prilagoditi ga za dalju upotrebu (<https://www.agisoft.com/>).



Slika 6: Fragment DMT i digitalnog ortofotoa na spoju asfalta i kaldrme

Na osnovu prethodno generisanog oblaka tačaka i DMT sprovedena je ortorektifikacija fotogrametrijskih snimaka i dobijen kvalitetan digitalni ortofoto dela ulice Volgina. (Slika 6).

Digitalni model terena i digitalni ortofoto predstavljaju osnovu za eventualnu izradu konvencionalnog topografskog plana. Na DMT se uz pomoć ortofotoa biraju detaljne tačke čijim se spajanjem dobijaju linije i polilinije u formi topografskog plana ulice Volgina (Slika 7).



Slika 7: Deo topografskog plana ulice Volgina

5. ANALIZA REZULTATA

Ocena tačnosti dobijenih rezultata na osnovu fotogrametrijske obrade snimljenog dela ulice Volgina je obavljena poređenjem koordinata na kontrolnim tačkama (Trivunović 2019). Poređene su koordinate kontrolnih tačaka dobijene konvencionalnim terestričkim geodetskim merenjima (polarna metoda) i njihove koordinate iz oblaka tačka, odnosno modela terena, dobijenog fotogrametrijskom obradom. Rezultati poređenja su prikazani u Tabeli 1.

Tabela 1: Razlike koordinata na kontrolnim tačkama

	Broj kontrolne tačka	Kordinate dobijene		Razlka
		Polarnom metodom	Fotogrametrijskom metodom	
Y	204	7462081.992	7462081.979	0.013m
X		4961782.341	4961782.34	0.001m
H		243.380	243.378	0.002m
Y	206	7462089.239	7462089.226	0.013m
X		4961735.26	4961735.263	-0.003m
H		242.846	242.833	0.013m
Y	207	7462090.777	7462090.773	0.004m
X		4961716.792	4961716.8	-0.008m
H		242.634	242.618	0.016m
Y	211	7462093.982	7462093.975	0.007m
X		4961644.751	4961644.760	-0.009m
H		241.786	241.771	0.015m
Y		7462094.167	7462094.156	0.011m

X	212	4961528.217	4961528.209	0.008m
H		240.371	240.365	0.006m
Y	213	7462093.135	7462093.141	-0.006m
X		4961466.231	4961466.241	-0.010m
H		239.751	239.766	-0.015m
Y	214	7462076.979	7462076.987	-0.008m
X		4961408.114	4961408.126	-0.012m
H		239.063	239.073	-0.010m
Y	215	7461983.108	7461983.100	0.008m
X		4961347.047	4961347.035	0.012m
H		234.554	234.545	0.009m

Rezultati koji su dobijeni navedenim poređenjem pokazuju da se razlike koordinata na kontrolnim tačkama kreću oko ± 1 cm, pri čemu je najveća razlika po položaju 1,3 cm, a po visini -1.6 cm. Dobijeni rezultati su očekivani i u saglasnosti su sa realnim mogućnostima fotogrametrijske metode u pogledu tačnosti (Trivunović 2019). Može se konstatovati da su dobijeni rezultati u dozvoljenim granicama zahtevane tačnosti geodetskih podloga koje se izrađuju za potrebe izrade Projekta izvedenog stanja, kao i da se mogu koristiti za druge namene u skladu sa prikazanom tačnošću.

6. ZAKLJUČAK

Pokazatelji ocene geometrijske tačnosti koordinata detaljnih tačaka na digitalnom modelu terena generisanom na osnovu fotogrametrijskog snimanja, opisanom metodologijom, ukazuju da je položajna tačnost (X i Z ose) nešto bolja od visinske tačnosti (Z osa), što je i očekivano i saglasno već poznatim parametrima tačnosti fotogrametrijskih merenja. Pri tome treba imati u vidu i činjenicu da su se greške terenskih geodetskih merenja orijentacionih tačaka prenele i na greške nastale prilikom ocenjivanja tačnosti dobijenih geodetskih podloga.

Tačnost koja je dobijena u ovom eksperimentu je saglasna sa rezultatima koji su ostvareni u sličnim eksperimentima. S obzirom da je u eksperimentu korišćena posebno prilagođena priručna oprema, može se očekivati da bi se nekim njenim tehničkim poboljšanjima mogli postići bolji rezultati i veća efiksnost u radu.

Primena fotogrametrijske metode opisanom metodologijom i ovako dobijene geodetske podloge mogu da zadovolje zahteve izrade projekata izvedenog objekta, kao i za aktivnosti koje se odnose na planiranje i idejno projektovanje neophodnih radova na saobraćajnoj infrastrukturi.

LITERATURA

[1] Trivunović, J. (2017). Digitalno dokumentovanje arheoloških lokaliteta metodom digitalne fotogrametrije sa osvrtom na ocenu tačnosti, primenjeno-istraživački rad, Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd, 2017, str. 3-41

[2] Trivunović, J. (2019). Automatsko generisanje 3D modela u bliskopredmetnoj fotogrametriji sa aspekta analize tačnosti, završni-master rad, Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd, , str. 68-117

[3] <https://www.agsisoft.com/>

PRIMENA GENETSKIH ALGORITAMA PRI OPTIMIZACIJI GREDNIH NOSAČA OD BETONA ULTRA VISOKIH ČVRSTOĆA

USING GENETIC ALGORITHMS FOR ULTRA HIGH STRENGTH CONCRETE BEAMS OPTIMIZATION

DRAGAN NIKOLIĆ¹, GORAN ĆIROVIĆ², SNEŽANA MITROVIĆ³, OLIVERA JEREMIĆ⁴

¹ Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd, nikolic@vggs.rs

² Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, cirovic@sezampro.rs

³ Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd, mitrozs@sezampro.rs

⁴ Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd, oliverajeremic@vggs.rs

Rezime: Beton ultra visokih čvrstoća (UHPC) poseduje izuzetno visoka mehanička svojstva i u poređenju sa konvencionalnim betonima predstavlja superioran materijal kako u pogledu mehaničkih svojstava, tako i u pogledu trajnosti. Da bi se moglo predvideti ponašanje grednih nosača od UHPC, prvo su izvršena eksperimentalna istraživanja mehaničkih svojstava samog kompozita sa 2% i 4% zapreminskog udela čeličnih vlakana. Nakon toga, četiri gredna nosača dužine 2m su ispitana na savijanje do loma sa opterećenjem u trećinama raspona. Dve grede su bile armirane samo mikro čeličnim vlaknima, dok su dve grede sadržale i klasičnu armaturu. Na osnovu eksperimentalnih ispitivanja i predloženih preporuka AFGC za UHPC, modelovano je ponašanje grednih nosača i izvršena je optimizacija primenom genetskih algoritama (GA) prema kriterijumu minimalne cene. U radu je takođe ukazano na odnos jedinične cene grednih nosača od UHPC mikroarmiranih čeličnim vlaknima u odnosu na grede koje sadrže i klasičnu ili prednapregnutu armaturu.

Cljučne reči: beton ultra visokih čvrstoća, optimizacija grednih nosača, genetski algoritmi

Abstract: Ultra high strength concrete (UHPC) has extremely high mechanical properties and, compared to conventional concretes, is a superior material both in terms of mechanical properties and in terms of durability. In order to be able to predict the behavior of UHPC beams, experimental investigations of the mechanical properties of the composite itself were first performed with 2% and 4% by volume of steel fibers. After that, four 2m long girder beams were tested for bending to fracture with a load in thirds of the span. The two beams were reinforced only with micro-steel fibers, while the two beams also contained classical reinforcement. Based on experimental tests and proposed AFGC recommendations for UHPC, the behavior of beam girders was modeled and optimized using genetic algorithms (GA) according to the minimum cost criterion. The paper also points out the ratio of the unit price of UHPC beams supported by steel fibers in relation to beams that also contain classical or prestressed reinforcement.

Keywords: ultra high strength concrete, beam girder optimization, genetic algorithms

1. UVOD

Rad predstavlja nastavak istraživanja objavljenog na SYM-OP-IS 2019, kada je urađeno modeliranje ponašanja UHPC pri savijanju. Nakon utvrđivanja mehaničkih svojstava samog kompozita, a potom i dimenzionisanja poprečnog preseka neophodno je istovremeno obratiti pažnju i na ekonomsku opravdanost korišćenja UHPC (Nikolić et al. 2019).

1.1 Komponentni materijali i projektovanje sastava UHPC

Projektovanje mešavina betona ultra visokih čvrstoća zasniva se na principu da materijal sa minimumom defekata (kao što su mikroprrline i pore unutar cementne matrice) može da ostvari veći procenat potencijalne čvrstoće zahvaljujući primeni visokokvalitetnih komponentih materijala. U sastav UHPFRC ulazi bar dva puta više komponentnih materijala u odnosu na konvencionalni beton. Reč je o više od pet praškastih komponenti koje se dodaju u suvom stanju i homogenizuju mešanjem pre dodavanja vode (cement, silikatna prašina, kvarcni pesak ili agregat eruptivnog porekla separisan u nekoliko frakcija do 8mm, kvarcni puder...) (Janković et al. 2019).

U eksperimentalnom radu korišćen je portland-cement CEM I 42.5 R BFC Lafarge. Izbor portland cementa je izvršen na osnovu kompatibilnosti cementata i hemijskih i mineralnih dodataka sprovedenom na sopstvenom eksperimentalnom istraživanju fizičko-mehaničkih svojstava uzoraka spravljanih sa tri različita cementa i superplastifikatorima različitih proizvođača (*Yazici et al. 2009, Yang et al. 2010*). Kao mineralni dodatak korišćena je silikatna prašina (SF) SikaFume HR proizvođača Sika sa finim česticama veličine 0.1mm latentnog reaktivnog silicijum dioksida. Fizičko-mehanička svojstva cementa prikazana su u Tabeli 1.

Za spravljanje UHPFRC mešavina korišćen je kvarcni pesak kao komercijalni proizvod firme Kaolin Valjevo, granulacije od 0-0.5mm i kvarcni puder Srbokvarc Rgotina sa srednjom veličinom čestica $d_{50\%}=45\mu\text{m}$. Ispitivanjem granulometrijskog sastava kvarcnog peska oko 70% zrna se nalazi između 0.2 i 0.4mm.

Za spravljanje mešavina korišćen je superplastifikator Sika Viscocrete 20HE koji je omogućio visoku redukciju vode i dobijanje vrlo visokih ranih čvrstoća. Predstavlja treću generaciju superplastifikatora namenjenih za proizvodnju betona plastičnih konzistencija sa specijalnom formulom sa poboljšanje disperzije praškastih materijala u betonu.

Primenjena su ravna čelična vlakna (dužina/prečnik=9/0.20 mm) čija je otpornost pri zatezanju $\approx 2500 \text{ N/mm}^2$. Čelična vlakna su obložena mesingom da bi se povećala trajnost i otpornost na koroziju u betonu.

Udeo komponentnih materijala u projektovanim mešavinama usvojen je na osnovu ispitanih svojstava komponentnih materijala, projektovanih mešavina prikazanih u literaturi (*Redaelli and Muttoni 2007*) i sopstvenih eksperimentalnih istraživanja. Usvojene su mešavine sa samougrađujućom konzistencijom (Tabela 1).

Tabela 1. UHPC mešavine

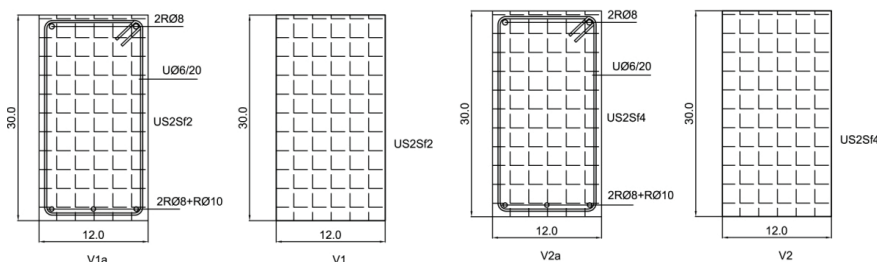
Materijal	US2Sf2	US2Sf4
Cement (kg/m^3)	950	950
Silikatna prašina (kg/m^3)	270	270
Kvarcni puder	350	350
0-0.5mm Kvarcni pesak	520	515
Voda	235	235
Superpl. Viscocrete 20HE	55	53
Čelična vlakna	155	310
Voda iz superplastifikatora	31.9	30.7
Rasprostiranje (Flow slump (mm))	274	277

Tokom procesa mešanja neophodno je da čestice praškastih materijala ispune slobodan prostor između zrna agregata ili krupnijih čestica ostalih komponentnih materijala. Zbog visokog sadržaja praškastih materijala potrebno je nešto duže mešanje da bi se homogenizovao sastav mešavine. Prvo su zamešani svi komponentni materijali u čvrstom stanju, a potom je mešanje nastavljeno dodatnih par minuta pre dodavanja vode što je uticalo na smanjenje preostalog praznog prostora unutar mešavine. Nakon toga, dodavanjem vode i superplastifikatora (ako je u tečnom stanju) ispunjava se navedeni prostor, a stvoreni film oko čestica poboljšava pokretljivost čestica i dodatno poboljšava njihovo pakovanje. Optimalnim izborom dužine mešanja pre i nakon dodavanja vode utiče se na smanjenje vrednosti vodovezivnog faktora.

Za spravljanje prizmi 4x4x16cm korišćena je standardna mešalica za cement Toni Technik koja ispunjava uslove standarda SRPS EN 196, dok je mešavina za prizme 10x10x40 cm spravljana u mešalici "Zyklos", Češka, zapremine 60l sa brzinom mešanja 60 o/min. UHPFRC za gredne nosače 12x30x200cm spravljani su u mešalici Schlosser zapremine 120l sa brzinom mešanja 70 o/min. Gredni nosači su nakon raskalupljanja negovani u ambijentalnim uslovima.

2. PONAŠANJA GREDE OD UHPC OPTREĆENE NA SAVIJANJE

Beton je višefazni materijal sa brojnim parametrima koji utiču na odgovor konstrukcije pod opterećenjem. Postoji više modela kojima je opisuju svojstva betona, dok broj parametara koji utiču na dato svojstvo betona bira se na osnovu razmere ili uticaja na makro ili mikro nivou grede.

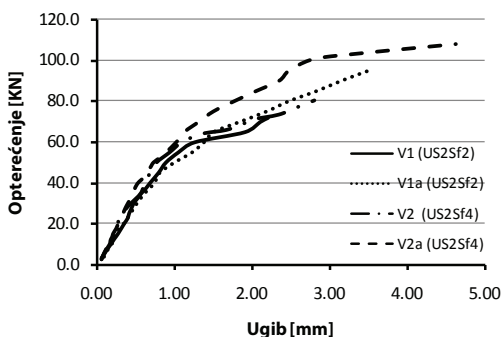


Slika 1. Ispitivanje gređnog nosača u Laboratoriji Instituta IMS

U ovom delu eksperimentalnog rada pažnja je usmerena na modeliranje ponašanja betona ultra visokih čvrstoća pri savijanju. Na osnovu ravnoteže sila u preseku, prikazan je analitički model ponašanja. Navedeni model posmatra ponašanje materijala pri pritisku, odnosno pri zatezanju naglašavajući različitosti UHPFRC u poređenju sa konvencionalnim betonima. Prisustvo klasične armature, odnosno kablova za prednaprezanje nije razmatrano u samom modelu ponašanja kompozita nego je prilikom optimizacije uzeto u obzir pri određivanju nosivosti.

Čvrstoća pri zatezanju određena je na osnovu ispitivanja savijanja prizmi bez zarez opterećenih u sredini raspona prema Aneksu 2 datom u francuskim preporukama za UHPC. Za mešavine US2Sf2 i US2Sf4 dobijeni su dijagrami opterećenja i ugiba. Na Slici 2. je prikazana zavisnost opterećenja i ugiba.

UHPC poseduje znatno poboljšanu duktilnost, a to postaje još izraženije sa povećanjem količine vlakana. Ipak, čvrstoća pri zatezanju u zategnutoj zoni dosta brzo se dostiže ukoliko se ne primeni klasična ili prednapregnuta armatura. Primećuje se da grede bez klasične armature imaju znatno manju nosivost, jer naponi u pritisnutoj zoni ne mogu biti dovoljno iskorišćeni.



Slika 2. Dijagram zavisnosti opterećenja i ugiba

3. OPTIMIZACIJA GREDA OD UHPC PRIMENOM GENETSKIH ALGORITAMA

Za rešavanje inženjerskih problema optimizacije primenom genetskih algoritama, optimalno rešenje se dobija sa približnom tačnošću, a u zavisnosti od izabrane dužine lanaca (hromozoma). U tom smislu genetski algoritmi obično obezbeđuje efikasan pristup u rešavanju velikih problema, zato što zahteva samo prost razvoj funkcije. Rešenje blisko optimumu može da se dobije nakon ograničenog broja iteracija.

Problem optimalnog dimenzionisanja armirano-betonskih nosača razmatran je dugi niz godina. U ovom radu prikazan je postupak optimizacije koji ima za cilj da usvojeni poprečni presek ispuni uslove graničnog stanja nosivosti prema uslovu minimalne cene komponentnih materijala (Camp et al. 2003, Yazici et al. 2009, Ćirović and Cekić 2002).

Potrebno je odrediti vrednost funkcije cilja

$$z = \min f(x), x = [x_1, x_2, \dots, x_n] \quad (1)$$

a na osnovu ravnoteže sila u preseku, sa uslovima ograničenja koji se odnose na geometrijske karakteristike nosača i mehanička svojstva kompozita u odnosu na sadržaj silikatne prašine, čeličnih vlakana i primenjenog režima nege.

Optimalno rešenje može nastati iz velikog broja rešenja bazirajući se na izabranom kriterijumu, a što može biti minimalna težina ili minimalna cena. U radu će biti prikazana opšta formulacija optimizacije troškova greda pravougaonog poprečnog preseka od UHPFRC uključujući troškove betona varirajući udeo čeličnih vlakana, klasične armature i kablova za prednaprezanje. Rezultat optimizacije problema je rešen primenom genetskih algoritama. Problem koji se razmatra u ovom radu odnosi se na optimizaciju utroška materijala prema kriterijumu minimalne cene.

Cena kao rezultat optimizacije u ovom radu predstavlja cenu koštanja materijala za izradu metra dužnog predmetne grede. Utrošak radne snage i materijalnih resursa tokom armiračkih radova i radova na prednaprezanju nije uzet u obzir, jer je usko povezan sa opremom kojom firma raspolaže i bazama podataka koje se odnose na analizu utroška resursa u prethodnom periodu i potrebno je da bude predmet nezavisne analize.

Funkcija cilja se može definisati kao ukupna troškovna funkcija prikazana u obliku:

$$C(x) = c_1 \cdot A_{bp} + c_2 \cdot A_a + c_3 \cdot A_{pn} \quad (2)$$

gde je:

c_1 – jedinična cena koštanja zapremine UHPC (bez čeličnih vlakana)

A_{bp} – površina poprečnog preseka nosača

c_2 – cena kilograma klasične armature B-500-B (0.6 Eur/kg)

A_a – površina klasične armature

c_3 – cena kilograma kablova za prednaprezanje Y-1860-S7 (1.5 Eur/kg)

A_{pn} – površina kablova za prednaprezanje

uz uslove ograničenja:

$$\begin{aligned} \text{-za granično stanje nosivosti} \quad \sum N_i - N_u &= 0 \\ \sum M_i - M_u &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

-za granično stanje upotrebljivosti

$$\begin{aligned} \delta_i \leq \delta_{lim} &= \frac{l}{250} \\ M_{Sd} &\leq M_{Rd} \\ |V_{Sd}| &\leq V_{Rd} \end{aligned} \quad (4)$$

U Tabeli 2. prikazane su jedinične cene i cene kompozita za prikazane mešavine. Prikazane cene predstavljaju cene bez rabata sa uračunatim troškovima prevoza do fabrike betona na teritoriji Beograda. Potrebno je imati na umu da se cena čeličnih vlakana relativno često menja, pa tako i cena kompozita varira u zavisnosti od cene čeličnih vlakana.

Tabela 2. Jedinične cene komponentnih materijala i kompozita za naznačene mešavine

Materijal	Jed. cena	US2Sf2	US2Sf4
Cement (eur/t)	93	88.4	88.4
Silikatna prašina (eur/t)	850	229.5	229.5
Kvarcni puder (eur/t)	135	47.3	47.3
0-0.5mm Kvarcni pesak (eur/t)	64	33.3	33.0
Voda (eur/m ³)	0.35	0.1	0.1
Superpl. Viscocrete 20HE (eur/kg)	1.9	104.5	100.7
Čelična vlakna (eur/kg)	3.3	511.5	1023.0
SUMA [eur/m ³]		1014.5	1521.8

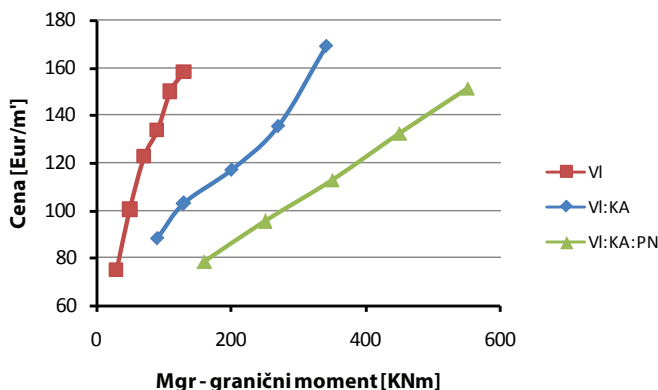
Na osnovu primene Matlab skipte za optimizaciju nosivosti grede od UHPFRC, izvršeno je određivanje nosivosti poprečnog preseka. Za usvojenu širinu poprečnog preseka $b=25\text{cm}$, parametri optimizacije prema kriterijumu minimalnih troškova su:

- visina poprečnog preseka
- visina pritiskute zone
- dilatacija pritiskute zone
- površina klasične armature

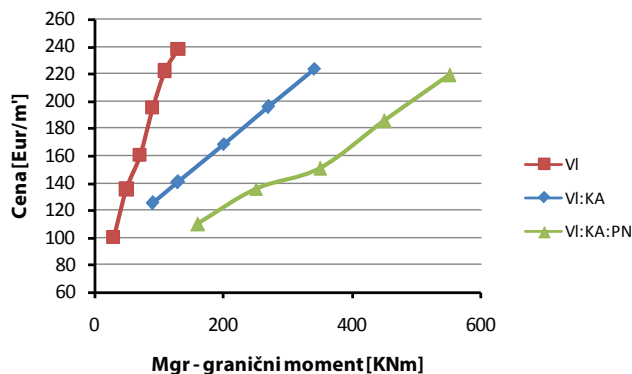
- površina prednapregnute armature

Jedan od primarnih problema pri primeni GA odnosi se na izbor vrednosti parametara GA (veličine populacije, maksimalnog broja generacija, vrednosti vezane za mutaciju i stopu ukrštanja). Na osnovu iskustva na ovom primeru to predstavlja iterativan proces koji iziskuje dosta utrošenog vremena. Podešavanje parametara GA potrebno je uskladiti sa zahtevanom tačnošću rešenja, odnosno toleranciji koja je vezana za interval prihvatljivosti rezultata optimizacije. Izabrana je veličina populacije od 500 jedinki i 50 generacija. Za vrednost parametra mutacije usvojeno je 0.1, a stopa ukrštanja od 0.1 do 0.9 sa inkrementom od 0.1. Rezultati optimizacije su prikazani na Slici 3 i Slici 4.

Na osnovu zavisnosti cene i graničnog momenta nosivosti za navedeni model optimizacije veoma je izražen doprinos prednapreznja na nosivost i ekonomsku prihvatljivost grednih nosača od UHPFRC. Na osnovu prikazanih mehaničkih svojstava kompozita, gredni uzorci spravljani sa 4% čeličnih vlakana za graničnu nosivost od 110KNm imali su preko 40% veću cenu u odnosu na gredne nosače sa 2% čeličnih vlakana. Prednapregnuti gredni uzorci za istu cenu (Eur/m) imali su preko 3.5 puta veću nosivost u odnosu na gredne nosače koji su armirani samo čeličnim vlaknima.



Slika 3. Odnos granične nosivosti i cene grednog nosača, mešavina US2Sf2



Slika 4. Odnos granične nosivosti i cene grednog nosača, mešavina US2Sf4

4. ZAKLJUČCI

Predviđanje ponašanja grednih nosača od UHPFRC opterećenih na savijanje predstavlja dosta složen proces. Potrebno je pre svega odrediti mehanička svojstva samog kompozita, a potom prema preporukama izvršiti dimenzionisanje poprečnog preseka. Pošto je UHPFRC znatno skuplji materijal u odnosu na konvencionalne betone, pored pažnje koju je potrebno usmeriti ka nosivosti i trajnosti konstrukcije neophodno je voditi računa i o ekonomskoj opravdanosti.

Primena genetskih algoritama omogućava pretragu široke oblasti mogućih rešenja sa velikim brojem parametara za relativno kratak vremenski period, a opravdanost upotrebe UHPFRC direktno zavisi od uspešnosti procesa optimizacije. Bitne parametre za gredne nosače predstavljaju opterećenja, dimenzije nosača i svojstava koje treba da ispuni kompozit. Uštede koje se mogu ostvariti pri primeni optimalnog odnosa komponentih materijala i procenta armiranja su daleko izraženije u odnosu na konvencionalne materijale i svakako da opravdava utrošeno vreme prilikom optimizacije.

Na osnovu prikazanih odnosa granične nosivosti i jedinične cene grednog nosača primećuje se da povećan udeo čeličnih vlakana povećava mehanička svojstva UHPFRC, ali i dalje nedovoljno da bi mogla prihvatiti značajnije vrednosti opterećenja bez upotrebe klasične armature. Izražena je višestruko veća nosivost pri primeni prednapregnute armature. Za naznačenu jediničnu cenu, nosivost grednih nosača sa čeličnih vlaknima i preko 3.5 puta manja u odnosu na prednapregnute nosače sa istom količinom čeličnih vlakana. Pri primeni klasične armature u odnosu na prednapregnute grede, za istu jediničnu cenu, nosivost je manja za više od 1.7 puta.

ZAHVALNICA

Ovo istraživanje (ovaj rad) je podržan(o) od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja kroz projekat broj 451-03-68/2020-14/200156: "Inovativna naučna i umetnička ispitivanja iz domena delatnosti

FTN-a";

LITERATURA

- [1] Camp, C.V., Pezeshk, S., Hansson, H.(2003). Flexural design reinforced concrete frames using a genetic algorithm. *ASCE Journal of Structural Engineering*, 129,105–115.
- [2] Campione, G. (2008). Simplified Flexural Response of Steel Fiber-Reinforced Concrete Beams, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 20, 283-293.
- [3] Ćirović, G., Cekić, Z. (2002). Case based reasoning model based on the Rough Sets Theory", *Kybernetes – The International Journal of Systems & Cybernetics*, Emerald, 31, 6, MCB University Press, Bradford, UK, pp. 896-909.
- [4] Jankovic, K., Bojovic, D., Nikolic, D, Loncar, Lj. (2010). Some Properties of Ultra High Strength Concrete, *materijali i konstrukcije*, 53 (1), 43-51.
- [5] Malešev, M., Radonjanin, V., Ršumović, M. (2002). Uticaj novih vrsta cementa na svojstva betona. *Materijali i Konstrukcije*, 45 (2-3), 64-68.
- [6] Nikolić, D., Ćirović, G., Mitrović, S., Jeremić, O. (2019). Modelovanje ponašanja UHPC pri savijanju, *Zbornik radova, Simpozijum o operacionim istraživanjima, SYMOPIS 2019.*, Kladovo, 2019.
- [7] Redaelli, D., Muttoni, A. (2007). Tensile behaviour of reinforced ultra-high performance fiber reinforced concrete elements. *Fib symposium*, Dubrovnik, 267-274.
- [8] Yang, I.H., Joh, C., Kim, B.S. (2010). Structural behavior of ultra high performance concrete beams subjected to bending. *Engineering Structures*, 32, 3478-3487.
- [9] Yazıcı, H., Yardımcı, M.Y., Aydın,S., Karabulut, A. (2009). Mechanical properties of reactive powder concrete containing mineral admixtures under different curing regimes. *Construction and Building Materials*, 23, 1223–1231.

PREFABRIKACIJA U KONTEKSTU NAPREDNIH TEHNOLOGIJA GRAĐENJA

PREFABRICATION IN THE CONTEXT OF ADVANCED CONSTRUCTION TECHNOLOGIES

DRAGANA VESELINović¹, JASMINA DRAŽIĆ¹, IGOR PEŠKO¹, VLADMIR MUČENSKI¹

¹ Univerzitet u Novom Sadu – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, ftn.uns.ac.rs

Režime: Tehnološki i digitalni napredak u svetu građevinarstva je veoma usporen. Sve industrijske grane su prihvatile i rado implementirale digitalizaciju i automatizaciju u svoj proces rada, i već uživaju pozitivne ishode njene implementacije. U većini slučajeva sve uključene strane na građevinskom projektu imaju iste ciljeve, a to je smanjenje utrošenog vremena, budžeta, rizika i građevinskog otpada, kao i povećanje produktivnosti, kvaliteta i sigurnosti na radu. To dalje implicira na pronalaženje rešenja na koji način građevinska industrija može da se unapredi, a da pritom sadrži sve ideje i ciljeve svih uključenih strana na jednom projektu. Fokus ovog istraživanja je analiza prefabrikacije elemenata u građevinskim projektima uz pomoć upotrebe veštačke inteligencije, BIM tehnologije, Lean Sistema, automatizacije, mašinskog učenja i robotike i njihov uticaj na budućnost rada. Cilj rada je predstaviti široj javnosti prednosti ove implementacije i podsticaj građevinskih kompanija da rado usvoje ove sisteme i principe radi postizanja uspešnijih projekata ali i same strukture kompanije.

Ključne reči: BIM tehnologija, IPD, Lean, Građevinski projekti, Upravljanje.

Abstract: Technological and digital advances in the construction industry are very slowgoing. All industries have embraced and gladly implemented digitization and automation 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. What further implies finding a solution in which the construction industry can be improved. The focus of this research is the analysis of prefabrication in construction projects with the help of the use of artificial intelligence, BIM technology, Lean Systems, automation, machine learning and robotics and their impact on the future. 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 and the structure of the company itself.

Keywords: BIM technology, IPD, Lean, Construction Projects, Management.

1. UVOD

Građevinarstvo je jedna veoma kompleksna industrija, koja se zbog svoje kompleksnosti često susreće sa gubicima i nedostacima. Ti nedostaci su različiti i mnogobrojni, ali pored njihovog definisanja i određivanja, veoma je važno utvrditi uzroke njihovog postojanja i nastanka. Neki glavni uzroci su sledeći: loše upravljanje realizacijom i kontrolom kvaliteta na terenu, loša komunikacija među zainteresovanim stranama, loša organizacija i finansijska kontrola koja je vezana za kompaniju (timovi u kancelarijama). Propusti koji se u građevinarstvu uočavaju, u poređenju sa drugim industrijskim granama pre svega manja produktivnost, zahtevaju da se oni na vreme prepoznaju i spreče. Jedan od načina smanjenja ovih gubitaka i nedostataka jeste primena prefabrikacije. MCGRAW-HILL kompanija koja se bavi naučnim istraživanjima izvršila je istraživanja "SmartMarket Report" vezana za kompanije koje koriste prefabrikaciju u svojim projektima. Prema istraživanju dolazi se do informacija koje govore da: 61% očekuje da će u sledeće tri godine upotrebiti ovu metodu na najmanje 10% svojih projekata, od svega 44% onih koji koriste modularnu izgradnju. Dok oko 90% je izjavilo da primenom prefabrikacije postiže poboljšanu produktivnost, sigurnost prilikom izvođenja i poboljšani kvalitet u poređenju sa tradicionalnim načinom izgradnje. (Jaillon and Poon 2008)

Tema ovog istraživanja jeste prefabrikacija u građevinarstvu i na koji način možemo povećati njenu efikasnost i prednosti, da li je moguća veza sa modernim i naprednim tehnologijama koje su uveliko prisutne u našoj sadašnjici i kako one doprinose poboljšanju i povećanju efikasnosti prilikom prefabrikacije.

Razlog koji je motivisao za istraživanje je velika potražnja za izgradnjom objekata za izuzetno kratko vreme sa odgovarajućim kvalitetom. Svakodnevno se susrećemo sa različitim izazovima (neprilike, masovna iseljavanja, naseljavanja, epidemije, prirodne katastrofe), postajemo prinuđeni za trenutnu, iznenadnu i brzu izgradnju objekata. Zato se i dolazi na ideju kako se to može rešiti na efikasan način, ali da pritom kvalitet i dizajn ne trpe ograničenost koja je sveprisutna u ovakvim okolnostima. Da bi se pronašlo rešenje prvo je neophodno da se dobro upozna prefabrikacija i da se istraži srž problema, zatim da se istraže sve prednosti i mane koje prefabrikacija nosi sa sobom.

2. PREFABRIKACIJA U GRAĐEVINARSTVU

Građevinski objekti često su kritikovani ne samo zbog svoje male produktivnosti, dugog vremena izgradnje, lošeg kvaliteta, već i zbog potrošnje energije i zagađenja iz okruženja. Prema podacima Međunarodne agencije za energetiku, građevinska industrija je jedan od najvećih doprinosa potrošnji energije i emisiji CO₂. (Agency 2013) Potrošnja je veća u zemljama u razvoju zbog kratke trajnosti, lošeg kvaliteta gradnje, velike količine otpada resursa i energije. Izgradnja zgrade troši 30% više vode, 10% -25% više čelika u poređenju sa gradnjom u razvijenim zemljama. (Li 2019) Stoga su zelene zgrade sa održivim pristupima izgradnji postale nužnost i mogu se ostvariti inovacijama i napretkom u građevinskoj tehnologiji. (Zhao *et. al* 2017) Jedan od tih pristupa je prefabrikacija koja je definisana kao skup građevinskih tehnika koje se zasnivaju na proizvodnji građevinskih elemenata izvan njihovih konačnih mesta definitivnog podešavanja, na licu mesta ili u spoljnoj proizvodnoj jedinici, koji se nakon toga priključuju i montiraju na gradilištu.

Trenutno se građevinarstvo, ali i druge grane industrije nalaze u procesu Industrijalizacije 4.0 koja je vezana za način proizvodnje. Često se povezuje sa povećanjem efikasnosti ali i smanjenjem tradicionalnog načina proizvodnje što je omogućeno sve većom automatizacijom. Industrija 4.0 je digitalna transformacija koja omogućava prikupljanje i analizu podataka preko mašina, omogućujući brže, fleksibilnije i efikasnije procese za proizvodnju robe većeg kvaliteta uz smanjene troškova. Industrijalizacija građevinarstva može rešiti mnoge probleme, poput smanjenja potrebnog vremena za izgradnju koristeći prefabrikaciju, koja izbegava teške vremenske uslove vezane za rad na gradilištu. Kada je reč o troškovima, situacija može biti malo drugačija, jer montaža zahteva generalno velike investicije, a samim tim, troškovi gradnje lokalnog gradilišta, troškovi radne snage i materijala, zamenjuju se troškovima industrijskih postrojenja i opreme, a konačna razmena troškova zavisi od puno „tržišnih pitanja“. U makroekonomskom smislu, industrijalizacija građevinarstva je veoma važna za državne i privredne zone, jer olakšava izvoz i povećava kvalitet, jer se procedure kontrole kvaliteta mogu primeniti na bolji i efikasniji način. Postoji tendencija da prefabrikacija postaje veliki deo sadašnjosti u građevinskoj industriji, naročito zbog povećanja popularnosti modularnih i montažnih građevinskih projekata. Građevinske kompanije primenom modularnih sistema prave turbulencije u industriji zbog značajno ubrzane stope kojom mogu da se grade stambene i poslovne zgrade. Zapravo, tržište modularne gradnje ima projektovanu godišnju stopu rasta od 6,9%. („The Roaring '20s & 10 Construction Industry Trends That Will Shape It“)

2.1. Prednosti prefabrikacije

Prefabrikacija je u početku primenjena u građevinskoj industriji radi smanjenja vremena i troškova i poboljšanja kvaliteta izgradnje. (Jang and Lee 2017) Korišćenje prefabrikovanih materijala i elemenata može smanjiti troškove, i učiniti projekat održivijim i učinkovitijim. Međutim, kako bi se to dogodilo, mora postojati određeni proces gradnje koji poštuje arhitekturu i konstrukciju sa svim elementima. Na taj način se proces izgradnje može obaviti u najkraćem mogućem roku, a troškovi rada i održavanja se smanjuju, kao i gubitak materijala. Prednosti prefabrikacije su dobro poznate i uključuju povećanu efikasnost koja obuhvata sve značajne delove/aktivnosti/tehnike građevinskog projekta. Pojavljuje se i smanjenje građevinskog otpada kao rezultat prefabrikacije, ali postoji malo empirijskih studija koje bi potvrdile ovu tvrdnju. Prefabrikacija smanjuje potrebno vreme za realizaciju građevinskog projekta za 40%. Kao glavne i najvažnije karakteristike prefabrikacije izdvaja se produktivnost, uniformisanost elemenata, mogućnost kombinacije i uklapanje u strukturu, povećanje efikasnosti i smanjenje rizika za neuspeh.

Prefabrikovana konstrukcija popularan je trend zbog vremena, energije i uštede troškova. Modularna gradnja štedi kompanijama značajno vreme i budžet, jer se jedinice grade van gradilišta, što znači da kompanije ne moraju da se suočavaju sa uobičajenim preprekama u izgradnji, kao što su vremenske prilike ili ograničeno radno vreme. To pomaže da se smanji otpad i učini proces izgradnje održivijim, što je još jedan trend u industriji. Tačno je da se primenom prefabrikacije gubi određena fleksibilnost u konačnom dizajnu objekta. Međutim, ako se pravilno sprovede, poseduje ogromne koristi i mogućnosti za komercijalne projekte, izvođače i zainteresovane strane. Mnoge studije su se fokusirale samo na jedan ili vrlo ograničen

broj pokazatelja kako bi se razmotrile prednosti montažne zgrade, na primer, stvaranja otpada i dodatnih troškova ili uštede troškova. Građevinski otpad je uveliko smanjen u različitim aktivnostima na licu mesta. Prednosti ovog načina gradnje objekta je niža cena, skraćeno vreme izgradnje i lakša kontrola kvaliteta u odnosu na klasičnu gradnju kao i smanjenje radne snage što se dalje može povezati sa bezbednošću i sigurnošću na radu – manje radne snage, realizacija radova u kontrolisanim uslovima.

2.2. Nedostaci i ograničenja primene prefabrikacije

Iako prefabrikacija ima brojne prednosti i beneficije u poređenju sa tradicionalnom izgradnjom, ona zapravo ima i određena ograničenja i nedostatke. Budući da je još uvek u razvitku postoji stalna tendencija da se ta ograničenja smanje ili uklone. Da bi se uopšte moglo pričati o načinu na koji je moguće sve te nedostatke minimalizirati ili ukloniti neophodno je prvo ih definisati. Postoje brojne tehničke, finansijske i regulatorne prepreke koje doprinose sporijem usvajanju prefabrikacije. (Steinhardt *et. al* 2014)

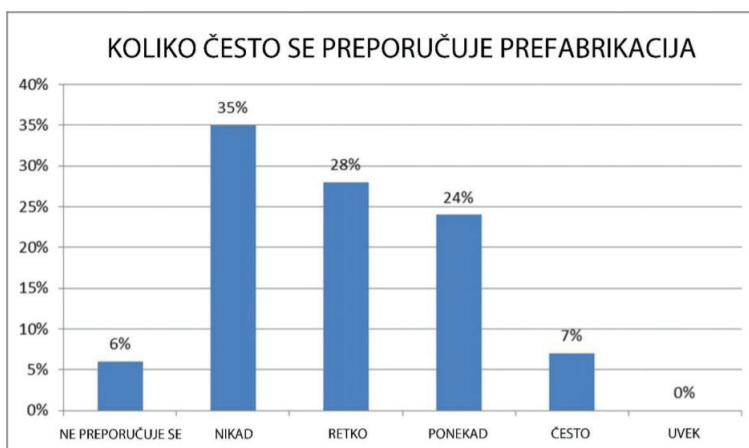
Sadašnja praksa u građevinskoj industriji ima za cilj povećanje fleksibilnosti masovnim prilagođavanjem radi prevazilaženja nedostataka. (Balaguer and Abderrahim 2008) Ovakav pristup usko je povezan sa masovnom proizvodnjom i automatizacijom. I pored te različitosti ograničenja i nedostaci zavise i od vrste projekta koji je u pitanju, ali ono što je definisano kao najčešća ograničenja i nedostaci kod većine projekata prilikom primene prefabrikacije je:

- Maksimalne širine drumskog prevoza,
- Potreba za policijskom pratnjom,
- Ograničenja visine ispod mostova,
- Dnevna ograničenja saobraćaja u gradskim centrima,
- Maksimalno opterećenje kapaciteta za kran dizalice i privremenih postolja,
- Dodatni troškovi privremene konstrukcije za transport i/ili podizanje ili trajno uokvirivanje za potporu montažnih sklopova,
- Dodatni trošak za pred-montažu u fabrici pre demontaže za transport i isporuku,
- Prefabrikacija zahteva veći stepen tačnosti nego što je to uobičajeno povezano sa tradicionalnom izgradnjom,
- Greška u masovnoj proizvodnji montažnih elemenata predstavlja ozbiljan rizik,
- Održivost je pitanje vezano za transport materijala do gradilišta,
- Fabrička proizvodnja zahteva predvidljivu i konzistentnu potražnju, dok izgradnja teži da zahteva istovremeno i veliki i mali broj. („Prefabrication“)

Često se pominje kako je prefabrikovani način izgradnje skuplji od tradicionalnog načina. Može se sa sigurnošću reći da je to zabluda, tačno je da prefabrikacija troši velike količine resursa unapred, dok je to ravnomerno kod slučaja kada je projekat igraden tradicionalnim sistemom. Međutim, kada se montaža planira i pravilno izvede, smanjuje ukupne troškove projekta. Mnoge građevinske prakse izbegavaju primenu i implementaciju prefabrikacije u svojim projektima najčešće baš zbog troškova, ali pored troškova tu su i sledeći najčešći razlozi: komunikacija između svih uključenih strana na projektu, zakon i propisi, dizajn i potrebno znanje.

3. PREFABRIKACIJA I MODERNE TEHNOLOGIJE I SISTEMI

Prefabrikovan sistem gradnje nudi niz mogućnosti i prednosti, nije retkost da se modularni sistem prefabrikovanih elemenata povezuju sa drugim poznatim modernim tehnologijama i sistemima, kao što je to BIM tehnologija, Lean sistemi, IPD (Integrated Project Delivery - integrisana isporuka projekata), AI (Artificial Intelligence – veštačka inteligencija) i drugi. Veštačka inteligencija koristi BIM tehnologiju uz pomoć Lean sistema, čiji rezultat jeste Lean prefabrikacija, koju karakteriše smanjenje utrošenog materijala, smanjenje nepotrebnog otpada, između ostalog i smanjenje utrošenog vremena. Inovativne primene ovih tehnologija najveći akcenat stavljaju na maksimalnu efikasnost koja se može dobiti. Prefabrikacija jeste rezultat Lean-a, odnosno prefabrikacija predstavlja jedan od Lean alata koji nudi velike mogućnosti koje je moguće dodatno ispitati i kombinovati. Implementacija prefabrikacije zavisi od njenih mogućnosti i sposobnosti koje nudi. Jedno istraživanje je pokazano da se prefabrikacija smatra korisnom za celokupnu građevinsku industriju, anketirani su oni koji koriste ili su koristili prefabrikaciju u svojim projektima. Međutim izvršeno je ispitivanje koliko često preporučuju prefabrikaciju, većina ispitanika (35%) je izjavila da nikada ne predlaže upotrebu prefabrikacije, a dodatnih 28% ispitanika odabralo je retko. Većina je mišljenja da bi se moglo učiniti više za primenu montažnih projekata u projektima na kojima su radili (98%), dok je samo 2% ispitanika bilo suprotnog mišljenja. Rezultati su prikazani na slici 1.



Slika 1: Koliko često se prefabrikacija preporučuje

Industrijalizacija građevinarstva može rešiti mnoge probleme, poput smanjenja vremena potrebnog za izgradnju (koristeći prefabrikaciju) i da izbegne teške vremenske uslove. Kada je reč o troškovima, situacija može biti malo drugačija, jer montaža zahteva generalno velike investicije, a samim tim, troškovi gradnje lokalnog gradilišta radnom snagom i materijalima zamenjuju se troškovima industrijskih postrojenja i opreme, a konačna razmena troškova zavisi od puno „tržišnih pitanja“. U makroekonomskom smislu, industrijalizacija građevinarstva je veoma važna za države i privredne zone, jer olakšava izvoz i povećava kvalitet, jer se procedure kontrole kvaliteta mogu primeniti na bolji i efikasniji način.

3.1. BIM

BIM kombinuje tehnologiju i konstrukciju kako bi pomogao izvođačima i kompanijama da vizuelno predstave obim projekta. Integrisanje tehnologije i konstrukcije može vizuelizovati razlike u troškovima i materijalima, što može umanjiti troškove građevinskog materijala i smanjiti radne sate. BIM omogućava vizualizaciju virtuelnih reprodukcija zgrade ili pravljenje 3D modela koji pomažu u otklanjanju problema ili boljem odabiru materijala i, pre svega, smanjuju troškove izvršenja. Takođe omogućava prefabrikovanu ili modularnu gradnju sa efikasnijim tokovima rada nego u tradicionalnoj gradnji. Takvo okruženje poboljšava primenljivost prefabrikacije na građevinskim projektima. (Watson 2011) Uz pomoć BIM tehnologije omogućen je konstantni razvoj prefabrikacije, kao i podsticaj za njenu veću implementaciju. Trenutne građevinske prakse koje su uvele prefabrikaciju u svoje projekte i već je uveliko implementiraju predviđaju povećanje primene prefabrikacije u narednom periodu. Prednosti prefabrikacije stvorile su jak temelj za njenu implementaciju i dalji razvoj. Za prefabrikaciju BIM predstavlja način za kolaboraciju sa drugim modernim sistemima, uz pomoć kojih prefabrikacija može biti dovedena na potpuno novi i viši nivo. Kao što je to robotika, veštačka inteligencija i IPD. Primena BIM tehnologija povećava uspešnost prefabrikacije, dok modularna prefabrikacija doprinosi poboljšanju održivosti u građevinarstvu. Međutim, akcenat ovog istraživanja usmeren je na celokupan proces jednog građevinsko-arhitektonskog projekta, kao što je dizajn, razrada, izgradnja, organizacija i održavanje. Glavni akteri koji su uključeni u različite faze su različiti i njihove brige, interesi i donošenje odluka su različiti. Mnoga istraživanja pokazuju da je glavni razlog za povećanje implementacije prefabrikacije i modularnog sistema gradnje povećana produktivnost i podizanje kvaliteta na viši nivo.

3.2. Lean sistem

Lean menadžment jeste skupina sistema čija je ideja eliminacija i smanjenje svih vrsta rasipanja (gubitaka). Lean menadžment predstavlja veliki iskorak unapred. Najveća prednost Lean filozofije je veza između smanjenja troškova i unapređenja produktivnosti i kvaliteta. U Lean-u, sva energija i kreativnost organizovane su tako da streme ka što boljoj optimizaciji i dodavanju vrednosti vezane za korisnika. Ovo uključuje i druge stvari kao što su troškovi, vreme isporuke, troškovi održavanja, ekološke takse i drugo. Takođe, dešava se da se poboljšaju i unutrašnji faktori kao što su bezbednost, higijena i ergonomičnost. Primena Lean koncepta i tehnika u proizvodnim pogonima obećava znatne koristi građevinskoj industriji. Kao jedna od glavnih prednosti je smanjenje vremena potrebnog za slanje naloga pre potrebne isporuke. Kašnjenje isporuke može produžiti trajanje projekta, te izazvati višak zaliha i dvostruko rukovanje

materijalima. Suština Lean principa jeste da oni nose određene pretpostavke i diktiraju određeni način ponašanja i delovanja svih učesnika u procesu proizvodnje ili pružanja usluge. Svaki od principa nastao je kao reakcija na neku negativnu pojavu u prošlosti, s namerom da se svaka sledeća reši ili spreči na vreme. Što znači da je glavni zadatak lean principa da svaku negativnu posledicu ili situaciju preokrene u njen pozitivni stav ili stanje.

3.2. IPD – Integrisana isporuka projekata

Integrisana isporuka projekata (IPD) uvedena je u SAD radi formiranja paradigme izgradnje koja je usmerena na poboljšanje troškova, vremena i kvaliteta projekta u odnosu na tradicionalne sisteme nabavki. (Hook and Stehn 2008) Američki institut za arhitekture (AIA) naglašava da, iako se BIM može primeniti u većini sistema nabavki, bio bi u najboljoj upotrebi ako se primeni u okviru IPD-a. (Piroozfar *et al.* 2019) Postojanje BIM-a i IPD-a pokazuje mogućnost prelaska sa tradicionalne na modernu paradigmu kao rezultat njihove napredne funkcije i snage saradnje. IPD – Integrisanu isporuku projekta možemo definisati i okarakterisati kao model za isporuku građevinskih projekata korišćenjem jedinstvenog ugovora za projektovanje i izgradnju sa deljenim modelom rizika/nagrade, zagarantovanim troškovima, odricanjem odgovornosti između članova tima, operativnim sistemom zasnovan na Lean principima i kulturi kolaboracije. Taj model se još naziva i „Lean celokupna isporuka projekta“ ili „Lean IPD“ kako bi se pokazala čvrsta veza između metoda ugovaranja i primene Lean principa u upravljanju projektom. Ova saradnja omogućava donošenje odluka na početku projekta u kada se mogu stvoriti najviše vrednosti. Bliska saradnja eliminiše veliku količinu otpada u dizajnu i omogućava direktno deljenje podataka između dizajnerskog i građevinskog tima uklanjajući veliku prepreku povećanoj produktivnosti u građevinarstvu. Prednost IPD metode je u tome što ugovor uklanja barijere za saradnju i inovacije, kombinujući podsticaje za projektni tim u celini, umesto da pojedinačno traže povećani profit od projekta.

3.2. Generativni dizajn (GD) i veštačka inteligencija (AI)

Veštačka inteligencija uz pomoć generativnog dizajna ima mogućnost za dizajn bez granica, kao i niz alata i procesa za upravljanje projektom, tako da na taj način dovodi do efikasnijeg i produktivnijeg upravljanja. Generativni dizajn se može definisati kao proces koji putem generativnog softvera uz pomoć veštačke inteligencije istražuje dizajn. Sa svim potrebnim ulaznim podacima, faktorima ograničenja, informacija i parametara softver vrši računanje i istražuje sva moguća rešenja i permutacije. Uz pomoć veštačke inteligencije softver iz svake iteracije testira i uči šta funkcioniše a šta ne. Ukoliko prefabrikaciju predstavimo kao različite inpute za generativni kod koji bi služio da se pronađu najbolja rešenja, koja bi pored svih prednosti koje nudi prefabrikacija, dodatno bila omogućena maksimalna smanjenja u vidu utrošenog vremena, što dovodi do smanjenja troškova kao i do zadovoljavanja očekivanja korisnika i investitora. Sve što čovek zamisli, ima mogućnost i sposobnost da ostvari uz pomoć softvera i generativnog dizajna, dok uz pomoć veštačke inteligencije ima sposobnost da pronađe najbolje rešenje, ali i da spreči pojavu svih negativnih posledica i rizika koje se mogu javiti prilikom procesa projektovanja, ali i same realizacije građevinskog projekta, kao i kod procesa upravljanja projektom. Generativni dizajn uz pomoć veštačke inteligencije može da stvori brojne mogućnosti dizajna koje nisu samo estetske, već i optimizovane za inženjerske performanse. Ovaj pristup projektovanju omogućava istraživanje različitih mogućnosti dizajna, stvarajući na taj način veliki broj dizajnerskih rešenja polazeći od ograničenih prethodnih podataka o dizajnu. Optimizacija i ideja o kodu uz pomoć generativnog dizajna je praćena veštačkom inteligencijom, koja to omogućava. Lean je fokusiran na smanjenje otpada, zadovoljstvo klijenata i neprestano unapređenje, ali ono što njegovom sistemu nedostaje jeste automatizacija koja je potrebna za upravljanje složenim projektima. BIM i AI zajedno mogu da omoguće potrebnu automatizaciju koja nedostaje Lean prefabrikaciji. BIM može brže da vizualizuje greške, AI da optimizuje rešenja a Lean prefabrikacija to da realizuje. Uz pomoć generativnog dizajna i veštačke inteligencije možemo podići prefabrikaciju na viši nivo, jer ona ne mora nužno da predstavlja ograničenost u dizajnu i kombinacijama. Čak, uz pomoć generativnog dizajna možemo dobiti mnoštvo različitih projekata, koristeći iste ulazne prefabrikovane module. Na primer, možemo imati nekoliko modula u vidu sobe, apartmana, čak i cele etaže, koji su u ovom slučaju ulazni parametri za geometrijski/parametarski kod. Ti moduli će biti prilagođeni Lean prefabrikaciji kako bi se zadovoljile sve potrebe, kao i omogućile sve prednosti koje Lean nosi sa sobom. Zatim uz pomoć odgovarajućih softvera i dodataka programira se kod koji će uz pomoć veštačke inteligencije i generativnog dizajna ponuditi bezbroj mogućih rešenja. Time ne samo da se prefabrikacija razvija i podiže na viši nivo, već joj se daje karakteristika da može da bude veoma kreativna i zanimljiva. A sve to je zapravo nemoguće bez BIM tehnologije. Zato sa sigurnošću se može reći da je BIM je neizostavni deo jer je on temelj ove ideje.

5. ZAKLJUČAK

Svet je izložen svakodnevnim opasnostima, bilo da su te opasnosti produkt ljudske greške ili prirodnih katastrofa, često se javlja potreba za izgradnjom različitih objekata različitih namena. Ta izgradnja trebalo bi da se odvija nezamislivom brzinom sa zadovoljavajućim kvalitetom. Zbog sve veće koncentracije ovakvih slučajeva u poslednjih nekoliko decenija, dolazi se do zaključka da razvoj modularne prefabrikacije itekako ima smisla i ulaganje u istu. Modularna prefabrikacija, koja nudi mogućnosti za razvoj održive gradnje, široko se koristi u nekim razvijenim zemljama i regionima, kao što su Sjedinjene Države, Evropska unija, Velika Britanija, Japan i Singapur, dok u nekim delovima sveta primena modularne prefabrikacije je zaista niska. Pošto je potreba za modularnom prefabrikacijom sve veća i veća, dolazi se na ideju zašto onda ona ne bi bila kreativna i zanimljiva. Prefabrikacija može da predstavlja neiscrpn izvor kreativnih i zanimljivih rešenja, kako za arhitekte tako i za inženjere i dizajnere. U procesu izgradnje suočavamo se i sa rizicima koji uključuju rizike u pogledu kvaliteta i bezbednosti, dok je planiranje projekta kritična faza, jer postavljeni parametri određuju koliko će projekat biti uspešan u njegovoj primeni. Jasno definisani ciljevi projekta daju željene rezultate. Kombinacija veštačke inteligencije i generativnog pristupa dizajnu i to uz pomoć BIM tehnologije donosi brojne mogućnosti koje su gotovo beskrajne, što povećava uspeh projekta. Menadžment projekata u izgradnji ima mnogo faktora koji treba uzeti u obzir i svaki ima potencijal ili rizik da smanji ili produži potrebno vreme za završetak projekta. Veštačka inteligencija može podneti sve ove zadatke, a u kombinaciji sa prefabrikacijom omogućava povećanje efikasnosti građevinskog projekta. Prefabrikacija baš kao i generativni dizajn u kombinaciji sa naprednim tehnologijama ima mogućnost da iskoristi svoj maksimalni potencijal. Takođe ovom kolaboracijom može da spreči potencijalne rizike, unapredi upravljanje i poboljša efikasnost i produktivnost ali i da pruži uslove za bolju saradnju i komunikaciju između timova na projektu. Ova istraživanje je inspiracija za moguća dalja istraživanja o softverima kojise mogu koristiti za realizaciju ove ideje i na koji način se to može realizovati i poboljšati.

ZAHVALNICA

Rezultati prikazani u ovom radu su deo istraživanja projekta “Sveobuhvatni pristup unapređenju interdisciplinarnih istraživanja u obrazovanju i nauci u oblasti građevinarstva”, osnovanog od strane Departmana za građevinarstvo i geodeziju, Fakulteta Tehničkih Nauka u Novom Sadu, Univerziteta u Novom Sadu, Republika Srbija.

LITERATURA

- [1] Agency, I.E. *Transition to Sustainable Buildings: Strategies and Opportunities to 2050*; OECD Publishing: Paris, France, 2013.
- [2] Balaguer, C.; Abderrahim M., *Trends in Robotics and Automation in Construction*, In-Tech, Croatia, 2008
- [3] Hook, M.; Stehn, L., “Applicability of Lean Principles and Practices in Industrialized Housing Production” *Construction Management and Economics*, 2008.
- [4] Jaillon, L.; Poon, C.S. Sustainable construction aspects of using prefabrication in dense urban environment: A Hong Kong case study. *Constr. Manag. Econ.* 2008.
- [5] Jang, S.; Lee, G. Process, productivity, and economic analyses of BIM-based multi-trade prefabrication—A case study. 2017.
- [6] Li, L. *Technology System of Industrialized Housing and Energy-Saving and Pollutants-Reduction Benefits Analysis Based on Construction*; Chongqing University: Chongqing, China, 2015.
- [7] Piroozfar, P.; Farr, E. R. P.; Zadeh, A. H. M.; Inacio, S. T.; Kilgallon, S.; Jin, R., *Facilitating Building Information Modelling (BIM) using Integrated Project Delivery (IPD): A UK perspective*, 2019.
- [8] Steinhardt, D.A.; Manley, K.; Miller, W., *Reshaping Housing – The role of prefabricated systems*, *Proceedings of World Sustainable Building Conference (SB14)*, Barcelona, 2014.
- [9] Watson, A., *Digital buildings – challenges and opportunities* *Adv. Eng. Inform.* 2011.
- [10] Zhao, D.; McCoy, A.P.; Du, J.; Agee, P.; Lu, Y. Interaction effects of building technology and resident behavior on energy consumption in residential buildings. *Energy Build.* 2017.
- [11] The Roaring '20s & 10 Construction Industry Trends That Will Shape It, *ARCHDESK Web site*, Retrieved August 4. 2020. from
- [12] <https://archdesk.com/blog/the-roaring-20s-10-construction-industry-trends-that-will-shape-it/>
- [13] Prefabrication, *Designing Buildings Wiki Web site*, Retrieved August 4. 2020. from
- [14] <https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Prefabrication>.

VREDNOVANJE FASADNIH OBLOGA U FAZI PROJEKTOVANJA SA ASPEKTA UTICAJA NA ŽIVOTNU SREDINU

EVALUATION OF FACADE COVERINGS IN THE DESIGN PHASE FROM THE ASPECT OF ENVIRONMENTAL IMPACT

MARINA NIKOLIĆ TOPALOVIĆ¹, GORAN ČIROVIĆ²,

¹ Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd, Odsek Građevinsko-geodetski, Hajduk Stanka 2. Beograd, e-mail: marinatopnik@gmail.com

² Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Departman za građevinarstvo i geodeziju, e-mail: goran.cirovic@uns.ac.rs

Rezime: U sprovedenom istraživanju se analizira mogućnost primene ekosistemskog pristupa u fazi izrade arhitektonskih projekata primenom metodologije procene ekoloških uticaja koje pojedine fasadne obloge imaju na životnu sredinu, po fazama životnog ciklusa. U istraživanju se koristi metodologija analiza životnog ciklusa (LCA). Istraživanje je pokazalo da se u fazi projektovanja može napraviti procena uticaja na životnu sredinu i odabir fasadne obloge sa manjim uticajem na životnu sredinu. Istraživanje je posebno bitno za izradu projekata energetske sanacije već postojećeg građevinskog fonda i njihovo energetska saniranje, ali ne samo sa aspekta racionalne postojeće energije za zagrevanje objekta, već i vrednovanja uticaja koje odabrana fasadna obloga ima na životnu sredinu. Istraživanje ukazuje na potrebu za formiranjem nacionalne baze građevinskih materijala i formiranja softvera za proračun ekoloških uticaja. Nacionalni softver bi pomogao u nastojanjima za unapređenje građevinarstva, postupka projektovanja i kvaliteta životne sredine u Republici Srbiji.

Ključne reči: fasadne obloge, analiza životnog ciklusa, ekološki uticaji.

Abstract: The conducted research analyzes the possibility of applying the ecosystem approach in the phase of making architectural projects by applying the methodology of environmental impact assessment that individual facade cladding has on the environment, by phases of the life cycle. The research uses the Life Cycle Analysis (LCA) methodology. The research has shown that in the design phase it is possible to make an assessment of the impact on the environment and the selection of the facade cladding with less impact on the environment. The research is especially important for the development of energy rehabilitation projects of the already existing construction fund and their energy rehabilitation, but not only from the aspect of rational energy consumption for heating the building, but also evaluating the impact that the selected facade cladding has on the environment. The research indicates the need for the formation of a national database of construction materials and the formation of software for the calculation of environmental impacts. National software would assist in efforts to improve construction, design and environmental quality in the Republic of Serbia.

Keywords: facade cladding, life cycle analysis, environmental impacts.

1. UVOD

Građevinski sektor je, uz poljoprivredu i transport, najveći potrošač prirodnih resursa. Na globalnom nivou se sprovode mere za smanje uticaja iz građevinskog sektora na životnu sredinu (European Construction Tehnology Platform, MATERIALS, 2005), i donose strategije za transformaciju industrije u pravcu smanjenja uticaja (European Commission, Analysis associated with the Roadmap to a Resource-Efficient Europe, 2011). Osim mera koje se sprovode u industriji koja proizvodi građevinske materijale, usvojena je regulativa o energetske efikasnosti zgrada (Pravilnik o energetske efikasnosti zgrada, 2011, Pravilnik o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetskim svojstvima zgrada, 2012), kojom se propisuje energetska rangiranje, na osnovu potrošnje energije za komforno korišćenje zgrade. Pri tome, uticaji koje građevinski materijali imaju na životnu sredinu, projektantima nisu u dovoljnoj meri dostupni, niti ulazi u energetske bilans izgradnje objekta. Postoji veliki broj uticaja koji građevinski materijali imaju na životnu sredinu pa je značajno, da projektant, ima i te informacije u vidu kada donosi odluku koju fasadnu oblogu

predlaže kao najbolje rešenje. Postojeći građevinski fond izgrađen pre donošenja propisa o energetske efikasnosti zgrada, treba u skorijoj budućnosti energetski sanirati, što podrazumeva utopljanje termičke opne, i izradu novih fasadnih obloga. Opterećenje na životnu sredinu koje nastaje od energetske sanacije postojećih objekata, treba sagledati i sa aspekta uticaja fasadnih obloga na životnu sredinu tokom životnog ciklusa.

Autori kao što je Beak et al. (2013) zaključuju da je procena ugljeničkog otiska u fazi izrade projekta, bitna za smanjenje uticaja građevinarstva na životnu sredinu. Studije, koje se često navode kao primeri uticaja građevinskog sektora (Abd Rashid, A.F. Idris, J. S. Yusoff, S., 2017), pokazuju da je upotreba cementa odgovorna za 8,6% emisije CO₂ u svetu (Klein, R., 2012). Autori Gerbens-Leenes et al. (2018) procenjujući uticaje na životnu sredinu iz građevinske industrije zaključuju da su najveći uticaj na životnu sredinu od proizvodnje čelika, cementa i stakla.

U Srbiji je potrošnja energije u građevinskom sektoru u 2011. godini iznosila je 41% (Energy balance of the Republic of Serbia, 2014). Više od 50% ekološkog otiska Srbije potiče od produkcije CO₂e (Global Footprint Network today at an event at Oxford University), što je mera uticaja svih gasova sa efektom staklene bašte, kroz potencijal za globalno zagrevanje.

Da bi se ublažile klimatske promene, zgrade treba da budu projektovane i konstruisane sa minimalnim uticajem na životnu sredinu (Ibn-Mohammed, T., Greenough, R., Taylor, S., Ozawa-Meida, L. & A. Acquaye, A., 2013).

Uticaj primenjenih građevinskih materijala kroz analizu životnog ciklusa materijala prepoznaju i domaći autori. U svojim radovima Slavković et al. (2014) i Jovanović Popović et al. (2009), navode da je za dalju uštedu energije potrebno istražiti utrošenu energiju u materijalima tokom njihovog životnog ciklusa.

Ovim istraživanjem se želi ukazati na postojanje mogućnosti za smanjenje uticaja iz građevinskog sektora kroz fazu projektovanja objekta u koju je uključena analiza uticaja koji ima odabrana fasadna obloga na životnu sredinu. Sadašnja metodologija energetske rangiranja objekata zanemaruje opterećenja koja su posledica proizvodnje građevinskih materijala, transporta, izgradnje, načina upravljanja otpadom i potrošnje vode.

2. CILJ I ORGANIZACIJA ISTRAŽIVANJA

Cilj istraživanja je procena uticaja koje fasadne obloge mogu imati na životnu sredinu, i njihovo vrednovanje sa ekološkog aspekta. Obzirom da je u Srbiji od 2012. godine uvedeno energetske rangiranje objekata, sve je veći broj postojećih objekata koje treba energetski sanirati. Energetska sanacija nužno podrazumeva utopljanje termičke opne zgrade, a fasada je deo termičke opne preko koje se veliki deo energije za zagrevanje gubi. Dodavanje slojeva termo izolacije na fasadnim zidovima, uz zamenu dotrajale fasadne stolarije najčešći je obim radova koji se planiraju kada se predlažu mere energetske sanacije zgrade. Ove radove neminovno prati i završna obrada fasade koja može imati uticaja na životnu sredinu. U cilju vrednovanja fasadnih obloga i njihovog uticaja na životnu sredinu sprovodi se ovo istraživanje. Analiziraju se uticaji osam različitih fasadnih obloga koje se u Srbiji koriste za obradu fasada individualnih stambenih zgrada. Namera je da se kroz istraživanje ukaže na mogućnost poboljšanja metodologije izrade arhitektonskih projekata, primenom softvera kojima se ti uticaji mogu u fazi projektovanja izračunati i na osnovu toga doneti preporuka za primenu materijala sa manjim uticajem na životnu sredinu i zdravlje ljudi. U nedostatku nacionalne baze podataka za proračun uticaja građevinskih proizvoda na životnu sredinu koristi se softverskih paketa BEES (<https://www.nist.gov/services-resources/software/bees>), Nacionalnog instituta za standardizaciju SAD (NIST). U softverskom paketu BESS, ima materijala koji su slični fasadnim oblogama koje se koriste u Srbiji za završnu oblogu fasada individualnih stambenih zgrada. Vrste fasadnih obloga koje su analizirane u istraživanju su prikazane u Tabeli 1, kao i oznaka modela. U tabeli su dati proizvodni nazivi fasadnih obloga, koji postoje u bazi softvera BESS.

Tabela 1: Vrste fasadnih obloga koje su analizirane u istraživanju

Fasadna obloga	Jedinica mere	Oznaka modela
Generic Brick & Mortar	(1ft ²) = (0,093m ²)	F1
Anonymous Brick & Mortar Product 1	(1ft ²) = (0,093m ²)	F2
Anonymous Brick & Mortar Product 2	(1ft ²) = (0,093m ²)	F3
Generic Aluminum Siding	(1ft ²) = (0,093m ²)	F4
Certain Teed Vinyl Weather Boards	(1ft ²) = (0,093m ²)	F5
Certain Teed Weather Boards	(1ft ²) = (0,093m ²)	F6
Generic Stucco Traditional (Residential)	(1ft ²) = (0,093m ²)	F7
CertainTeed Recycled Content Cedar Boards	(1ft ²) = (0,093m ²)	F8

Softver ima mogućnost podešavanja vrste transporta, kao i rastojanja od mesta proizvodnje do mesta ugradnje. Za sve fasadne obloge, izabran je transport kamionima, što je uobičajeni vid transporta u Srbiji, a kao distanca transporta od proizvodnog pogona dao gradilišta za sve analizirane varijante je ista, iznosi 100km.

3. METODOLOGIJA

Metodologija koja se koristi u istraživanju je procena uticaja životnog ciklusa (LCA). LCA je metodologiju za identifikovanje potencijalnih uticaja koje proizvodi ili usluge imaju tokom životnog ciklusa. Metodologija je propisana standardima ISO 14040: 2006 i 1044: 2006 (International Standards Organization, 2006) i od strane Evropske komisije je preporučeni alat za procenu uticaja na životnu sredinu. Za građevinske proizvode se primenjuje i ISO 15978: 2011 (International Standards Organization, 2011), koji za osnov ima LCA metodologiju. O prednostima primene LCA metodologije za identifikovanje uticaja građevinskih objekata iznose zaključke i drugi istraživači u svojim radovima (Karimpour, M., Belusko, M., Xing, K. & Bruno, F., 2014).

Ekološki uticaji koji se vrednuju u ovom istraživanju su prikazani u Tabeli 2.

Tabela 2: Vrednovani ekološki uticaji

Environmental uticaji	Jedinica mere
LCA Potencijal globalnog zagrevanja	kg CO ₂ eq
LCA Potencijal eutrofikacije	kg SO ₂ eq
LCA Potencijal acidifikacije	kg N eq
LCA Potrošnja vode	litara
LCA Degradacija zemljišta	m ²
LCA Ekološka toksičnost	CTU e
LCA Trošenje neobnovljive energije	MJ
LCA Trošenje obnovljive energije	MJ

Vrednovani su ekološki uticaji osam vrsta fasadnih obloga. Za potrebe istraživanja koristi se programski paket BEES (<https://www.nist.gov/services-resources/software/bees>) Američkog instituta za standardizaciju i tehnologiju. U programu postoji izbor fasadnih obloga koje se koriste u SAD, u okviru koga su pronađene obloge slične onima koje se koriste i u Srbiji. Struktura proizvodnje energije je za svaku zemlju drugačija pa se odnos obnovljive i neobnovljive energije koja se koristi u pojedinim proizvodnim procesima od jedne do druge industrije razlikuju. Softver, koji se koristi za istraživanje ima bazu podataka o materijalima proizvedenim od prirodnih sirovina (primarnih materijala) ali i od recikliranih materijala, što je jedan od razloga za njegovu upotrebu u istraživanju. Tako se može porediti i primena recikliranih i proizvoda od primarnih materijala. Istraživanje će pokazati da li je moguće, u fazi projektovanja, proceniti nivo uticaja na životnu sredinu koji proizilazi iz odabira fasadne obloge. Rezultati procene ekoloških uticaja bi mogli biti pokazatelj koja od analiziranih fasadnih obloga predstavlja bolji izbor sa aspekta uticaja na životnu sredinu i zdravlje biljnog i životinjskog sveta.

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

Rezultati istraživanja primenom softverskog paketa BEES, za procenu ekoloških uticaja tokom životnog ciklusa osam analiziranih fasadnih obloga analizom LCA, su detaljni i sa velikim brojem informacija. Za svaku od analiziranih ekoloških parametara se mogu dobiti numeričke vrednosti, tabelarno prikazane vrednosti uticaja za svaku od faza životnog ciklusa. Osim tabelarnog prikaza rezultati se mogu dobiti i u formi dijagrama, iz kojih se jasno prezentuju sve uticaji po fazama životnog ciklusa. Sažeti zbirni rezultati svih analiziranih ekoloških uticaja prikazani su u Tabeli 3. Rezultati za svaki od analiziranih ekoloških parametara će zbog toga biti posebno obrazloženi.

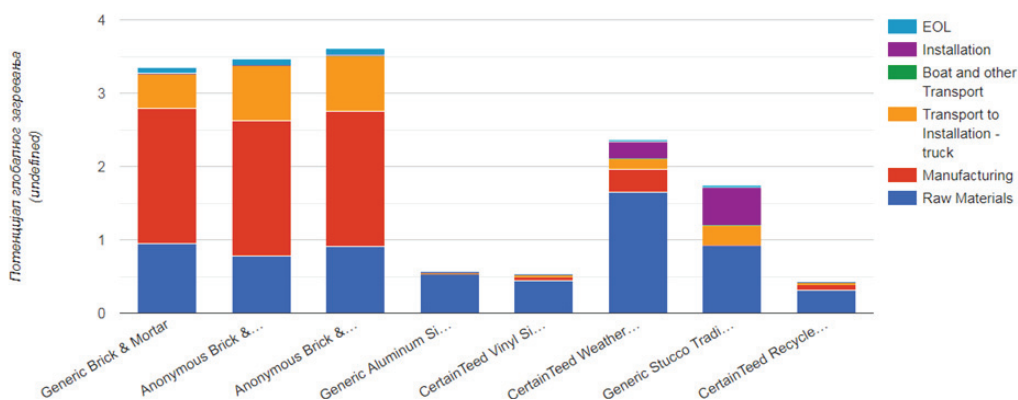
Potencijal globalnog zagrevanja je posledica emisija u vazduh grupe gasova sa efektom staklene bašte, pa je veoma bitno, zbog uticaja na klimatske promene, da te vrednosti budu što manje. Najveće vrednosti potencijala globalnog zagrevanja ima model F1, zatim F2, nešto manje vrednosti ima model F3. Niže vrednosti imaju model F6 i F7, a značajno manje vrednosti potencijala globalnog zagrevanja imaju model F4, zatim F5 i najniže vrednosti ima model F8. Model F8 (CertainTeed Recycled Content Cedar Boards) fasada od recikliranog drveta, ima devet puta manje vrednosti potencijala globalnog zagrevanja u odnosu na model

sa najvišim vrednostima a to je model F3 (Anonymous Brick & Mortar Product 2) obloga od opeke nepoznatog proizvođača sa malterom 2.

Vrednosti potencijala globalnog zagrevanja po fazama životnog ciklusa prikazane su na Slici 1. Najveći deo uticaja potencijala za globalno zagrevanje, kod najlošije rangiranih modela: F3, F2 i F1, su iz faze proizvodnje, transporta i eksploatacije sirovina. Sve tri vrste fasadne obloge od opeke zidane sa malterom imaju osam do devet puta veće vrednosti potencijala globalnog zagrevanja u odnosu na najbolje rangiranu oblogu, koja je u ovom slučaju F8 (CertainTeed Recycled Content Cedar Boards) obloga od recikliranog drveta.

Tabela 3: Ekološki parametri analiziranih fasadnih obloga

LCA Environmental parametri	Veličina uticaja po analiziranom modelu							
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Potencijal globalnog zagrevanja	3,36e	3,47e	3,61e	0,561e	0,529e	2,36e	1,74e	0,424e
Potencijal eutrofikacije	0,00074e	0,00078e	0,00079e	0,0021e	0,00018e	0,0016e	0,0026e	0,000168e
Potencijal acidifikacije	0,0232e	0,0256e	0,0262e	0,0042e	0,00427e	0,0128e	0,0098e	0,0034e
Potrošnja vode	947e	241e	234e	89,9e	91,9e	1160e	1130e	161e
Ekološka toksičnost	4,38e	5,02e	5,01e	6,19e	0,79e	3,42e	11,5e	0,73e
Degradacija zemljišta	0,0147e	0,112e	0,104e	0,01e	0,0069e	0,0146e	0,0106e	0,007e
Trošenje obnovljive energije	49,9e	52,9e	53,3e	8,87e	13,0e	30,0e	26,7e	9,57e
Trošenje obnovljive energije	0,256e	1,64e	1,53e	1,33e	0,121e	0,481e	0,507e	0,145e



Slika 1: Potencijal globalnog zagrevanja po fazama životnog ciklusa LCA

Potencijal eutrofikacije i acidifikacije su posebno značajni i usko povezani sa uticajima na tlo i vodu. Zbog toga treba sagledati i ove uticaje, numerički prikazane u Tabeli 3. Voda je veoma bitan resurs koji je direktno povezan sa opstankom biljnog i životinjskog sveta.

Najveće vrednosti potencijala za eutrofikaciju imaju modeli: F7, F4 i F6, dok najniže vrednosti ima model F8 (CertainTeed Recycled Content Cedar Boards) fasada od recikliranog drveta, deset puta manje vrednosti od modela F7 (Generic Stucco Traditional-Residential) što je završna obrada tipa Štuko fasada.

Potencijal acidifikacije je najveći za model: F3, F2 i F1, a najmanji za model F8 (CertainTeed Recycled Content Cedar Boards) fasada od recikliranog drveta, koji ima vrednosti potencijala acidifikacije sedam ipo puta manje od modela F3 (Anonymous Brick & Mortar Product 2) opeka nepoznatog porekla zidana malterom2.

Potrošnja vode je najveća za model F6, nešto manja za F7 a zatim za F1. Najmanju vrednost u smislu potrošnje vode ima model F4 (Generic Aluminum Siding) aluminijumska fasadna obloga, skoro trinaest puta manje vrednosti od modela F6 (CertainTeed Weather Boards) vodootporna fasada na bazi drveta.

Ekološka toksičnost je najveća za model F7 (Generic Stucco Traditional-Residential) Štuko fasada, a najmanja za model F8 (CertainTeed Recycled Content Cedar Boards) reklirana drvena obloga, skoro šesnaest puta manje vrednosti u odnosu na F7 (Generic Stucco Traditional - Residential) Štuko fasada, koja u Srbiji često zastupljena fasadna obloga.

Što se tiče degradacije zemljišta njaveće uticaje ima model F2, pa F3, a najmanje vrednosti model F5, nešto malo veće vrednosti ima model F8. Modela F5 (Certain Teed Vinyl Weather Boards) ima šesnaest puta manji uticaj od modela F2 (Anonymous Brick & Mortar Product 1) fasada zidana opekom nepoznatog proizvođača u malteru 1, ovaj tip fasadne obloge je takođe često zastupljen u Srbiji.

Sa aspekta potrošnje neobnovljivih energija najviše vrednosti ima model F3, pa F2 i F1, a najmanje vrednosti model F4 (Generic Aluminum Siding) od aluminijuma i F5 (Certain Teed Vinyl Weather Boards) fasadna obloga od recikliranog drveta.

Najveće vrednosti u potrošnji obnovljive energije ima model F2, pa F3 i F4. Najmanje vrednosti ima model F5 (Certain Teed Vinyl Weather Boards) vodootporna fasada od vinila i drveta, i nešto malo veće vrednosti ima model F8 (Certain Teed Recycled Content Cedar Boards), fasada od recikliranog drveta i F1 (Generic Brick & Mortar) zidana fasada od fasadne opeke i maltera. Struktura neobnovljive i obnovljive energije se u svakoj industriji razlikuje, razlike postoje i između država.

Rezultati istraživanja pokazuju da je fasadna obloga sa najmanjim uticajima na zdravlje ljudi i životnu sredinu, sa više različitih aspekata fasadna obloga F8 (CertainTeed Recycled Content Cedar Boards), obloga od recikliranog drveta, zatim u grupi fasadnih obloga sa nešto većim uticajem spadaju i fasadna obloga F4 (Generic Aluminum Siding) od aluminijuma i F5 (Certain Teed Vinyl Weather Boards) fasadna obloga od drvo vinila. U grupi fasadnih obloga, koje imaju najveći uticaj na životnu sredinu spadaju fasadne obloge F3 (Anonymous Brick & Mortar Product 2) opeka nepoznatog proizvođača sa malterom 2 i F2 (Anonymous Brick & Mortar Product 1) opeka nepoznatog proizvođača sa malterom 1, dok fasadna opeka sa malterom F1 (Generic Brick & Mortar) imaju nešto manje uticaje u pojedinim ekološkim aspektima. U Srbiji je oblaganje fasade opekom u malteru, je često zastupljena fasadna obloga, zbog izvesne prednosti u smislu trajnosti i akumulativnosti, termičke stabilnosti.

5. ZAKLJUČAK

Iz sprovedenog istraživanja, u fazi izrade projekta se upotrebom softvera može napraviti procena koliki su uticaji od izabrane vrste fasadne obloge. Ovo istraživanje je značajno jer se veliki broj već postojećih objekata treba energetske sanirati, radi smanjenja potrebne energije za zagrevanje zgrada. Uticaji iz faze proizvodnje transporta i ugradnje elemenata koji se predlažu za utopljanje zgrada se mogu sagledati primenom softera koji obračunava uticaje od građevinski materijali i proizvoda na životnu sredinu. Od analiziranih osam vrsta fasadnih obloga najmanji uticaj na životnu sredinu ima model F8 (CertainTeed Recycled Content Cedar Boards), fasadna obloga od recikliranog drveta, zatim F5 (Certain Teed Vinyl Weather Boards), obloga od drveta i vinila, nakon čega sledi model F4 (Generic Aluminum Siding), aluminijumska fasada, sa većim uticajem je model F7 (Generic Stucco Traditional-Residential), Štuko fasada, pa F6 (Certain Teed Weather Boards), vodootporna drvena fasada, i na kraju grupa modela u kojima je primenjena opeka i cement, a to su modeli F1 (Generic Brick & Mortar), F2 (Anonymous Brick & Mortar Product 1) i F3 (Anonymous Brick & Mortar Product 2). Rezultati uticaja analiziranih osam vrsta fasadnih obloga su sa najvećim uticajem na životnu, su fasadne obloge za koje se koristi opeka zidana u različitim vrstama maltera. U fazi projektovanja je moguće vrednovati građevinske materijale sa aspekta uticaja na životnu sredinu od faze eksploatacije sirovina iz prirode do kraja životnog ciklusa.

Istraživanje ukazuje na potrebu da se u fazi projektovanja uključi obračun ekoloških uticaja koje primenjeni građevinski materijali imaju na životnu sredinu. Obračunom ekoloških uticaja se može unaprediti projektovanje i pomoći pri donošenju odluke koji je projekat povoljniji za životnu sredinu.

Ovo istraživanje ukazuje na potrebu za niskougljeničnim građevinskim proizvodima, na globalnom nivou ali i u nacionalnoj građevinskoj industriji. Istraživanje ukazuje i na potrebu da se formiranjem nacionalnog softvera za vrednovanje ekoloških uticaja građevinskih materijala i proizvoda pruža alat koji projektanti može pomoći u nastojanju za smanjenje ekološkog otiska Republike Srbije, koji je trenutno najviši u regionu (Energy balance of the Republic of Serbia, 2014).

U istraživanju nije analiziran aspekt primenjenih fasadnih obloga na termičku stabilnost, odnosno termičke karakteristike primenjenih fasadnih obloga, što je sledeća bitna osobina, kao ni primena termoizolacionih materijala, za utopljavanje termičke opne zgrade.

LITERATURA

- [1] Abd Rashid, A.F. Idris, J. S. Yusoff, S. (2017). Environmental Impact Analysis on Residential Building in Malaysia Using Life Cycle Assessment, *Sustainability*, 9, 329-338. Retrieved from: <https://doi.org/10.3390/su9030329>.
- [2] Strunk, W., Jr., & White, E.B. (2000). *The elements of style*. (4th ed.). New York: Longman.
- [2] Baek, C. Park, S. Suzuki, M. Lee, S. (2013). Life cycle carbon dioxide assessment tool for buildings in the schematic design phase, *Energy Build*, 61. 275-287. doi: 10.1016/j.enbuild.2013.01.025.
- [3] Energy balance of the Republic of Serbia, Retrieved from: www.mre.gov.rs/.../EN%20BILANS%20ZA%202014>, [accessed: 20. 12. 2017].
- [4] European Commission, Analysis associated with the Roadmap to a Resource-Efficient Europe. Part II. Commission Staff Working Paper. Brussels; 20.9.2011. SEC (2011) 1067 final.
- [5] European Construction Tehnology Platform, MATERIALS, Vision 2030 & Strategic Resarsh Agenda, Focus Area Materials. Version 1, <http://www.ectp.org>.20.1.2013. Brussels; 2005.
- [6] Gerbens-Leenes, P.W., Hoestra, A.Y., Bosman, R. (2018). The blue and grey water footprint of construction materials: Steel, cement and glass, *Water resources and Industry*, 19, 2018, pp 1-12. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212371717300458>
- [7] Global Footprint Network today at an event at Oxford University, Retrieved from: https://www.footprintnetwork.org/2018/04/09/has_humanitys_ecological_footprint_reached_its_peak/ [accessed: 14. 3. 2018].
- [8] <https://www.nist.gov/services-resources/software/bees>.
- [9] Ibn-Mohammed, T., Greenough, R., Taylor, S., Ozawa-Meida, L. & A. Acquaye, A. (2013). Operational vs. Embodied emissions in Buildings – A Review of Current Trends, *Energy and Buildings*, 66, 232-245. Retrieved from: [https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.026\(10.08.2018\)](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.026(10.08.2018)).
- [10] ISO 14040:2006. Environmental management – life cycle assessment – principles and framework. Geneva, Switzerland: International Standards Organization, 2006.
- [11] ISO 15978:2011 Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation methods, Geneva, Switzerland: International Standards Organization, 2011.
- [12] Jovanović Popović, M., Kosanović, S. (2009). Selection of building materials based upon ecological characteristics: priorities in function of environmental protection, *Spatium*, 20. 7-23. doi: 10.18485.
- [13] Karimpour, M., Belusko, M., Xing, K. & Bruno, F. (2014). Minimizing the life Cycle Energy of buildings: review and Analysis, *Buildings and Environment*, 73, 106-114. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.019> (10.08.2018).
- [14] Klein, R. (2012). *Materials and energy: a story of linkages* (PhD thesis). Leiden University, Leiden, Retrieved from: <https://www.universiteitleiden.nl/en/staffmembers/rene-kleijn/publications#tab-4>.
- [15] Pravilnik o energetskejoj efikasnosti zgrada, "Službeni glasnik RS", No. 61/2011, Retrieved from: <http://www.mgsi.gov.rs>. [accessed: 25. 10. 2016].
- [16] Pravilnik o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetskeim svojstvima zgrada, "Službeni glasnik RS", No. 69/2012. Retrieved from: <http://www.mgsi.gov.rs>. [accessed: 25. 10. 2016].
- [17] Slavković, K., Radivojević, A. (2014). Evaluation of energy embodied in the external wall of the single-family buildings in the process of energy optimization, (03. August 2014). *Energy Efficiency*.



UTICAJ TERMOIZOLACIONIH MATERIJALA NA EMISIJU GASOVA SA EFEKTOM STAKLENE BAŠTE

INFLUENCE OF THERMAL INSULATION MATERIALS ON GREENHOUSE GAS EMISSIONS

MARINA NIKOLIĆ TOPALOVIĆ¹, GORAN ČIROVIĆ², KATARINA KRSTIĆ¹

¹ Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd, Odsek Građevinsko-geodetski, Hajduk Stanka 2. Beograd, e-mail: marinatopnik@gmail.com,

² Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Departman za građevinarstvo i geodeziju, e-mail: goran.cirovic@uns.ac.rs

Rezime: U sprovedenom istraživanju se analizira mogućnost primene metodologije procene ekoloških uticaja koje pojedinu termo izolacioni materijali imaju na životnu sredinu. Ekosistemski pristup i unapređenje faze projektovanja u pravcu vrednovanja ekoloških karakteristika predloženih materijala za utopljanje termičke opne zgrade. U istraživanju se koristi metodologija Analize životnog ciklusa (LCA) kako bi se sagledalo u kojoj fazi životnog ciklusa predloženih termoizolacionih materijala postoje žarišta i kvantifikuju uticaji. Istraživanje pokazuje da se u fazi izadre elaborata energetske efikasnosti za projekt energetske sanacije zgrada, treba sagledati i uticaj koji primenjeni materijali imaju na životnu sredinu i zdravlje ljudi. Osim vrednovanja smanjenja potrošnje energije za zagrevanje objekta, treba sagledati i uticaj od primenjenih materijala. Istraživanje ukazuje na potrebu za formiranje softvera za proračun ekoloških uticaja. Nacionalni softver bi pomogao u nastojanjima za unapređenje građevinarstva, postupka projektovanja i kvaliteta životne sredine u Republici Srbiji.

Ključne reči: energetska efikasnost, termo izolacioni materijali, analiza životnog ciklusa, ekološki uticaji.

Abstract: The conducted research analyzes the possibility of applying the methodology for assessing the environmental impacts that certain thermal insulation materials have on the environment. Ecosystem approach and improvement of the design phase in the direction of evaluating the environmental characteristics of the proposed materials for thermal insulation. The research uses the methodology of Life Cycle Analysis (LCA) to see at what stage of the life cycle of the proposed thermal insulation material there are hotspots and quantify the impacts. The research shows that in the phase of preparing the energy efficiency study for the project of energy rehabilitation of buildings, the impact that the applied materials have on the living environment and human health should be considered. In addition to evaluating the reduction of energy consumption for heating the building, the impact of the applied materials should also be considered. The research indicates the need for the formation of software for the calculation of environmental impacts. National software would assist in efforts to improve construction, design and environmental quality in the Republic of Serbia.

Keywords: energy efficiency, thermal insulation materials, life cycle analysis, environmental impacts.

1. UVOD

Značajan zaokret u pravcu energetske efikasnosti zgrada u Evropi je učinjen 2002.godine sa usvajanjem EU direktive (Council directive 2002/91/EC. 2002), kojom su dotadašnji propisi o energetskej efikasnosti zgrada pooštreni i propisana energetska sertifikacija zgrada. U regulativi se osim metodologije proračuna energetske potreba zgrade, propisuje i obaveza iskazivanja potrošnje CO₂, kao mere uticaja zgrada na životnu sredinu. Ova direktiva se odnosi na nove, ali i na postojeće zgrade, odnosno na potrebu njihove energetske sanacije. Usvajanjem nove direktiva EU iz 2010 (Council directive 2010/31/EU, 2010), o energetskim svojstvima zgrada je predviđeno da do 2020. godine sve nove zgrade budu nulti energetski razred, a sve javne zgrade skoro nulte do 2018. Osim tih odrednica akcenat je i na povećanju obima energetske sanacije postojećih zgrada. U Srbiji je 2011.godine usvojena regulativa o energetskej efikasnosti zgrada (Pravilnik o energetskej efikasnosti zgrada, 2011, Pravilnik o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetskim svojstvima zgrada, 2012), sa obavezom primene od 2012.god., kojom se propisuje

obaveza energetskog rangiranja, i minimalni energetski razred za sve nove zgrade, na osnovu potrošnje energije za komforno korišćenje. Prema važećoj legislativi energetsko rangiranje se vrši na osnovu potrebne energije za komforno korišćenje zgrade obračunato u kw/m^2 površine. U skladu sa tim postoji i potreba proračuna emisije CO_2 , koje nastaju kao posledica korišćenja zgrade, iskazana po kgCO_2/m^2 površine. Osim novih zgrada usvojena regulativa se odnosi i na energetsko saniranje postojećeg građevinskog fonda, i njegovo energetsko rangiranje. U regulativi se računaju samo uticaji iz faze korišćenja zgrade, a proizvodnja, transport i ugradnja materijala, nisu ušli u procenu uticaja na životnu sredinu (Padilla-Rivera, A., Amor, B., Blanchet, P., 2018, Mengxue, Lu, L Joseph H.K. Lai, 2018).

Brojna istraživanja ukazuju potrebu da se smanje emisije GHG, iz zgrada, zbog uticaja na klimatske promene (De Wolf, C., Pomponi, F., Moncaster, A., 2017, Victoria, MF., Perera, S., 2018). O značaju faze projektovanja za identifikovanje uticaja vezanih za građevinske materijale i način izgradnje, kao i mogućnosti smanjenja negativnih uticaja razmatraju mnogobrojni autori (Baek, C. Park, S. Suzuki, M. Lee, S., 2013). Zgrade i izgradnja zajedno troše 36% finalne energije na globalnom nivou i proizvode 39% ugljen-dioksida (CO_2), u analizu je uključen životni ciklus materijala ali i proizvodnja energije (GLOBAL STATUS REPORT 2017). Zbog nedovoljne aktivnosti na smanjenje emisija CO_2 do 2030. god, se predviđa dvostruko veća vrednost GHG iz građevinskog sektora (GLOBAL STATUS REPORT 2017). Da bi se ispunile globalne klimatske ambicije utvrđene Pariskim sporazumom intenzitet potrošnje energije po kvadratnom metaru (m^2) zgrada treba smanjiti za 30% do 2030. godine (u poređenju sa 2015. godinom) (GLOBAL STATUS REPORT 2017). Zbog toga je neophodno postojeci građevinski fond izgrađen pre donošenja propisa o energetskoj efikasnosti zgrada, u skorijoj budućnosti treba energetski sanirati. Zbog toga je veoma bitno i opterećenje na životnu sredinu koje nastaje od energetske sanacije postojećih objekata, sagledati i sa aspekta uticaja koje materijali imaju na životnu sredinu. Za procenjuju uticaj građevinskog sektora, koriste se vrednosti emisije (GHG) što se kvantifikuje kroz emisije CO_2 (Pomponi, F., De Wolf, C., Moncaster, A., Embodied Carbon in Buildings, 2018, Akbarnezhad, A., Xiao, J., 2017).

Autori kao što je Beak et al. (2013), zaključuju da je procena ugljeničkog otiska u fazi izrade projekta, bitna za smanjenje uticaja građevinarstva na životnu sredinu. U istraživanju Ibn-Mohammed et al. (2013), zaključuje da zgrade treba da budu projektovane i konstruisane sa minimalnim uticajem na životnu sredinu, kao bi se ublažili efekti koji dovode do klimatskih promena.

Potrošnja energije u građevinskom sektoru Republike Srbije 2011. godine je 41% (Energy balance of the Republic of Serbia, 2014). Više od 50% ekološkog otiska Srbije potiče od produkcije CO_2 e (Global Footprint Network), što je mera uticaja svih gasova sa efektom staklene bašte (GHG), kroz potencijal za globalno zagrevanje.

Domaći autori Slavković et al. (2014) i Jovanović Popović et al. (2009), zapažaju da je za dalju uštedu energije potrebno istražiti utrošenu energiju u materijalima tokom njihovog životnog ciklusa.

U cilju smanjenje uticaja iz građevinskog sektora, predlaže se, primena ekosistemskog pristupa prilikom odabira, termoizolacionog materijala kojim se predlaže utopljanje termičke opne zgrade.

2. CILJ I ORGANIZACIJA ISTRAŽIVANJA

Cilj istraživanja je procena uticaja koje termoizolacioni materijali imaju na životnu sredinu, i njihovo vrednovanje sa ekološkog aspekta. Dodavanje slojeva termo izolacije na fasadnim zidovima, uz zamenu dotrajale fasadne stolarije najčešći je obim radova koji se planiraju kada se predlažu mere energetske sanacije zgrade. Namera je da se kroz istraživanje ukaže na mogućnost poboljšanja metodologije izrade arhitektonskih projekata, primenom softvera kojima se ti uticaji mogu u fazi projektovanja izračunati i na osnovu toga doneti preporuka za primenu materijala sa manjim uticajem na životnu sredinu. Zbog nedostatka nacionalnog programa za vrednovanje ekoloških uticaja građevinskih materijala, za potrebe istraživanja koristi se programski paket BEES (<https://www.nist.gov/services-resources/software/bees>), Američkog instituta za standardizaciju i tehnologiju NIST. Program je opremljen podacima za građevinske materijale koji se koriste u zemljama SAD. U softverskom paketu BESS, ima materijala koji su slični termo izolacionim materijalima koje se koriste u Srbiji, ali ima i onih koji nisu zastupljeni. U programu ima materijala koji su proizvedeni od primarnih sirovina, ali i od recikliranih, pa je kroz istraživanje i taj aspekt moguće analizirati. Struktura proizvodnje energije je za svaku zemlju drugačija pa se odnos obnovljive i neobnovljive energije koja se koristi u pojedinim proizvodnim procesima od jedne do druge industrije razlikuju. Rezultati procene potencijala globalnog zagrevanja će pokazati koji od termo izolacionih materijala, može pomoći u smanjenju ugljeničnog otiska izgradnje zgrade. Softver ima mogućnost podešavanja vrste transporta, kao i rastojanja od mesta proizvodnje do mesta ugradnje, i u ovom istraživanju za sve je uzeto isto rastojanje 100km.

Vrste termoizolacionih materijala, koji su analizirani u istraživanju, njihovi proizvodni nazivi, su prikazani u Tabeli 1, kao i oznaka modela.

Tabela 1: Termoizolacioni materijali koje su analizirane u istraživanju

Fasadna obloga	Jedinica mere	Oznaka modela
Generic Blown Cellulose R-13	(1ft ²) = (0,093m ²)	IZ1
Generic Blown Cellulose R-19	(1ft ²) = (0,093m ²)	IZ2
Generic Fiberglass Batt R-13	(1ft ²) = (0,093m ²)	IZ3
Generic Fiberglass Batt R-19	(1ft ²) = (0,093m ²)	IZ4
Average Mineral Wool Board R-13	(1ft ²) = (0,093m ²)	IZ5
Average Mineral Wool Board R-19	(1ft ²) = (0,093m ²)	IZ6
Average Blown Mineral Wool R-13	(1ft ²) = (0,093m ²)	IZ7
Average Blown Mineral Wool R-19	(1ft ²) = (0,093m ²)	IZ8

3. METODOLOGIJA

Metodologija koja se koristi u istraživanju je procena uticaja životnog ciklusa (LCA), je metodologija za identifikovanje potencijalnih uticaja koje proizvodi ili usluge imaju tokom životnog ciklusa. O prednostima primene LCA metodologije za identifikovanje uticaja građevinskih objekata iznose zaključke i drugi istraživači u svojim radovima (Baek, C. Park, S. Suzuki, M. Lee, S., 2013, Abd Rashid, A.F. Idris, J. S. Yusoff, S., 2017, Karimpour, M., Belusko, M., Xing, K. & Bruno, F., 2014). Metodologija je propisana standardom ISO 14040: 2006 (International Standards Organization, 2006) i od strane Evropske komisije je preporučen alat za procenu uticaja na životnu sredinu. U istraživanju se vrednuju emisije GHG, tokom životnog ciklusa osam vrsta termo izolacionih materijala. Emisije GHG su potencijal globalnog zagrevanja koji se meri kroz količinu emitovanih gasova sa efektom staklene bašte u kilogramima ugljen dioksida ekvivalenta (kgCO₂eq) (<https://www.nist.gov/services-resources/software/bees>).

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

Potencijal globalnog zagrevanja je posledica emisija u vazduh grupe gasova sa efektom staklene bašte (GHG), pa je veoma bitno, zbog uticaja na klimatske promene, da te vrednosti budu što manje. Rezultati istraživanja primenom softverskog paketa BESS, za procenu ekoloških uticaja tokom životnog ciklusa osam analiziranih termoizolacionih materijala analizom LCA, su prikazani su u Tabeli 2.

Tabela 2: Rezultatai LCA analize po fazama životnog ciklusa

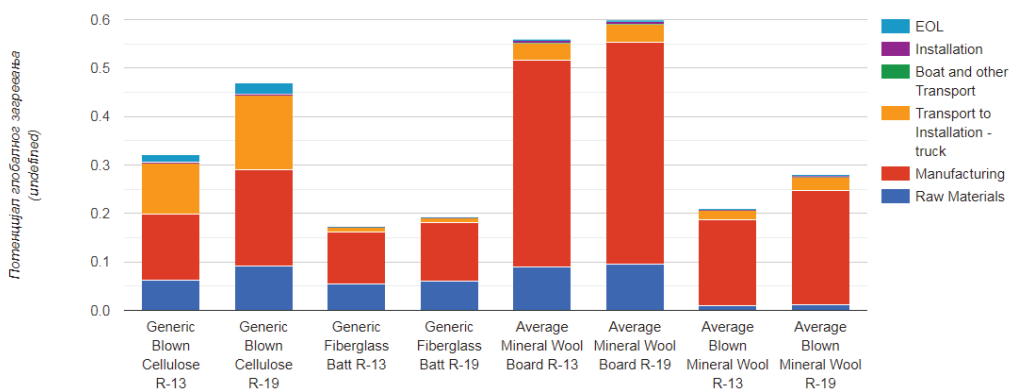
Faza životnog ciklusa	Potencijal globalnog zagrevanja po fazama životnog ciklusa LCA							
	IZ1	IZ2	IZ3	IZ4	IZ5	IZ6	IZ7	IZ8
Sirovine	6,20e-2	9,06e-2	5,42e-2	6,00e-2	8,89e-2	9,53e-2	9,06e-3	1,21e-2
Proizvodnja	1,37e-1	2,00e-1	1,08e-1	1,20e-1	4,27e-1	4,58e-1	1,77e-1	2,36e-1
Transport do gradilišta-kamion	1,05e-1	1,53e-1	9,23e-3	1,03e-2	3,47e-2	3,72e-2	2,02e-2	2,70e-2
Ostali transport	1,00e-14	1,00e-14	1,00e-14	1,00e-14	1,00e-14	1,00e-14	1,00e-14	1,00e-14
Montaža	1,74e-3	2,54e-3	0,00e+0	0,00e+0	5,34e-3	5,34e-3	1,53e-3	2,04e-3
EOL	1,62e-2	2,37e-2	8,70e-4	9,71e-4	3,13e-3	3,35e-3	1,88e-3	2,51e-3
Ukupno	3,21e-1	4,70e-1	1,72e-1	1,92e-1	5,59e-1	5,99e-1	2,10e-1	2,80e-1

Najveće vrednosti potencijala globalnog zagrevanja ima model IZ6(Average Mineral Wool Board R-19), zatim IZ5(Average Mineral Wool Board R-13), oba modela su termo izolacija od mineralne vune proizvedene od primarnih sirovina. Nešto manje vrednosti ima model IZ2(Generic Blown Cellulose R-19), i IZ1(Generic Blown Cellulose R-13), oba modela su termoizolacije od celuloze. Niže vrednosti imaju model IZ8(Average Blown Mineral Wool R-19) i IZ7(Average Blown Mineral Wool R-13), oba modela su termoizolacije od reciklirane mineralne vune. Manje vrednosti potencijala globalnog zagrevanja imaju model IZ4(Generic Fiberglass Batt R-19), i najniže vrednosti ima model IZ3(Generic Fiberglass Batt R-13) termoizolacija od fibreglasa. Model IZ6 (Average Mineral Wool Board R-19) termoizolacija od mineralne vune R-19, ima tri ipo puta veće vrednosti potencijala globalnog zagrevanja u odnosu na model sa najnižim

vrednostima a to je model IZ3 (Generic Fiberglass Batt R-13). Ono što je zabrinjavajuće je činjenica da se izolacija od mineralne vune proizvedena od primarnih materijala često koristi u Srbiji.

Vrednosti potencijala globalnog zagrevanja po fazama životnog ciklusa prikazane su na Slici 1.

Najveći deo uticaja potencijala globalno zagrevanja, kod najlošije rangiranih modela: IZ6 (Average Mineral Wool Board R-19), i IZ5(Average Mineral Wool Board R-13), su iz faze proizvodnje, sirovina i transporta. I kod ostalih modela se uočava da se kroz fazu proizvodnje emituju najveći utici GHG. Modeli IZ8(Average Blown Mineral Wool R-19) i IZ7(Average Blown Mineral Wool R-13), kojima su predstavljeni termoizolacioni materijali proizvedeni iz recikliranih sirovina imaju najmanje vrednosti emisija iz faze sirovina, pa je to uticalo i na značajno manje vrednosti potencijala globalnog zagrevanja, koje ovi modeli imaju. Modeli IZ3(Generic Fiberglass Batt R-13) i IZ4(Generic Fiberglass Batt R-19), imaju iz faze sirovina emisije koje su veće od emisija GHG sirovina za modele IZ8(Average Blown Mineral Wool R-19) i IZ7(Average Blown Mineral Wool R-13). Faza proizvodnje za modele IZ8(Average Blown Mineral Wool R-19) i IZ7(Average Blown Mineral Wool R-13) ima veće uticaje od proutvodnje modela IZ3(Generic Fiberglass Batt R-13) i IZ4(Generic Fiberglass Batt R-19) ili je struktura proizvodnje energije za modele IZ3(Generic Fiberglass Batt R-13) i IZ4(Generic Fiberglass Batt R-19), oslonjena na obnovljive izvore sa manjim uticajem na životnu sredinu.



Slika 1: Potencijal globalnog zagrevanja po fazama životnog ciklusa LCA

U Srbiji je primena mineralne vune za termoizolaciju često zastupljena zbog izvesnih prednosti: deo proizvodnje je u domaćim fabrikama, dobra termička svojstva, i slično. Sa unapređenjem proizvodnje u smislu korišćenja recikliranih sirovina i promenom energetske strukture, industrije za proizvodnju moguće je značajno smanjiti potencijal globalnog zagrevanja, što je u ovom istraživanju prikazano kroz rezultate IZ7(Average Blown Mineral Wool R-13), i IZ8(Average Blown Mineral Wool R-19) koji predstavljaju mineralnu vunu proizvedenu od recikliranih komponenti. Jeftine i dostupne prirodne sirovine koje postoje u Srbiji, nisu dovoljan stimulans za osavremenjivanje tehnologije proizvodnje mineralne vune, a sa druge strane nepostojanje obaveze vraćanja u energetske tokove otpadne mineralne vune i njeno zbrinjavanje na kraju životnog ciklusa nije obaveza, pa se onda potencijalni resurs za proizvodnju deponuju umesto da se vraćaju u tokove proizvodnje.

5. ZAKLJUČAK

Iz sprovedenog istraživanja, u fazi izrade projekta se upotrebom softvera može napraviti procena koliki su uticaji od izabrane vrste termoizolacionog materijala i na osnovu toga i termičkih karakteritika napravi najbolji izbor. Ovo istraživanje je značajno jer se veliki broj već postojećih objekata treba energetski sanirati, radi smanjenja potrebne energije za zagrevanje zgrada. Uticaji iz faze proizvodnje transporta i ugradnje elemenata koji se predlažu za utopljanje zgrada se mogu sagledati primenom softera koji obračunava uticaje od građevinskih materijala i proizvoda LCA metodologijom na životnu sredinu. Od analiziranih osam vrsta termoizolacionih materijala kroz LCA analizu i obračun vrednosti potencijala globalnog zagrevanja, najmanju vrednost ima model IZ3 (Generic Fiberglass Batt R-13), termoizolacija od fiberglasa, IZ4 (Generic Fiberglass Batt R-19). Sledeće nešto veće emisije GHG imaju modeli: IZ7 (Average Blown Mineral Wool R-

13), izolacija od reciklirane mineralne vune i nešto veće vrednosti ima model IZ8 (Average Blown Mineral Wool R-19), izolacija od reciklirane mineralne vune poboljšanih karakteristika. Ova četiri modela imaju približne vrednosti potencijala globalnog zagrevanja, sa različito strukturiranim emisijama tokom životnog ciklusa (misli se na uticaje iz faze sirovina i proizvodnje). Posle ova četiri modela, značajno veće uticaje GHG imaju modeli: IZ1 (Generic Blown Cellulose R-13), termoizolacija od celuloze, i model IZ2 (Generic Blown Cellulose R-19), takođe termo izolacija od celuloze. Modeli sa najvećim potencijalom globalnog zagrevanja, su modeli IZ5 (Average Mineral Wool Board R-13), IZ6 (Average Mineral Wool Board R-19), termoizolacije od mineralne vune proizvedene od primarnih sirovina. Termoizolacije od mineralne vune proizvedene od primarnih sirovina, su izolacioni materijali koji se u Srbiji često koriste, posebno za nove savremene zgrade, imaju dobra termička svojstva, ali evidentno imaju i veliki uticaj na životnu sredinu, odnosno najveći embodirni ugljenik.

Sprovedeno istraživanje pokazuje da je primenom softverskih paketa moguće u fazi projektovanja vrednovati građevinske materijale sa aspekta uticaja na životnu sredinu i pomoći u donošenju odluka koju termo izolaciju treba primeniti.

Istraživanje ukazuje na potrebu da se u fazi projektovanja uključi obračun ekoloških uticaja koje primenjeni građevinski materijali imaju tokom životnog ciklusa na životnu sredinu. Obračunom ekoloških uticaja se može unaprediti projektovanje i pomoći pri donošenju odluke koji je projekat povoljniji za životnu sredinu.

Ovo istraživanje ukazuje na potrebu za niskougljeničnim termoizolacionim materijala, na globalnom nivou ali i u nacionalnoj građevinskoj industriji. Istraživanje ukazuje i na potrebu da se formiranjem nacionalnog softvera za vrednovanje ekoloških uticaja građevinskih materijala i proizvoda pruža alat koji arhitekti može pomoći u nastojanju za smanjenje ekološkog otiska Republike Srbije, koji je trenutno najviši u regionu (Global Footprint Network today at an event at Oxford University).

LITERATURA

- [1] Abd Rashid, A.F. Idris, J. S. Yusoff, S. (2017). Environmental Impact Analysis on Residential Building in Malaysia Using Life Cycle Assessment, Sustainability, 9, 329-338. Retrieved from: <https://doi.org/10.3390/su9030329>. Strunk, W., Jr., & White, E.B. (2000). The elements of style. (4th ed.). New York: Longman.
- [2] Akbarnezhad, A., Xiao, J. (2017). Estimation and minimization of embodied carbon of buildings: a review, Buildings, 7,5; doi:10.3390/buildings7010005 – www.mdpi.com/journal/buildings
- [3] Baek, C. Park, S. Suzuki, M. Lee, S. (2013). Life cycle carbon dioxide assessment tool for buildings in the schematic design phase, Energy Build, 61. 275-287. doi: 10.1016/j.enbuild.2013.01.025.
- [4] Council directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16. Dec 2002. on the energy performance of buildings, Brussels, 2002.
- [5] Council directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19. May 2010. on the energy performance of buildings, Brussels, 2010.
- [6] De Wolf, C., Pomponi, F., Moncaster, A. (2017). Measuring embodied carbon dioxide equivalent of buildings: A review and critique of current industry practice, Energy and Buildings, 140, 68-80 – Elsevier <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.075>
- [7] Energy balance of the Republic of Serbia. (2014). Retrieved from: www.mre.gov.rs/.../EN%20BILANS%20ZA%202014>, [accessed: 22. 1. 2019].
- [8] Global Footprint Network today at an event at Oxford University, Retrieved from: https://www.footprintnetwork.org/2018/04/09/has_humanitys_ecological_footprint_reached_its_peak/ [accessed: 22. 1. 2019].
- [9] <https://www.nist.gov/services-resources/software/bees>.
- [10] Ibn-Mohammed, T., Greenough, R., Taylor, S., Ozawa-Meida, L. & A. Acquaye, A. (2013). Operational vs. Embodied emissions in Buildings – A Review of Current Trends, Energy and Buildings, 66, 232-245. Retrieved from: [https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.026\(10.08.2018\)](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.026(10.08.2018)).
- [11] ISO 14040:2006. Environmental management – life cycle assessment – principles and framework. Geneva, Switzerland: International Standards Organization, 2006.

- [12]Jovanović Popović, M., Kosanović, S. (2009). Selection of building materials based upon ecological characteristics: priorities in function of environmental protection, *Spatium*, 20. 7-23. doi: 10.18485.
- [13]Karimpour, M., Belusko, M., Xing, K. & Bruno, F. (2014). Minimizing the life Cycle Energy of buildings: review and Analysis, *Buildings and Environment*, 73, 106-114. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.019> (15.09.2019).
- [14]Mengxue, Lu, Loseph H.K. Lai. (2018). Building energy: A review on constuptions, policies, rating schemes and standards 10th International Conference on Applied Energy (ICAE2018), 22-25 August (2018), Hong Kong, China.
- [15]Padilla-Rivera, A., Amor, B., Blanchet, P. (2018). Evaluating the Link Between Low Carbon Reductions Startegies and Its Performance in the Context of Climate Change: A Carbon Footprint of Wood-Frame Residential Building in Quebec, Canada, *Sustainability*, 2018.10.2715;doi:103390/su10082715, dostupno na: www.mdpi.com/journal/sustainability.
- [16]Pomponi, F., De Wolf, C. (2018). Moncaster, A., *Embodied Carbon in Buildings*, Springer International Publicixing AG, doi:10.1007 / 978-3-319-72796-7,
- [17]Pravilnik o energetskeoj efikasnosti zgrada,"Službeni glasnik RS", No. 61/2011, Retrieved from: <http://www.mgsi.gov.rs>. [accessed: 12. 10. 2019].
- [18]Pravilnik o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetskeim svojstvima zgrada,"Službeni glasnik RS", No. 69/2012. Retrieved from: <http://www.mgsi.gov.rs>. [accessed: 12. 10. 2019].
- [19]Slavković, K., Radivojević, A. (2014). Evaluation of energy embodied in the external wall of the single-family buildings in the process of energy optimization, (03. August 2014). *Energy Efficiency*.
- [20]Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector, GLOBAL STATUS REPORT2017,(2017),https://www.worldgbc.org/sites/default/files/UNEP%20188_GABC_en%20%28web%29.pdf
- [21]Victoria, MF., Perera, S. (2018). Managing embodied carbon in buildings: a Pareto approach, - *Built Environment*, emerald.com vol. 8 br. 5, 504-514. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-10-2017-0095>

Primene OI u odbrani

*OR Applications in Military
Defence*



VREDNOVANJE KRITERIJUMA ZA IZBOR SISTEMA AUTOMATIZACIJE U VAZDUŠNOM OSMATRANJU, JAVLJANJU I NAVOĐENJU (VOJIN) PRIMENOM AHP METODE

EVALUATION OF CRITERIA FOR SELECTION OF AUTOMATION SYSTEMS IN AIR SURVEILLANCE, REPORTING AND GUIDANCE (MILITARY) USING THE AHP METHOD

DORĐE ĐUKIĆ, ALEKSANDAR PETROVIĆ¹

¹ Univerzitet odbrane u Beogradu – Vojna akademija, Beograd, ivanpetrovic1977@gmail.com

Rezime: U radu je obrađena metoda Analitičkih hijerarhijskih postupaka (AHP), kao alat za vrednovanje kriterijuma za izbor sistema automatizacije u jedinicama vazdušnog osmatranja, javljanja i navođenja. U prvom poglavlju, na osnovu mišljenja eksperata, izvršen je izbor osnovnih kriterijuma za izbor sretstava i sistema automatizacije za prijem, obradu i prikaz situacije u vazduhu. Proračuni i evaluacija kriterijuma AHP metodom, izvršena je u drugom poglavlju, u kom su postavljene matrice procene. U trećem poglavlju odrađena je normalizacija, a u četvrtom je izračunat indeks i stepen konzistentnosti. Nakon svega, izvučen je zaključak u vezi rangiranja kriterijumi za izbor sistema automatizacije u VOJIN-u. Za potrebe realizacije istraživanja na studiji slučaja, upitnike sa lingvističkim varijablama, prilagođene primeni AHP metode popunilo je dvadeset eksperata.

Ključne reči: Sistem automatizacije, VOJIN, AHP, višekriterijumsko odlučivanje.

Abstract: The paper deals with the method of Analytical Hierarchical Procedures (AHP), as a tool for evaluating the criteria for the selection of automation systems in air surveillance, reporting and guidance units. In the first chapter, based on the opinion of experts, the selection of basic criteria for the selection of equipment and automation systems for the reception, processing and display of the situation in the air. Calculations and evaluation of criteria by the AHP method were performed in the second chapter, in which the evaluation matrices were set. In the third chapter, normalization was done, and in the fourth, the index and the degree of consistency were calculated. After all, a conclusion was drawn regarding the ranking criteria for the selection of automation systems in VOJIN. For the needs of the research in the case study, questionnaires with linguistic variables, adapted to the application of the AHP method, were filled in by twentyn experts.

Keywords: Automation systems, ASIAS AHP, Multi-Criteria Decision Making.

1. UVOD

Sve gušći avio saobraćaj i sve veći broj letova iznad teritorije Republike Srbije, bilo da se radi o preletima, doletima ili lokalnim letovima, civilnim ili vojnim vazduhoplovima, prouzrokovao je potrebu za savremenijim sistemima za praćenje situacije u vazdušnom prostoru. Savremeni senzori i sistemi za otkrivanje i praćenje ciljeva u vazdušnom prostoru, u toku dana registruju i do 3000 preleta dnevno, u letnoj sezoni i preko 500 preleta noću. Sistemi automatizacije, koji su namenjeni da prihvate, obrade, prikažu i proslede sve podatke o ciljevima u vazdušnom prostoru iznad i na prilazima teritoriji države, moraju biti spremni i sposobni da operatorima, koji rade na njima, pruže tačnu sliku o situaciji u vazduhu, u realnom vremenu. Time omogućavaju kvalitetnu i potpunu kontrolu vazdušnog prostora, olakšavaju posao operatorima i pomažu pri donošenju odluka. Pored količine jednovremeno obrađenih ciljeva, neke od bitnih karakteristika ovakvih sistema su preciznost u određivanju položaja „formacije“ u vazduhu, mogućnost automatskog određivanja pripadnosti cilja (Identifikacione kategorije), sposobnost sistema da proceni opasnost i rizik od cilja u vazduhu, te da na osnovu toga sugeriše dalju akciju borbenih jedinica PVO i na kraju, ali ne manje značajno, mogućnost i cena koštanja održavanja takvih sistema. Zakonitosti pri izboru ovakvih sistema zasnivaju se na analizi njihovih mogućnosti u odnosu na potrebe jedinica koje će opremiti, kao i od ekonomskih mogućnosti države.

Imajući u vidu navedeno u nastavku rada je prikazan jedan od mogućih pristupa višekriterijumskog odlučivanja definisanja relativne težine kriterijuma prilikom izbora jednog borbenog sistema kojim bi se naoružala neka borbena jedinica. Algoritam realizacije istraživanja je prikazan na slici 1.



Slika 1: Algoritam realizacije istraživanja

Istraživanje je izvedeno određenjem osnovnih kriterijuma primenom analize sadržaja u prvom koraku. Zbog primene subjektivnih metoda višekriterijumskog odlučivanja, podaci neophodni za primenu AHP i TOPSIS metode, su prikupljeni pomoću upitnika od strane petnaest eksperata. Dobijeni rezultati su zatim iskorišteni za formiranje matrica procene, koja će nas kasnije odvesti do najvalidnijih kriterijuma za izbor sistema automatizacije.

2. ODERĐIVANJE OSNOVNIH KRITERIJUMA ZA IZBOR BORBENOG SISTEMA

Kada govorimo o definisanju i vrednovanju kriterijuma, pri izboru bilo kog borbenog sistema, oruđa, oružja ili sklopa, osnovni pojam, za koji se vezemo jesu njegove karakteristike pri upotrebi. Te karakteristike se u vojnoj terminologiji definišu složenicom TT podaci ili TT karakteristike (taktičko-tehničke) i dobijaju se, u glavnom, upoređujući fabričke, proizvođačke specifikacije i empirijske rezultate, dobijene primenom opreme i sretstava u uslovima njihove eksploatacije. Izbor početnih kriterijuma za ovaj rad izvršeno je na osnovu potrebe za nabavkom novog sistema automatizacije u VOJINU, a na osnovi karakteristika i mogućnosti već postojećeg sistema, njegovih mogućnosti i pouzdanosti, te sistema koji su u ponudi i upotrebi u borbenim jedinicama i sistemima država u okruženju, NATO alijansi, Ruskoj federaciji, Republici Kini, itd.

Na osnovu izvršene analize, komparacije podataka i mogućnosti gore navedenih sistema, njihove upotrebe i mogućnosti, određeni su osnovni kriterijumi, koji su dati na dalju ocenu ekspertima iz oblasti, kako bi smo došli do onih koji su suštinski najvažniji u daljem ciklusu odabira, a kasnije i u optimizaciji za odabir samih sistema automatizacije.

Osnovni kriterijumi, koji su izabrani za prioritizaciju su: operativne mogućnosti (broj istovremeno praćenih i obrađenih ciljeva, algoritam praćenja, procena opasnosti, izbor oružja, navođenje lovačke avijacije), dostupnost (troškovi projekta i nabavke), mogućnost uvezivanja (sa radarsko-računarskim sistemima, koji već postoje u VS, koji su delom zapadne, a delom istočne proizvodnje; uvezivanje sa sretstvima koja su planirana za nabavku u budućnosti), održavanje i pouzdanost (mogućnost domaćih kapaciteta da održavaju novi sistem, popravljajući njegove elemente; dostupnost rezervnih delova, modula ili sklopova), implementacija (trajanje obuke ljudstva za upotrebu i održavanje sistema, vreme prelaska sa starog na novi sistem, mogućnost dalje nadogradnje sistema – softvera i hardvera). Kriterijumi, koje smo

naveli, označeni su na sledeći način: K1- operativne mogućnosti, K2- dostupnost, K3- mogućnost uvezivanja, K4- održavanje i pouzdanost, K5- implementacija.

3. PRIORITETIZACIJA – PRIMENA AHP METODE

U nastavku rada, koristeći metodu analitičkih hijerarzijskih procesa, pokušaćemo doći do evaluacije kriterijuma za izbor sistema automatizacije. Metoda je, inače, jedna od najpogodnijih za višekriterijumsko odlučivanje u raznim oblastima.

Metodu započinjemo upoređivanjem parova elemenata na nivou K (K₁, K₂,K_n). Poređenje ćemo vršiti Satijevom skalom, iz tabele 3.1.

Tabela 3.1. Satijeva skala vrednovanja

S = $\left\{ \frac{1}{9}, \frac{1}{8}, \frac{1}{7}, \frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 \right\}$		
Značaj	Definicija	Objašnjenje
1	Istog značaja	Dva elementa su identičnog značaja u odnosu na cilj
3	Slaba dominantnost	Iskustvo ili rasuđivanje neznatno favorizuje jedan elemenat u odnosu na drugi
5	Jaka dominantnost	Iskustvo ili rasuđivanje znatno favorizuje jedan elemenat u odnosu na drugi
7	Demonstrativna dominantnost	Dominantnost jednog elementa potvrđena u praksi
9	Apsolutna dominantnost	Dominantnost najvišeg stepena
2,4,6,8	Međuvrednosti	Potreban kompromis ili dalja podela

Formiranjem matrice poređenja, $A = \{a_{ij}\} \in R^{n \times n}$, poštujući principe recipročnosti, homogenosti, zavisnosti i očekivanja, kao aksioma na kojima se AHP metoda i zasniva, dobijamo sledeću tabelu vrednosti gde smo izvršili poređenje kriterijuma, svaki sa svakim i sumiranje vrednosti po kolonama (Tabela 3.2.)

Tabela 3.2. Matrica poređenja parova kriterijuma

	K1	K2	K3	K4	K5
K1	1.000	2.000	1.000	1.000	2.000
K2	0.500	1.000	0.500	0.500	1.000
K3	1.000	2.000	1.000	2.000	3.000
K4	1.000	2.000	0.500	1.000	0.333
K5	0.500	1.000	0.333	3.000	1.000
SUMA	4.000	8.000	3.333	7.500	7.333

Zatim određujemo vrednost sopstvenog vektora kriterijuma, na osnovu izraza :

$$a_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}$$

Da bi smo odredili vektor prioriteta, potrebno je sumirati sve elemente tabele 3.3. po redovima i podeliti taj rezultat s ukupnim brojem kriterijuma, prema izrazu:

$$w_i = \frac{\sum_{i=1}^n w_{ij}}{n}$$

Tabela 3.3. Važnost kriterijuma u modelu

	K1	K2	K3	K4	K5	Wi	Rang
K1	0.250	0.250	0.300	0.133	0.273	0.241	2
K2	0.125	0.125	0.150	0.067	0.136	0.121	5
K3	0.250	0.250	0.300	0.267	0.409	0.295	1
K4	0.250	0.250	0.150	0.133	0.045	0.166	4
K5	0.125	0.125	0.100	0.400	0.136	0.177	3

Dobijenim rezultatom, ujedno i rangiramo kriterijume po važnosti, za odabir sistema automatizacije u jedinicama VOJIN (tabela 3.3. kolona **Rang**).

4. KONZISTENTNOST

Način istraživanja, poređenjem parova, AHP metode daje veoma dobru agilnost na greške. Mogućnost da se greške u rasuđivanju mere, proračunavanjem indeksa konzistentnosti, a zatim i stepena konzistentnosti, smanjuju se uzroci nekonzistentnosti, koje unosi čovek, usled realnog okruženja i procesa, pri donošenju odluke, nekoncentracije, nedostatka informacija o sretstvima koja se nabavljaju, itd.

Pre daljeg rada na proračunu alternativa za nabavku novog sistema automatizacije u VOJIN-u i njihovo učešće u kriterijumima, odredićemo stepen konzistentnosti (CR). Za taj postupak, prvo moramo odrediti najveću svojstvenu vrednost matrice λ_{max} . Da bi smo dobili traženu vrednost, pre svega, moramo pomnožiti matricu u kojoj se nalaze rezultati poređenja (Tabela 3.2.) sa vektorom težinskih prioriteta w_i (Tabela 3.3.) i time dobijamo vektore težinskih koeficijenata b_i . Način je prikazan matričnim računom, a rezultati su dati u tabeli 4.1.

$$\begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 & 1 & 2 \\ 0,5 & 1 & 0,5 & 0,5 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 2 & 0,5 & 1 & 0,333 \\ 0,5 & 1 & 0,333 & 3 & 1 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 0,241 \\ 0,121 \\ 0,259 \\ 0,166 \\ 0,177 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1,298 \\ 0,649 \\ 0,641 \\ 0,855 \\ 1,014 \end{vmatrix}$$

Tabela 4.1. Vektori težinskih koeficijenata

	K1	K2	K3	K4	K5	Bi
K1	0.241	0.241	0.295	0.166	0.355	1.298
K2	0.121	0.121	0.148	0.083	0.177	0.649
K3	0.241	0.241	0.295	0.332	0.532	1.641
K4	0.241	0.241	0.148	0.166	0.059	0.855
K5	0.121	0.121	0.098	0.497	0.177	1.014

Primenom sledeće relacije, dobijamo vrednosti λ , za svaku vrstu matrice, a zatim i broj λ_{max} , kao srednju vrednost λ po vrstama (Tabele 4.2. i 4.3.)

$$\lambda_n = \frac{b_n}{w_n}$$

Tabela 4.2. Elementi najveće svojstvene vrednosti matrice

λ_1	5.380653
λ_2	5.380653
λ_3	5.559548
λ_4	5.157221
λ_5	5.720798

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

Tabela 4.3. Najveća svojstvena vrednost matrice

λ_{max}	5.439775
-----------------	----------

Ovim postupcima pripremili smo elemente, na osnovu kojih ćemo izračunati indeks (CI) i stepen (CR) konzistentnosti. Indeks konzistentnosti dobijamo iz relacije:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

U našem slučaju, za evaluaciju zadatih kriterijuma, ovaj indeks iznosi 0,109944. Da bi smo dobili i konačan podatak o konzistentnosti, kroz stepen konzistencije, potrebno je CI podeliti sa slučajnim indeksom, koji se očitava iz tabele 4.4., a zavisi od stepena matrice:

Tabela 4.4. Slučajni indeksi

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0.00	0.00	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58	1.59

Kako vidimo da je naša matrica petog stepena, indeks konzistentnosti CI delimo brojem 1,11 i dobijamo stepen konzistentnosti CR, koji iznosi 0,099048. U teoriji o AHP metodi, kaže se da, ako je koeficijent CR manji od 0,10 to znači da je poređenje parova izvršeno dobro i da nisu potrebne korekcije i ponovni proračuni, te da su ponuđene alternative kriterijuma, koji će igrati glavnu ulogu pri izboru alternativa za nove sisteme automatizacije u VOJIN-u, odabrane i poredane korektno.

5. REZULTATI I ZAKLJUČAK

Ispitivanje značaja početnih kriterijuma i njihovo vrednovanje izvršeno je primenom AHP metode. Prvi korak u primeni metode jeste odabir najznačajnijih kriterijuma, metodom ankete, gde je anketirano dvadeset eksperata iz oblasti. Nakon toga smo uparili kriterijume i odredili uticaj koji jedan kriterijum može da ima na druge kriterijume, pomoću Satijeve skale. Na osnovu toga smo odredili važnost kriterijuma u modelu i dobili tabelu 5.1., koja nam govori poredak kriterijuma po važnosti, radi kasnije procene prioriteta alternativa za nabavku i kupovinu sistema automatizacije u jedinicama VOJIN.

Tabela 5.1.: AHP lingvističke varijable međusobnog uticaja kriterijuma

Kriterijum	Prioritet kriterijuma
K1 - Operativne mogućnosti sistema automatizacije u VOJIN-u	2
K2 - Dostupnost sistema za nabavku	5
K3 - Mogućnost uvezivanja sa postojećim sretstvima RV i PVO	1
K4 - Održavanje sistema I pouzdanost u radu	4
K5 – Implementacija sistema u rad	3

Dobijene vrednosti pokazuju da je prioritet dat na rešenju starom problemu, koji se već dugi niz godina susreće u jedinicama RV i PVO. Opremanje jedinica RV i PVO-a, još za vreme SFRJ, tj. od njihovog formiranja, karakteriše kupovina sistema za odbranu neba, kako sa istoka, tako i sa zapada. Avijacija je Ruske i domaće proizvodnje (MiG-29, J-22 Orao, G-4 Galeb), raketne jedinice su mahom Ruske (KUB-M1, NEVA M-1, Pancir M-1), ARS malog dometa su Švečke proizvodnje (Boffors), senzori osmatranja su engleski (S-600) i američki (AN/TPS-70), a sretstva automatizacije, o kojima je i reč u radu, su engleski (Marconi Bachus – AS-84). Ovim bi se prevazišao problem uvezivanja starih sistema sa novim sretstvima, kao i tehnologije različitog porekla.

Na drugom mestu su operativne mogućnosti novog sistema, koje podrazumevaju posedovanje svih potrebnih algoritama za tačnu, pravovremenu i istinitu sliku stanja u vazдушnom prostoru (priča o laži i istini). Pored ostalih kriterijuma, navedenih u početku rada, bitno je izanalizirati da je cena nabavke na poslednjem mestu, kao stavka pri opremanju VS sistemima automatizacije, što govori o nužnosti za obnavljanjem opreme jedinica RV i PVO.

AHP metoda, iako veoma pogodna za ovakva i slična istraživanja u Vojsci Srbije, nije zastupljena na adekvatan način. Višekriterijumske analize, uopšte, daju mnogo važnih informacija pri odabiru borbenih sretstava i sistem, pogotovo u okviru nabavke opreme za jedinice RV i PVO-a, ali je činjenica da je upotreba analiza još uvek na manjem nivou nego što bi trebalo.

LITERATURA

- [1] Dağdeviren, M., Yavuz, S., & Kılınc, N. (2009). Weapon selection using the AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment. *Expert systems with applications*, 36(4), 8143-8151.
- [2] Pamučar, D., Petrović, I., & Ćirović, G. (2018). Modification of the Best–Worst and MABAC methods: A novel approach based on interval-valued fuzzy-rough numbers. *Expert systems with applications*, 91, 89-106.
- [3] Pamučar, D. (2018). Operaciona istraživanja: *Višekriterijumska optimizacija. Metoda Analitičkih Hijerarhijskih Procesa – AHP metoda*, 295-318.
- [4] Petrović, I., & Kankaraš, M. (2018). DEMATEL-AHP multi-criteria decision making model for the selection and evaluation of criteria for selecting an aircraft for the protection of air traffic. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 1(2), 93-110.
- [5] Petrović, I. B., Sretović, S., & Kankaraš, M. S. (2018). The prioritization of criteria for the selection of radar for the air traffic control and protection by multi-criteria decision: Making application in the fuzzy environment. *Vojno delo*, 70(8), 128-137.
- [6] Petrovic, I., & Kankaras, M. (2020). A hybridized IT2FS-DEMATEL-AHP-TOPSIS multicriteria decision making approach: Case study of selection and evaluation of criteria for determination of air traffic control radar position. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 3(1), 146-164.



DATA-DRIVEN ACCIDENT CAUSATION MODELING FOR MILITARY WAREHOUSES

NEBOJSA NIKOLIC¹

¹University of Defence in Belgrade – Strategic Research Institute, nebojsa2008_g@yahoo.com

Abstract: *The purpose of the paper is to consider directions of preventive improvement of military warehouse safety by use of experience from the past accidents, that is, by identifying main causes of accidents and their relative representation. Content analysis of credible information sources resulted in identifying the Small Arms Survey as appropriate source of data. Basic statistical analysis of unplanned explosions at ammunition sites offers relative relations of main causes for recorded accidents. Comparative analysis of general findings and a particular case study was conducted. Results may encourage managerial establishment of the system of military warehouses to reengineer safety measures across identified three general directions in warehouse management: handling procedures, storage infrastructure and safety guarding improvement.*

Keywords: *Warehouse, Safety, Accident, Probability, Military, Logistics.*

1. INTRODUCTION

In spite of many security and safety measures accidents in military warehouses happens from time to time, in many countries around the world. Why does it happen, and how to prevent it? Safety and security of military stocks of ammunition, mines and explosives and manipulation and transportation of this material is responsibility of military logistics units. Strong measures and procedures are prescribed and applied in this kind of business. Natural flow direction of ammunition is from producers, across main logistical bases, to the military units at the battlefield as the end users. Regular reverse logistics is similar to the reverse logistics of many other products (Rogers and Tibben-Lembke, 1998): collection of packing boxes and empty cartridges after their regular use. However, real challenge comes when all deployed military materiel, which include huge amounts of ammunitions and mines belonging to many military units, have to be collected for some reason –for example due to a military reduction or transformation, in a few depots for a short time with limited resources. Clearly, this makes potentially hazardous situations.

Explosive ordnance (EO) is a common military term for all kinds of ammunitions, mines, missiles, rockets, and other explosive devices. There are many kinds of ammunition and explosives, but all of them are more or less sensitive on external influential factors like: temperature, electrical stimulus, humidity, dust, strike, etc. Time factor is also important: chemical components in powder and propellant could degrade from its original condition. Consequently, they need special care and adequate safety and security measures. There are some differences in respect of ammunition sensitivity. For example (Bevan, 2008), there are four risk codes for US military ammunition and explosives security: Highest sensitivity (ready-to-fire missiles, rockets, explosive rounds, etc.); High sensitivity (grenades, mines, explosives); Moderate sensitivity (explosive-filled projectiles, fuses, detonators, detonator cord); Low sensitivity (non-explosive projectiles, some kinds of fuses and grenades, illumination, smoke, tear and training items).

Explosive ordnance are energy of war and have to be available to the military units in right amounts, at right time, on right place, and in right conditions (Robbins et al, 2004; Wang, 2000). Explosive ordnance are very specific products with specific market. Consumption is not predictable enough: there is almost zero consumption in peace time, but within a war demands increase drastically. Usually, all armies have some level of explosive ordnance supplies. There are many factors which make that explosive ordnance supplies become obsolete or surplus: changes in the strategic environment (peace dividend, change of adversaries, new security challenges and international agreements); technical innovations (new weapons); change of military doctrines; and the end of life cycle of explosive items.

However, warehouse safety in regard of explosions and similar destructions, is important issue for many other kinds of warehouses, not only military. It becomes even more actually after some larger incidents which happen from time to time. One of the largest incidents related to warehouses security was on August 12, 2015 in a huge port warehouse in Tianjin, China. Series of explosions started on the site with stored highly dangerous chemical materials and later spread up around (according to some estimation, Tianjin explosions were equivalent to 21 tones of TNT explosive). Declared casualties (according news reports and

official statesmen): 165 people killed, around 800 injured (Wikipedia -Tianjin explosions, 2015). Material damage reached tremendous highs and impact (for illustration: around 8000 new cars which was stored were destroyed), warehouse site was completely destroyed with heavy damages of surrounding objects, infrastructure and port installations. Cost for insurance companies was estimated at 1,5 billion \$, while estimates of additional costs caused by the event are few times greater. Besides lack of information and verified reports, there are indications that security and safety measures in warehousing dangerous, flammable and sensitive chemical materials were not respected, while in respects of external control and licensing there are indicators of corruption and lack of care (investigators blamed more than hundred people, while tenths are already arrested).

The main aim of the paper is to discuss an idea about use of available empirical data for estimation of relative probabilities of the causes of unintended accidents in warehouses with stored ammunitions and other explosive items. We found that empirical data of unplanned explosions at ammunition sites, collected and given by the Small Arms Survey, are very useful and applicable for estimation of corresponding probabilities for causes of accidents. The second aim is to evaluate a concrete case study about a single accident of unplanned explosion at ammunition site. Deeper context analysis of that accident, combined with empirically based estimations, offers directions for safety measures improvement and better prevention of accidents. Particularly those measures which are or could be under control of warehouse staff and higher management, and less depended on external stochastic factors. In the following sections will be presented a data base of military warehouses accidents, the set of causes of those accidents, and a simple approach how to use empirical data to estimate relative probabilities of different types of accidents and how to use them in perceiving the importance of facing with different causes of accidents. Next section presents more details of a particular accident through the prism of influencing factors, safety culture and safety behavior

2. POSSIBLE CAUSES OF ACCIDENTS IN MILITARY WAREHOUSES

We conducted content analysis of publicly available and credible information sources and find out the Small Arms Survey as an appropriate source of data. The Survey is a product of the Graduate Institute of International and Development Studies in Geneva, Switzerland. An international staff of experts in different branches (security studies, political science, law, economics, sociology, etc), observe, collect, analysis and classify data at the global level and maintain publicly available database about accidents at ammunition stockpiles for more than three decades. In spite of the sensitivity of the issue (explosions, destructions), specific character of the issues (military and military related information are usually filtered), and wide scope of coverage (global level), we consider this data source as very credible. It comes from academic institution, it relies on hard data given by official bodies, it has long tradition, and almost all facts could be checked and compared with other sources of information for many individual accidents (news, technical reports, academic works, etc). Besides database about unplanned explosions at ammunition sites (Berman and Reina, 2014), the Small Arms Survey maintains a few more databases on other aspects of international security. The Small Arms Survey (www.smallarmssurvey.org) is, in a true sense of the word, a real global center of excellence whose results are very useful for policymakers as well as for researchers.

Why do explosive ordnance incidents occur? There are many possible reasons. The Small Arms Survey offers a comprehensive and systematized set of possible causes of accidents at ammunition sites, and we found it as very appropriate. Table 1 shows six general types of causes identified as possible triggers for recorded accidents related to explosions at military warehouses with (mainly) explosive ordnance around the globe for almost four decades (1979-2018). It is worth to note that the six type of cause is “Unknown” which is related to those cases of accidents where the cause is still undetermined or unrecorded.

Table 1. Classification of causes of warehouse incidents (according to the Small Arms Survey, 2019)

Cause	Denotation of causes of warehouse incidents (set of possible events)	Description of causes of warehouse incidents (set of possible events)
1.	Ammunition deterioration and auto-initiation	Degradation of powder quality, corrosion, chemical reactions, spontaneous combustion
2.	Inappropriate storage and infrastructure fault	Electrical fault, weak internal storage, falling objects.
3.	Handling errors and poor working practices	Rough handling, dropping, vibration, heating, smoking, irresponsible behavior, etc
4.	External environment influences	Lighting strike, extremely high temperature, rock falls,

		external fire
5.	Poor security against criminal, sabotage	Bad human intentions: sabotage, criminal, etc.
6.	Unknown	Undetermined, unconfirmed or unrecorded cause (could be any cause type from 1 to 5, or some new cause, currently undefined)

Human factor has direct connection with the third type of causes: “Handling errors and poor working practices”. However, human factor could have even more influence if we know that it is present in:

- Administration of ammunition stockpiles which assumes regular and periodic controls of propellant state (which prevent degradation of powder quality as well as spontaneous combustion). This relates to a cause type 1.
- Ammunition depots are (or should be) specially constructed objects with appropriate infrastructure and storage conditions resistant on high temperature, protected from lightning strike, far away from falling rocks, trees, or buildings, etc (cause types 2. and 4.).
- Physical security of military warehouses and particularly those with explosive ordnance are subject of special guarding regimes which are deeply influenced by human factors (cause type 5).

To conclude, human factor is evidently deeply involved in causes of explosive ordnance incidents. If so, there is a lot of opportunities to make situation with explosive incidents better.

Table 2. Relative probabilities calculation based on empirical data

Event	Causes of warehouse accidents (set of possible events)	Event frequency (number of realizations of incidents due to a particular cause)	Event relative probability (particular event frequency in relation to the sum of all events)
		(data from the Small Arms Survey)	$p_i = \frac{f_i}{f_\Sigma}$
1.	Ammunition deterioration and auto-initiation	f_1	p_1
2.	Inappropriate storage and infrastructure fault	f_2	p_2
3.	Handling errors and poor working practices	f_3	p_3
4.	External environment influences	f_4	p_4
5.	Poor security against criminal, sabotage	f_5	p_5
6.	Unknown	f_6	p_6
	ALL EVENTS	f_Σ	1

In order to estimate probabilities of accidents initiated by different causes we used basic statistical analysis of unplanned explosions at ammunition sites. Table 2 presents approach how to calculate relative probabilities of particular causes of accidents, which are calculated on the basis of empirical events frequencies. Aven and Reniers (2013) offered an interested discussion about probability interpretation in the context of safety settings, while Dodshon and Hassall (2017) point out perspectives about incident investigation.

Absolute frequencies of accidental events distributed according the declared types of causes of accidents, for a number of years starting from 1984 to 2017, are presented in next section, Table 3.

3. DATA-DRIVEN MILITARY WAREHOUSES ACCIDENTS CAUSATION

General concept of lessons learned, that is, use of experience and knowledge related to the past events in order to be better prepared for the future when similar events may occur, is very welcomed in case of undesired accidents and studies about causes of that accidents (Moura et al, 2017). Here, we used available data from the Small Arms Survey, (2019), and arrange absolute frequencies of accidental events distributed

according to the declared types of causes of those accidents, for a number of years starting from 1984 to 2017, (Small Arms Survey, 2019), are presented in Table 3.

Table 3. Frequencies of warehouse accidents by different causes per year (extracted data, source: Small Arms Survey, 2019.)

Possible causes	1.	2.	3.	4.	5.	6.	SUMMARY
	Ammunition deterioration and auto-initiation	Inappropriate storage and infrastructure fault	Handling errors and poor working practices	External environment influences	Poor security against criminal, sabotage	Unknown	
Year							
1984	3	1	2	0	0	3	9
1985	1	1	0	0	0	1	3
1986	1	0	0	0	2	2	5
1987	2	1	0	0	2	1	6
1988	1	2	0	1	2	4	10
1989	1	0	2	1	0	1	5
1990	0	1	1	1	0	1	4
1991	3	0	1	2	2	1	9
1992	3	2	2	1	0	3	11
1993	0	1	0	0	0	3	4
1994	1	1	1	1	0	3	7
1995	2	2	3	0	1	4	12
1996	3	2	2	2	0	3	12
1997	0	1	2	0	17	9	29
1998	4	3	3	3	1	2	16
1999	1	3	4	0	1	2	11
2000	1	2	1	5	1	4	14
2001	3	3	3	5	0	3	17
2002	4	3	6	7	1	3	24
2003	1	4	6	8	4	9	32
2004	1	5	5	4	5	5	25
2005	0	1	7	9	1	6	24
2006	2	5	4	5	2	4	22
2007	2	5	9	5	0	5	26
2008	1	7	8	3	0	5	24
2009	6	4	12	2	0	7	31
2010	1	5	11	3	1	10	31
2011	2	7	10	6	6	7	38
2012	4	4	9	5	2	2	26
2013	0	3	1	1	5	10	20
2014	1	8	2	1	5	1	18
2015	1	1	2	2	2	6	14
2016	1	2	1	2	2	6	14
2017	0	7	0	3	4	4	18
SUM of frequencies	57	97	120	88	69	140	571
Relative probabilities	0.0998	0.1699	0.2102	0.1541	0.1208	0.2452	1

The last two rows in the Table 3, presents absolute summary frequencies of accidental events scheduled across various types of causes of accidents for a given time frame (1984-2017), and corresponding relative probabilities (it is not absolute probabilities of accidental events itself).

From Table 3, we conclude that in about 50% cases, causes of accidents are mainly related to various aspects of human factor as follows: (1) handling errors and poor working practices; (2) inappropriate storage and infrastructure fault; and (3) poor security of warehouse yard. In other words, probability that human factor may be involved as cause in warehouse accidents is at the level of 0.5, which we stand as a very high probability.

How to perceive those relative probabilities? When accident happen there could be because of one of those six causes. If we suppose that some cause could be eliminated in ideal case or at least reduced, then we would expect lower possibility for accident to happen. For example, suppose that cause “handling errors and poor working practices” could be drastically improved for 50%. What does it mean and how much that can contribute to reducing possibility of accidents to happen? Empirical data suggest that this cause has probability of 0.21 (Table 3, cause type 3, the last row). Drastically improvement of working procedures and manipulating discipline in warehouse operations for 50% could reduce possibility of accident occurrence proportionally, that is to the level near to 0.1.

Impact of the human factor could be additionally illustrated by some aspects related to the safety culture and behavior that could appear in practice as follows (Nikolic, 2014):

- **The age and occasional repair of the EO:** insufficient, and poorly structured, financing for the defense system during two decades before the accident is the basic cause of the fact that a large part of the EO, as well as armaments, vehicles and equipment are nearing the end of their lifetime or are obsolete. In the absence of money, there is no possibility for buying new assets, there is no repair of outdated assets, and there is no training where the oldest assets would be used.
- **Relocations of stockpiles during turbulent times of reforms, transformations, transitions and deployments:** EO as well as other armament, military equipment and vehicles, were frequently moved from one depot to another, often without the possibility to follow transport and safety procedures, as well as procedures regarding the storage in the new locations.
- **Poor storage conditions in peacetime.** A key issue is the poor conditions of the EO storage facilities (old and non-adequate infrastructure, wide temperature variations, high humidity and dust).
- **The training of personnel:** individuals who are directly in charge of guarding, disposal and securing EO in depots are soldiers, noncommissioned officers and low-ranking officers. Noncommissioned officers usually serve as handlers with stored EO. The handler is the most direct and most responsible factor in the process of storing and handling (acceptance, sending, moving) the EO. For doing that job, the handler must be very well trained. However, the process of training noncommissioned officers at that time was insufficient.
- **Obsolete legislations and regulations for military warehousing:** the basic normative documents which regulate the purpose, tasks, organization and code of conduct were very old and non-appropriate for new organizational structure (simply said, the army which for old field manual were written, didn't exist anymore; while the new field manuals were not written yet). It was in particularly problem for younger officers, which were often confused with old terms related to organizational and conceptual issues.

4. CONCLUSION

Warehouse security, particularly in cases of explosive, dangerous, flammable, toxic and sensitive inventories is of tremendous importance. Today, it become even more important due to the new or empowered old one security challenges, like terrorism, organized crime and hybrid warfare.

In spite of many security and safety measures explosive accidents in military ammunition depots happen from time to time, in many armies around the world. Sometimes, incidents may occur as an indirect consequence of overloaded logistics capacities, short deadlines, lack of objects and appropriate conditions, insufficiency of qualified personnel or clear procedures. Such constellation of incident's preconditions may appear in a time of comprehensive military transformation and defense sector reform that includes big changes in all regards. All this accident triggers in its core have a human factor more or less involved.

While each explosive accident seems unique, there are many of them all around the world taking into account longer period, with similar causes and consequences. Information and experience exchange followed by detailed case studies for each accident, could contribute to reduction of possibilities for this kind of

accidents in the future. Also, some experience from military warehousing accidents could be useful in the case of civilian warehousing, particularly for dangerous material.

Acknowledgements:

This work is 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] Aven, T., Reniers, G. (2013). How to define and interpret a probability in a risk and safety settings. *Safety Science*, 51, 223-231.
 - [2] Berman, E., Reina, P. (2014). *Unplanned Explosions at Munition Sites (UEMS) Handbook*. Small Arms Survey, Graduate Institute of International and Development Studies, Geneva, Switzerland.
 - [3] Bevan, J., eds. (2008). *Conventional ammunition in surplus*. Small Arms Survey. Available at: <<http://www.smallarmssurvey.org>>.
 - [4] Dodshon, P., Hassall, M. (2017). Practitioners’ perspectives on incident investigations. *Safety Science*, 93, 187-198.
 - [5] Moura, R, Beer, M., Patelli, E., Lewis, J., Knoll, F. (2017). Learning from incidents: Interactions between human factors, technology and organizations as a central element to validate risk. *Safety Science*, 99, 196-214.
 - [6] Nikolic, N. (2014). Military transformation process and disbanding of military units. Proceedings of the XIV International Symposium on Organizational Sciences, Sym-Org-2014, Faculty of Organizational science, University of Belgrade, June 06-10, 2014, Zlatibor, Serbia, 1002-1006, ISBN 978-86-7680-295-1. Available at: <<http://symorg.fon.bg.ac.rs/proceedings/html/papers.html>>.
 - [7] Robbins M., Boren P., Leuschner K. (2004). *The Strategic Distribution System in Support of Operation Enduring Freedom*. technical report DB-428-USTC/DLA, RAND, Santa Monica CA, USA.
 - [8] Rogers S.D., Tibben-Lembke S.R. (1998). *Going backward: Reverse Logistics Trends and Practices*. University of Nevada Reno, Center for logistics management. Available at: <<http://www.rlec.org>>.
 - [9] Small Arms Survey. (2019). *Unplanned Explosions at Munition Sites 1979-2018*. Available at: <<http://www.smallarmssurvey.org/weapons-and-markets/stockpiles/unplanned-explosions-at-munitions-sites.html>>.
 - [10] Wang Y.D.M. (2000). *Accelerated logistics: streamlining the Army supply chain*, technical report MR-1140, RAND, Santa Monica CA, USA.
- Wikipedia -the free encyclopedia. (2015). Tianjin explosions. Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/2015_Tianjin_explosions>.



MOGUĆNOST PRIMENE GEOGRAFSKIH INFORMACIONIH SISTEMA I ANALITIČKI HIJERARHIJSKOG PROCESA PRI IZBORU LOKACIJE KOMANDNOG MESTA U VOJNIM OPERACIJAMA

POSSIBILITY OF APPLICATION OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS AND ANALYTICAL HIERARCHICAL PROCESS IN CHOICE OF THE LOCATION OF THE COMMAND PLACE IN MILITARY OPERATIONS

DEJAN NIKOLIĆ¹, VLADA MITIĆ², MILAN KOVAČEVIĆ³

¹ Garda, Generalštab Vojske Srbije, ana65@ptt.rs

² Uprava za strategijsko planiranje, Ministarstvo odbrane, vlada.mitic@mod.gov.rs

³ Uprava za ljudske resurse, Generalštab Vojske Srbije, kacaiaca@ptt.rs

Rezime: U vojnom kontekstu, prikupljanje, analiza i upotreba geografskih podataka može pružiti komandantima pravovremene i tačne informacije na kojima zasnivaju svoje odluke. Istraživanje je sprovedeno u cilju iznalaženja koncepta koji podržava process operativnog planiranja a istovremeno smanjuje nesigurnost u donošenju odluka o lokacijama razmeštaja komandnih mesta u vojnim operacijama. U radu je dat prikaz mogućnosti primene GIS-a (Geografskog informacionog sistema) i AHP (Analytical Hierarchy Process) metode u izboru lokacija komandnog mesta. Korišćenjem navedenog informacionog sistema i AHP metode prostor koji se razmatra za izbor potencijalne lokacije razmeštaja komandnog mesta se umanjuje na manje od 15% teritorije.

Ključne reči: Geografski informacioni sistem (GIS), Analitički hijerarhijski proces (AHP), Analiza lokacije, Lokacija komandnog mesta.

Abstract: In a military context, collecting, analyzing and using geographic information can provide commanders with timely and accurate information on which to base their decisions. The research was conducted in order to find a concept that supports the operational planning process and at the same time reduces uncertainty in making decisions about the location of command posts in military operations. The paper presents the possibility of applying GIS (Geographic Information System) and AHP (Analytical Hierarchy Process) methods in the selection of command site locations. By using the mentioned information system and AHP method, the space considered for the selection of the potential location of the command post location is reduced to less than 15% of the territory.

Keywords: Geographic Information System (GIS), Analytical Hierarchical Process (AHP), Location Analysis, Location of the Command Point.

1. UVOD

Promene operativnog okruženja i fizionomije savremenog rata menjaju bitna obeležja operacija. U tom smislu razvijanje tehnika, procesa i procedura za unapređenje planiranja, organizovanja i izvođenja operacija se nameće kao stalna potreba (Božanić, Karović, & Pamučar, 2014).

Prostor je geografski pojam koji označava deo teritorije sa vazдушnim prostorom iznad nje na kojem su raspoređeni elementi operativnog rasporeda snaga radi izvođenja operacije (Đorđević & Bakrač, 2016). Umešno korišćenje prostora, uz njegovu pravovremenu pripremu i uređenje, omogućava uspešno izvođenje borbenih dejstava.

Geografski informacioni sistemi (GIS) usmereni su ka prikupljanju, obradi i prikazu podataka o prostoru radi stvaranja uslova kojim se pruža mogućnost vizualizacije prostora za izvođenje operacija i pozicioniranje sopstvenih i neprijateljevih snaga i ostalih učesnika u operativnom okruženju (Đorđević & Bakrač, 2016). Mnoge moderne vojske koriste prednosti GIS-a u svojim vojnim procesima donošenja odluka fokusiranih na geoprostorne podatke i analize (Lenagala & Stimers, 2017).

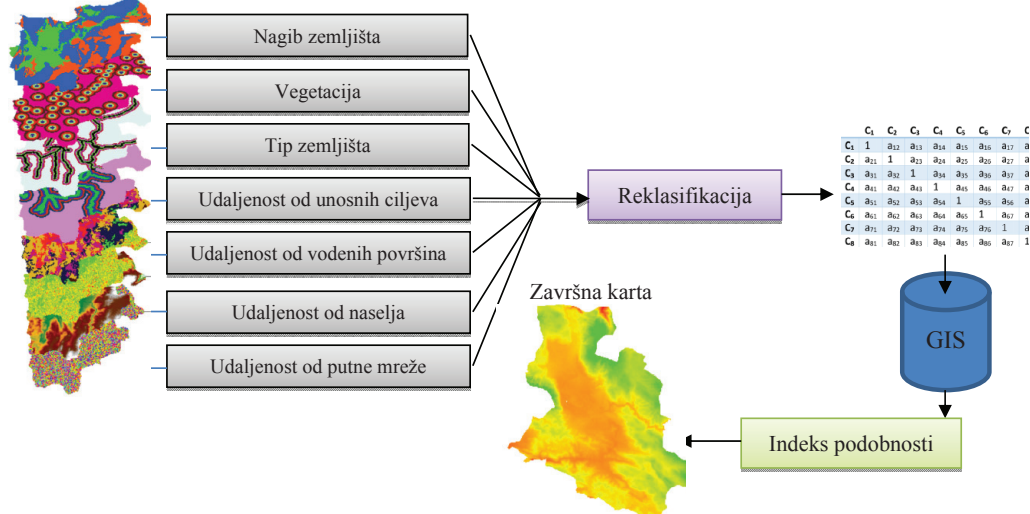
Razvojem geo-tehnologija uvođenjem satelitske tehnologije i kasniji napredak u daljinskom detektovanju, doneli su tačnost i preciznost na bojno polje. Geografski informacioni sistemi (GIS) su od tada dodatno poboljšali efikasnost vojnih operacija. Danas upotreba GIS-a pruža daleko superiorniju preciznost u analizi

informacija baziranih na lokaciji od ranije korištenih tehnika i podržava lako deljenje informacija, čime se stvara zajednička slika geografskog okruženja u vrlo kratkom vremenskom periodu (Veronesi, Schito, Grassi, & Raubal, 2017).

Izbor lokacije razmeštaja elemenata operativnog rasporeda samo je jedan od brojnih složenih geografskih problema koji se često rešavaju pomoću GIS-bazirane višekriterijumske analize odluka, koja je skup tehnika koje imaju nekoliko geografskih obeležja za identifikaciju pogodnih lokacija. Ono suštinski predstavlja višekriterijumski proces koji razmatra različite kriterijume za izbor pogodnih područja između različitih alternativa (Sekulović & Jakovljević, 2016)(Gigović, Pamučar, Bajić, & Milićević, 2016).

2. METOD

Proces donošenja odluke o lokaciji komandnih mesta obuhvata kombinaciju GIS tehnologije i Analitičkog hijerarhijskog procesa - AHP. Šematski prikaz je prikazan na slici 2 (Sekulović & Jakovljević, 2016).



Slika 1: Šematski prikaz izbora lokacije primenom GIS tehnologije i AHP

Goodchild (Goodchild, 2010) ističe da je GIS jedan od tehnološki razvijenih sistema koji je omogućio i unapredio razumevanje informacija i prikaz podataka u prostoru u poslednjih 20 godina. Sistem se sastoji od podataka realnog sveta, koji se aproksimira saglasno zahtevima budućih korisnika, sa elementima koji se mogu prikazivati tačkama, linijama i poligonima sa njihovim numeričkim karakteristikama - atributima (Milanović & Štrbac, 2007).

U procesu donošenja odluka treba uzeti u obzir veliki broj faktora, a GIS je idealan za takve studije jer omogućava lako manipulisanje velikim količinama prostornih podataka iz različitih izvora (Sekulović & Jakovljević, 2016). Ne treba zanemariti ni činjenicu da primena ovog sistema nikada nije završena, s obzirom da je to proces koji podrazumeva prikupljanje, unos, korišćenje podataka i njihovo redovno ažuriranje (Cimbaljević, Bučić, & Jovanović, 2014).

AHP je tehnika koja, integrisana u GIS, omogućava konzistentnu procenu, zasnovanu na faktorima koji doprinose analizi problema, odnosno ona pruža mogućnost da se pronađu odnosi između značajnih faktora, utvrdi prioritete sa njihovom relativnom važnošću u realnim uslovima i odredi dominancija jednog faktora.

3. IDENTIFIKACIJA KRITERIJUMA UTICAJA NA IZBOR LOKACIJE KOMANDNOG MESTA

Oružane snage koriste GIS u kartografiji, upravljanju borbenim područjima, vojnom raspoređivanju, obaveštajnoj analizi terena, omogućavajući donosiocima odluka i komandantima da dobiju korisne podatke i informacije.

Glavne karakteristike terena koje su posmatrane, katalogizovane i korišćene su reke, putevi, tipovi vegetacije, tipovi zemljišta, naselja, mostovi i padine. Međutim, razmatra se i komunikaciona pokrivenost (radio); ovo je potrebno uvrstiti kao zavisnu, a ne karakterističnu, holističku koncepciju "terena".

Takođe donosioci odluka mogu da procene teren u smislu kolektivnih vojnocentričnih karakteristika kao što su polje vatre, maskiranje i prikrivanje, prepreke, ključni teren i putevi pristupa (Madera, 2006).

U literaturi i različitim publikacijama koje se bave istim ili sličnim problemima može se naći veliki broj kriterijuma za izbor pogodnih reiona za razmeštaj elemenata operativnog rasporeda.

Tabela 1: Opis kriterijuma

Kriterijum	Opis
Nagib	Veoma strmi i / ili kameni teren, kao i planinske strane nepovoljno utiču na razvijanje komandnog mesta i razmeštaj infrastrukture.
Vegetacija – pokrivenost	Utiče na mogućnost maskiranja reiona razmeštaja, odnosno onemogućava vizuelnu detekciju i samo dejstvo od strane neprijatelja na odabranu lokaciju.
Tip zemljišta	Tvrda i ocedita zemljišta, sposobna da brzo i u zahtevanim razmerama uklanja višak vode prilikom padavina, povoljno utiču za razmeštaj infrastrukture, tako i na brzo evakuaciju i izvlačenje sa definisanog prostora.
Udaljenost od objekata koji predstavljaju unosni cilj	Sprečava moguć nepovoljni uticaj neprijatelja na izabranu lokaciju prilikom dejstva na navedene objekte.
Udaljenost od reka i drugih vodenih površina (m)	Prilikom odabira lokacije, poželjna je neposredna blizina potoka ili reke, kako bi se osigurao izvor vode. Međutim, vodeni tokovi ne bi trebalo da utiču na izabranu lokaciju prilikom atmosferskih padavina.
Udaljenost od naselja (m)	Blizina populacije povećava rizik otkrivanja lokacije komandnog mesta koji predstavlja jedan od primarnih ciljeva dejstva neprijatelja.
Udaljenost putne mreže (m)	Pristupačnost lokacije sa aspekta podrške i obezbeđenja kao i evakuacije u slučaju potrebe je vrlo bitna.

Neki od kriterijuma i ograničenja u izboru lokacija razmeštaja jedinica primenjeni u procesu operativnog planiranja i u okviru nje prilikom operativne pripreme bojišta su (Lenagala & Stimers, 2017):

- 1. Zona sigurnosti u odnosu na neprijatelja
- 2. Izbegavanje urbanih područja
- 3. Desantna prostorija
- 4. Bazna lokacija u oblastima ravne topografije
- 5. Interferencija elektromagnetnog prenosa (pogodna za pokrivenost komunikacije)
- 6. Površinske, podzemne i poplavne zone
- 7. Izbegavanje istorijskih, arheoloških, kulturnih i verskih područja
- 8. Preovladavajući obrasci vetra i kvalitet vazduha (nivoi zagađenja)
- 9. Razmatranje ugroženih vrsta
- 10. Vrsta zemljišta i uslovi (zemlja, pesak, stena i šljunak....)
- 11. Rejon bi trebao biti dostupna putem, stazom i helikopterom u vanrednim situacijama
- 12. Maksimizirana zaštita od posmatranja iz vazduha
- 13. Jednostavnost lociranja nadzemnih posmatračkih mesta
- 14. Položaji za dejstvo se lako mogu dobiti pomoću prirodnih objekata

Tabela 2: Kriterijumi i ograničenja

Kriterijumi	Ne prihvatljivo	Prihvatljivo	Veoma prihvatljivo
Nagib	9°<	3°-9°	<3°
Vegetacija* (pokrivenost na 100x100 m)	(211-243, 331-334, 411)	(311, 322-324)	(312 i 313)
Tip zemljišta *	Močvarno zemljište, smonica	Černozen, pseudoglej, slana zemlja	Rendzina, rankerna, gajnjača, crvenica, podzok
Udaljenost od objekata koji predstavljaju unosni cilj (m)	<1000	500-2000	2000<
Udaljenost od reka i drugih vodenih površina (m)	2000<	500-2000	500
Udaljenost od naselja (m)	<1000	500-2000	2000<
Udaljenost putne mreže (m)	1000<	250-1000	<500

*CORINE Land Cover 2006 (CLC2006) database4. GRAFIKA

Analizom dostupnih publikacija koje razmatraju navedenu problematiku (Lenagala & Stimers, 2017) (Talhoffer, Hošková-Mayerová, & Hofmann, 2016) (Đorđević & Bakrač, 2016) (Mustafić, Manojlović, &

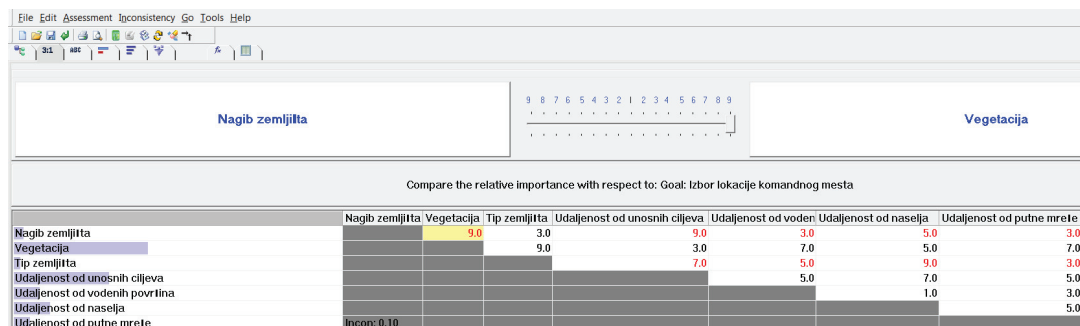
Dragičević, 2007) (Madera, 2006) (Milošević & Mišković, 2003) i dostavljenog upitnika komandantima bataljona i njihovim zamenicima jedinica Garde, izvučeni su osnovni kriterijumi prikazani u tabeli 1, koji dominantno utiču na izbor lokacije razmeštaja komandnog mesta u vojnim operacijama.

Nakon određivanja kriterijuma isti se standardizuju i ocenjuju. Analizom dostupne literature, iskustva eksperata iz ove oblasti i same prakse određena je pogodnost kriterijuma (Lenagala & Stimers, 2017) (Gigović, Pamučar, Bajić, & Milićević, 2016).

4. PRIMENA AHP METODE U ODREĐIVANJU TEŽIŠNIH KOEFICIJENATA

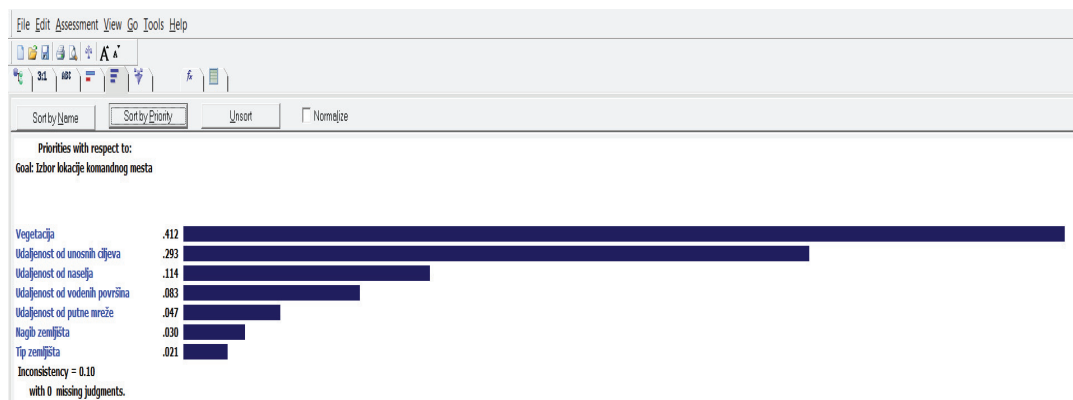
Sušтина utvrđivanja relevantnih težina leži u međusobnoj oceni definisanih kriterijuma u parovima, gde se svi kriterijumi jedne hijerarhije porede jedan sa drugim. U radu ocena kriterijuma, odnosno njihovih težinskih koeficijenata u odnosu na opšti cilj, je određena korišćenjem Satijeve skale.

Poređenje parova je izvršeno korišćenjem softvera Expert Choice 11. Ocena kriterijuma u navedenom paketu izvršena je grupnom metodom rešavanja problema – Brainstorming u kojem su učestvovala lica koja se bave operativnim planiranjem u jedinicama Garde (devet oficira - Slika 2).



Slika 2: Određivanje prioriteta kriterijuma izbora lokacija komandnog mesta

Uzimajući u obzir težine, može se zaključiti da je vegetacija najvažniji kriterijum, sa druge strane, tip i nagib zemljišta imaju minimalnu težinu, jer ne utiču značajno na izbor lokacije komandnog mesta. Rezultati dobijeni nakon izvršnog poređenja kriterijuma prikazani su na slici 3.



Slika 3: Prikaz kriterijuma rangiranih po prioritetu sa njegovim težinskim koeficijentom

Pri ocenjivanju kriterijuma vodilo se računa o indeksu inkonzistentnosti, koji mora biti manji ili jednak 0,1. Njegova vrednost se automatski računa pri unosu ocena kriterijuma i ista se nalazi u donjem levom uglu matrice. Pošto je koeficijent inkonzistentnosti jednak 0,10 sledi da se poređenje kriterijuma za izbor lokacija i ponderisanje metode mogu smatrati preciznim.

ijene ponderisane linearne kombinacije (VLC) mogu se integrisati u ArcGIS 10.2 (<http://vww.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop>), u skladu sa jednačinom (1).

$$S_i = \sum w_i r_j \quad (1)$$

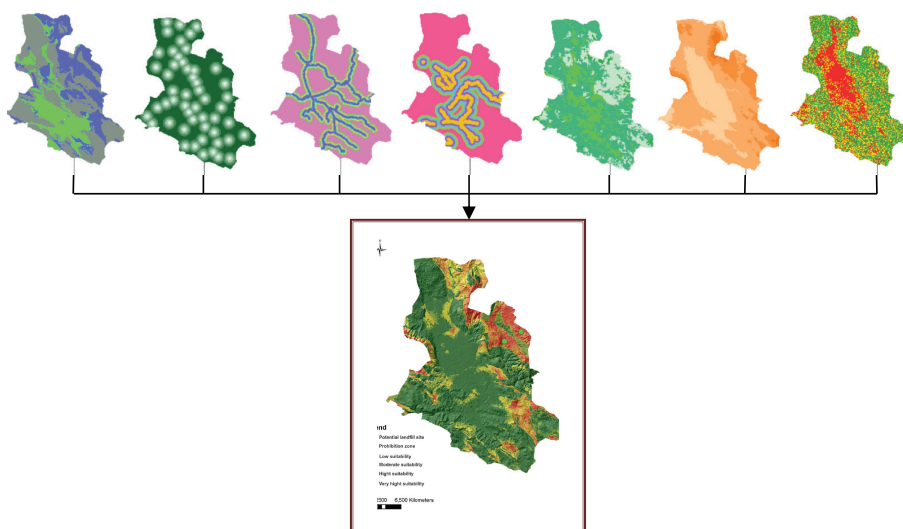
Gde je S_i (indeks osetljivosti) indeks podobnosti za izbor lokacije, w_i - težinski koeficijent, r_i - rangiranje ćelije rastera u okviru kriterijuma i .

Kao rezultat množenja ponderisanih kriterijuma dobijenih kao rezultat AHP, sa ocenom ćelija za svaki kriterijum, generiše se konačna mapa za izbor lokacija (slika 4).

Indeks podobnosti se može klasifikovati u pet klasa: ograničena oblast, niska, umerena, visoka i veoma visoka podobnost.

Analizom dostupnih primera u literaturi uočava se da oko 67,0% teritorije pripada ograničenoj zoni, 11,0% teritorije ima nisku podobnost, 6,1% ima umerenu podobnost, 5,9% ima visoku podobnost i da svega 10,0% ima veoma visoku podobnost. Odnosno možemo zaključiti da se, korišćenjem navedenog koncepta, sa jedne strane umanjuje prostor koji se razmatra za izbor potencijalne lokacije razmeštaja komandnog mesta na manje od 15% teritorije, a sa druge strane izbegavaju moguće potencijalne greške u vidu razmeštaja komande na prostoru koje je neprihvatljivo sa aspekta maskiranja, mogućih dejstava neprijatelja i drugo.

Takođe se može uočiti da se primenom navedenog koncepta, iz bezbroj kombinacija, može indentifikovati do pet potencijalnih lokacija. Iste se primenom određenog višekriterijskog metoda, u praktičnom kontekstu, može suziti na tačnu lokaciju.



Slika 4: Primer dobijene krajnje karte korišćenjem ponderisane linearne kombinacije lera dobijenih kao rezultat AHP (Sekulović & Jakovljević, 2016)

5. ZAKLJUČAK

Primena geografskih informacionih sistema omogućava primanje i obradu svih georeferenciranih aktivnosti u zoni operacije. GIS omogućava bolje sagledavanje sopstvenih i neprijateljskih mogućnosti, kako bi komandanti pravovremeno donosili odluke i bolje kontrolisali tok operacije (Đorđević & Bakrač, 2016).

Rad je pokušao skrenuti pažnju na prednosti korišćenje GIS-a u procesu donošenja vojnih odluka, koji postaje popularno sredstvo u vojskama razvijenih zemalja (Lenagala & Stimers, 2017), koji se koristi za prostornu statistiku i grupisanje najpogodnijih reiona, kao i za upravljanje velikim količinama prostornih podataka prikupljenih iz različitih izvora.

Takođe je ukazana mogućnost integracije AHP metode u GIS, u cilju izvršenja konzistentne procene, zasnovanu na faktorima koji doprinose analizi problema.

Koristeći stručnu literaturu za određivanje kriterijuma izbora, definisane su AHP težine za predlog najpogodnije lokacije razmeštaja komandnog mesta. One su optimizirane korištenjem GIS alata za dobijanje odgovarajućih reiona za razmeštaj komandnog mesta u vojnim operacijama.

Rad pokušava da ukaže na koncept koji podržava process operativnog planiranja tako što se njime smanjuje nesigurnost u donošenju odluka, odnosno delimično zamenjuje sporije, manje pouzdane procese donošenja odluka o lokacijama razmeštaja zasnovanih na čoveku. U procesu operativnog planiranja, faktore terena treba precizno analizirati, ali uz nedostatak adekvatne tehnologije, komandanti jedinica zavise od zastarelih metoda i opreme. Ubacivanje logičkih i statističkih podataka, a time i automatizovanih procesa u odluke na nivou komandi, minimiziraju se greške u procesu operativnog planiranja.

Na osnovnu iznetih konstatacija u radu možemo zaključiti da postoji potreba za daljim unapređenjem GIS-a uz upotrebu višekriterijumskih metoda kao instrumenta za generisanje pravovremenih i pouzdanih informacija u funkciji podrške planiranja operacija i donošenja validnih vojnih odluka. Takođe je neophodno da se iniciraju istraživanja na definisanju i vrednovanju ograničenja i kriterijuma za vrednovanja reiona razmeštaja svih elemenata operativnog rasporeda kao i određivanju njihovih težinskih koeficijenata.

Nadogradnjom GIS-a, u domenu Vojske, jedan je od preduslova za dobijanje kvalitetnog komandno-informacionog sistema. Time bi se omogućilo bolje sagledavanje sopstvenih i neprijateljevih mogućnosti, kako bi komandanti pravovremeno donosili odluke i bolje kontrolisali tok operacije (Đorđević & Bakrač, 2016).

LITERATURA

- [1] Božanić, D., Karović, S., & Pamučar, D. (2014). Adaptirana neuronska mreža za izbor varijante upotrebe kao preduslov cene koštanja napadne operacije Kopnene vojske. *Vojno delo*, 4/2014, 149.
- [2] Cimbaljević, M., Bučić, A., & Jovanović, M. (2014). Značaj uvođenja GIS-a i njegova primena na nivou lokalne samouprave - iskustvo iz Srbije. *Zbornik radova Departmana za geografiju, turizam i hotelijerstvo*, 103-114.
- [3] Đorđević, D., & Bakrač, S. (2016). Pojedini aspekti geotopografskog obezbeđenja u operacijama vojske. *Vojno delo*, 1/2016, 122-135.
- [4] Gigović, L., Pamučar, D., Bajić, Z., & Milićević, M. (2016). The Combination of Expert Judgment and GIS-MAIRCA Analysis for the Selection of Sites for Ammunition Depots. *Sustainability*, 8, 1-30.
- [5] Goodchild, M. (2010). Twenty years of progress: GIScience in 2010. *Journal of Spatial*, 1, 3-20.
- [6] Lenagala, S., & Stimers, M. (2017). The Analytic Hierarchy Process in GIS-Driven Military Operation Base Selection: A Case Study in Sri Lanka. *Journal of Defense Management*, 7(1), 1-11.
- [7] Madera, J. (2006). Civil information management in support of counterinsurgency operations: A case for the use of geospatial information systems in Colombia. *Kansas: Army command and general staff college, Fort Leavenworth*.
- [8] Milanović, A., & Štrbac, D. (2007). Primena GIS-a u hidrološkim istraživanjima - primer reke Lepenice. *Zbornik radova*, 57, 475-481.
- [9] Milošević, B., & Mišković, V. (2003). Izbor lokacije i transportnih sredstava za raseljavanje. *Vojnotehnički glasnik*, (4-5/2003), 433-446.
- [10] Mustafić, S., Manojlović, P., & Dragičević, S. (2007). Primena teledetekcionih metoda i GIS-a u istraživanjima erozivnih procesa. *Zbornik radova*, 57, 465-473.
- [11] Sekulović, D., & Jakovljević, D. (2016). Landfill site selection using GIS technology and the analytic hierarchy process. *Vojnotehnički glasnik*, Vol.64, No3, 769-783.
- [12] Talhofer, V., Hošková-Mayerová, Š., & Hofmann, A. (2016, September). Towards: Efficient use of resources in military: Methods for evaluation routes in open terrain. *Journal of Security and Sustainability issues*, 6 Numbe 1, 53-70.
- [13] Veronesi, F., Schito, J., Grassi, S., & Raubal, M. (2017). Automatic selection of weights for GIS based multicriteria decision analysis: site selection of transmission towers as a case study. *Applied Geography*, 83, 78-85.



MODEL IZBORA NAJBOLJEG NAUČNOISTRAŽIVAČKOG PROJEKTA U MINISTARSTVU ODBRANE I VOJSCI SRBIJE

MODEL OF SELECTION OF THE BEST SCIENTIFIC RESEARCH PROJECT IN THE MINISTRY OF DEFENSE AND THE SERBIAN ARMY

SRĐAN DIMIĆ¹, MILAN KANKARAŠ², VLADA MITIĆ³

¹ Uprava za stratezijsko planiranje, Ministarstvo odbrane, Beograd, srdjan.dimic@mod.gov.rs

² Uprava za stratezijsko planiranje, Ministarstvo odbrane, Beograd, kankaras.milan@outlook.com

³ Uprava za stratezijsko planiranje, Ministarstvo odbrane, Beograd, vlada.mitic@mod.gov.rs

Režime: *Ministarstvo odbrane i Vojska Srbije u cilju promovisanja naučnoistraživačke delatnosti i podsticanja naučnoistraživačkog rada, svake godine, vrše izbor najboljih naučnoistraživačkih radova koji bivaju nagrađeni povodom Dana Vojske Srbije. Tom prilikom biraju se najbolji naučnoistraživački projekat i najbolja doktorska disertacija u Ministarstvu odbrane i Vojsci Srbije. U radu je prikazan modifikovani model izbora najboljeg naučnoistraživačkog projekta u Ministarstvu odbrane i Vojsci Srbije, koji je primenljiv i na izbor najbolje doktorske disertacije.*

Cljučne reči: *Model, izbor, naučnoistraživački projekat.*

Abstract: *In order to promote scientific research activities and encourage scientific research, the Ministry of Defense and the Serbian Army Forces awards the best scientific research papers annually. That is organised on the Day of the Serbian Army Forces. On that occasion, the best scientific research project and the best doctoral dissertation in the Ministry of Defense and the Serbian Army Forces are selected. This paper presents a modified model for the selection of the best scientific research project in the Ministry of Defense and the Serbian Army Forces. The model is applicable to the selection of the best doctoral dissertation.*

Keywords: *Model, Selection, Scientific Project.*

1. UVOD

Ministarstvo odbrane i Vojska Srbije u cilju promovisanja naučnoistraživačke delatnosti i podsticanja naučnoistraživačkog kadra da se bavi naučnoistraživačkim radom, od 2006. godine, svake godine, vrše izbor najboljih naučnoistraživačkih radova. Tom prilikom biraju se najbolji naučnoistraživački projekat i najbolja doktorska disertacija kojima se dodeljuje Godišnja nagrada za najbolji naučni rad u Ministarstvu odbrane i Vojsci Srbije.

Za najbolji naučnoistraživački projekat bira se projekat iz Plana naučnoistraživačke delatnosti u Ministarstvu odbrane i Vojsci Srbije, koji je realizovan u prethodnoj kalendarskoj godini. Postupak izbora najboljeg naučnoistraživačkog projekta sprovodi Komisija, formirana od strane ministra odbrane, tako što najbolji naučnoistraživački projekat bira iz skupa projekata koje su predložile organizacione jedinice Ministarstva odbrane i Vojske Srbije, koje su nosioci realizacije projekata. Godišnja nagrada se dodeljuje povodom Dana Vojske Srbije.

Članovi Komisije, koja vrši izbor najboljeg naučnoistraživačkog projekta, su lica iz različitih organizacionih jedinica Ministarstva odbrane i Vojske Srbije i bave se različitim naučnim oblastima. Prema postojećem načinu izbora svi članovi su ravnopravni, a odluka je rezultat procesa grupnog odlučivanja (Maćak and Ilić, 2018). U cilju objektivnijeg izbora najboljeg naučnoistraživačkog projekta predložena je modifikacija postojećeg načina kako bi se uvažila kompetencija članova Komisije koja vrši izbor u zavisnosti od naučne oblasti iz koje je predloženi projekat.

U radu je prikazan modifikovani model izbora najboljeg naučnoistraživačkog projekta u Ministarstvu odbrane i Vojsci Srbije, s tim da je model u potpunosti primenljiv i za izbor najbolje doktorske disertacije koja se na identičan način bira za dodelu Godišnje nagrade.

2. POSTOJEĆI NAČIN IZBORA NAJBOLJEG NAUČNOISTRAŽIVAČKOG PROJEKTA

Postupak izbora najboljih naučnoistraživačkih radova sprovodi se u skladu sa Odlukom ministra odbrane (Odluka, 2012), na način da Komisija, sastavljena od naučnih radnika iz Ministarstva odbrane i Vojske Srbije, vrši izbor između radova predloženih od strane organizacionih jedinica iz Ministarstva odbrane i Vojske Srbije.

Organizacione jedinice iz Ministarstva odbrane i Vojske Srbije, za dodelu godišnje nagrade, predlažu naučnoistraživačke projekte iz Plana naučnoistraživačke delatnosti u Ministarstvu odbrane i Vojsci Srbije koje su realizovale u prethodnoj kalendarskoj godini.

Poslove organizacije izbora najboljih naučnih radova povereni su Upravi za stratejsko planiranje Sektora za politiku odbrane koja je nosilac poslova naučnoistraživačke delatnosti u Ministarstvu odbrane i Vojsci Srbije. Nakon prikupljanja i obrade dostavljenih predloga, Uprava za stratejsko planiranje organizuje sastanak komisije koju je formirao ministar odbrane. U pripremi sastanka svim članovima Komisije dostavlja se identičan materijal sa podacima o svim projektima kako bi, na sastanku, mogli da donesu adekvatnu odluku i izaberu najbolje naučne radove. Članovi komisije su naučni radnici iz različitih organizacionih jedinica Ministarstva odbrane i Vojske Srbije i imaju različite kompetencije, u zavisnosti od naučne oblasti kojom se bave.

Izbor najboljeg naučnoistraživačkog projekta u Ministarstvu odbrane i Vojsci Srbije vrši se na način da svaki član Komisije predloži projekte budući od 1 do n , gde n predstavlja ukupan broj predloženih projektata. Član komisije, projektu koji je po njegovom mišljenju najbolji, dodeljuje n bodova, sledećem rangiranom $n-1$ bodova i tako do projekta koji je po njegovom mišljenju najlošiji, kome dodeljuje 1 bod. Pojedinačni bodovi se sabiraju, a za najbolji projekat se bira projekat koji ima najveći zbir bodova.

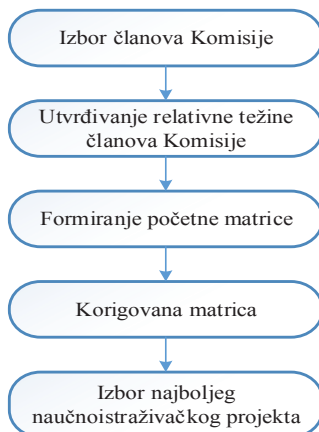
Svaki član Komisije, prilikom izbora najboljeg naučnoistraživačkog projekta, za određivanje broja bodova koje će dodeliti projektima sagledava publikovane radove koji su proistekli iz projekta, izveštaj o izvršenoj recenziji projekta i procenu značaja projekta za Ministarstvo odbrane i Vojsku Srbije (Odluka, 2012).

Svi članovi komisije su ravnopravni i imaju istu relativnu težinu prilikom odlučivanja o izboru najboljeg naučnoistraživačkog projekta, bez obzira na to kojom naučnom oblašću se bave. Imajući u vidu da su predloženi naučnoistraživački projekti iz različitih naučnih oblasti (tehničko-tehnoloških, prirodno-matematičkih, društveno-humanističkih i medicinskih), prisutan je problem kompetentnosti člana komisije za vrednovanje projekta iz druge naučne oblasti.

3. PREDLOG MODIFIKOVANOG MODELA

Naučnoistraživački projekti koji se predlažu za Godišnju nagradu su iz različitih naučnih oblasti. U prethodnom periodu postojali su pokušaji da se izbor najboljih naučnih radova vrši po naučnim oblastima, tako da bi postojao najbolji naučnoistraživački projekat u oblasti tehničko-tehnoloških, prirodno-matematičkih, društveno-humanističkih i medicinskih nauka. S obzirom da takav predlog nije prihvaćen, u cilju objektivnijeg izbora najboljeg naučnoistraživačkog projekta predložena je modifikacija postojećeg modela na način da se uvažavaju kompetencije članova Komisije koja vrši izbor.

Modifikovani model izbora najboljeg naučnoistraživačkog projekta u Ministarstvu odbrane i Vojsci Srbije prikazan je na slici 1.



Slika 1: Modifikovani model izbora najboljeg naučnoistraživačkog projekta

Prvi korak u primeni prikazanog modela predstavlja izbor članova Komisije koja će vršiti izbor najboljeg naučnoistraživačkog projekta. Članovi Komisije su izabrani od strane ministra odbrane, a predstavljaju naučne radnike koji su eksperti u svojim naučnim oblastima, što dokazuju svojim referencama.

S obzirom na to, da se članovi Komisije bave naukom u različitim oblastima, neophodno je utvrditi njihovu relativnu težinu, za svaku naučnu oblast. Za utvrđivanje relativne težine članova Komisije predložena je primena opšte poznate metode Analitičkih hijerarhijskih procesa, na način da je sa svakog člana određuje njegova relativna težina, za svaku naučnu oblast.

U trećem koraku vrši se formiranje početne matrice odlučivanja tako što svaki član Komisije vrši rangiranje predloženih naučnoistraživačkih projekata. Imajući u vidu da je prihvatljivije da se rangiranje vrši na način da najboljem projektu dodeljuje vrednost 1, narednom 2 itd. model predviđa da članovi Komisije rangiranje predloženih projekata vrše na način da najboljem projektu dodeljuje vrednost 1, a najlošijem projektu vrednost n (n - predstavlja broj predloženih projekata).

Nakon popunjavanja početne matrice, vrši se transformacija dodeljenih vrednosti na način da najbolji projekat dobija najveći broj bodova, koji je jednak broju predloženih projekata, a najlošiji projekat dobija 1 bod.

U narednom koraku formira se korigovana matrica koja predstavlja proizvod transformisanih vrednosti dodeljenih projektima od strane članova Komisije i relativne težine svakog člana Komisije u zavisnosti od naučne oblasti iz koje je projekat koji se rangira.

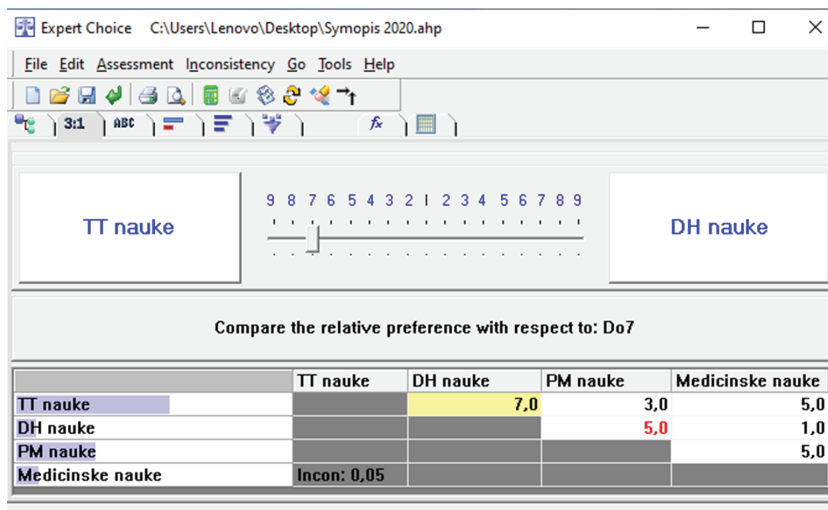
Na kraju procesa vrši se sumiranje vrednosti po redovima korigovane matrice i naučnoistraživački projekat koji ima najveću vrednost predstavlja najbolji naučnoistraživački projekat.

4. PRIMENA MODIFIKOVANOG MODELA

Primena modifikovanog modela izbora najboljeg naučnoistraživačkog projekta u Ministarstvu odbrane i Vojski Srbije prikazana je na primeru izbora najboljeg naučnoistraživačkog projekta za 2019. godinu.

U skladu sa predloženim modifikovanim modelom, prvi korak predstavlja izbor članova Komisije koji su donosioci odluke. Za članove Komisije biraju se eksperti iz svih naučnih oblasti, jer za najbolji naučnoistraživački projekat organizacione jedinice Ministarstva odbrane i Vojske Srbije mogu da predlože projekte iz svih naučnih oblasti, bez ograničenja. Za potrebe prikaza modela u radu su korišćeni rezultati odlučivanja postojećih članova Komisije.

Za utvrđivanje relativne težine članova Komisije, u narednom koraku, primenjena je metoda Analitičkih hijerarhijskih procesa, na način da je sa svakog člana određuje njegova relativna težina, za svaku naučnu oblast. Jedan od koraka u procesu utvrđivanja relativne težine članova Komisije korišćenjem softvera Expert choice, prikazan je na slici 2.



Slika 2: Utvrđivanje relativne težine članova Komisije

Na osnovu rezultata primenjene AHP metode, za svakog člana Komisije, dobija se relativna težina u zavisnosti od naučne oblasti. U tabeli 1 prikazane su relativne težine članova Komisija dobijene na opisani način.

Tabela 1: Relativne težine članova Komisija

Naučna oblast	Do 1	Do 2	Do 3	Do 4	Do 5	Do 6	Do 7	Do 8	Do 9	Do 10	Do 11
TT	0,583	0,157	0,140	0,167	0,105	0,538	0,560	0,257	0,123	0,583	0,100
DH	0,067	0,613	0,544	0,500	0,153	0,078	0,069	0,070	0,613	0,067	0,700
PM	0,282	0,157	0,158	0,167	0,080	0,305	0,294	0,594	0,169	0,282	0,100
M	0,067	0,072	0,158	0,167	0,661	0,078	0,077	0,079	0,096	0,067	0,100

U sledećem koraku, članovi Komisije vrše rangiranje projekata. Za prikaz modela vršen je izbor između pet naučnoistraživačkih projekata koji su u tabeli 2 označeni sa P-1 do P-5. Prvi i drugi projekat su iz oblasti medicinskih nauka, treći i peti su iz oblasti tehničko-tehnoloških i četvrti projekat je iz oblasti prirodno-matematičkih nauka. Dodeljene vrednosti projekata se zatim transformišu, u skladu sa opisanim modelom. U tabeli 2 prikazane su transformisane vrednosti koje su projektima dodelili članovi Komisije.

Tabela 2: Transformisane vrednosti ocenjenih projekata

Projekat	Do 1	Do 2	Do 3	Do 4	Do 5	Do 6	Do 7	Do 8	Do 9	Do 10	Do 11
P-1	2	4	5	3	3	2	3	3	2	5	1
P-2	1	2	1	2	4	1	1	1	3	3	2
P-3	5	3	4	1	2	5	2	2	4	2	3
P-4	3	1	2	4	5	4	5	4	1	4	5
P-5	4	5	3	5	1	3	4	5	5	1	4

U narednom koraku dobija se korigovana matrica koja predstavlja proizvod transformisanih vrednosti ocenjenih projekata i relativne težine svakog člana Komisije, u zavisnosti od naučne oblasti iz koje je projekat koji se rangira (tabela 3).

Tabela 3: Korigovana matrica odlučivanja

Projekat	Do 1	Do 2	Do 3	Do 4	Do 5	Do 6	Do 7	Do 8	Do 9	Do 10	Do 11
P-1	0,134	0,288	0,790	0,501	1,983	0,156	0,231	0,237	0,192	0,335	0,100
P-2	0,067	0,144	0,158	0,334	2,644	0,078	0,077	0,079	0,288	0,201	0,200
P-3	2,915	0,471	0,560	0,167	0,210	2,690	1,120	0,514	0,492	1,166	0,300
P-4	0,846	0,157	0,316	0,668	0,400	1,220	1,470	2,376	0,169	1,128	0,500
P-5	2,332	0,785	0,420	0,835	0,105	1,614	2,240	1,285	0,615	0,583	0,400

Najbolji naučnoistraživački projekat se dobija na osnovu zbira korigovanih vrednosti svih članova Komisije (tabela 4).

Tabela 4: Rang naučnoistraživačkih projekata

Projekat	Suma	Rang
P-1	4,947	4.
P-2	4,270	5.
P-3	10,605	2.
P-4	9,250	3.
P-5	11,214	1.

Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 4 može se zaključiti da je projekat broj 5 dobio najveću vrednost (11,214) i da on predstavlja najbolji naučnoistraživački projekat u Ministarstvu odbrane i Vojsci Srbije kome treba dodeliti Godišnju nagradu.

5. DISKUSIJA REZULTATA

Predloženi model izbora najboljeg naučnoistraživačkog rada u Ministarstvu odbrane i Vojsci Srbije primenjen je na izbor najboljeg naučnoistraživačkog projekta u 2019. godini.

Poređenja radi, u tabeli 5, prikazani su rezultati dobijeni postojećim načinom izbora najboljeg naučnoistraživačkog projekta i modifikovanim modelom koji je prikazan u radu.

Tabela 5: Usporedno prikaz rezultata primene oba modela

Projekat	Postojeći model		Modifikovani model	
	Suma	Rang	Suma	Rang
P-1	33	3.	4,947	4.
P-2	21	5.	4,270	5.
P-3	33	3.	10,605	2.
P-4	38	2.	9,250	3.
P-5	40	1.	11,214	1.

Poređenjem rezultata, po ova dva modela, može se zaključiti da je najbolji projekat u oba slučaja projekat broj 5. Ovaj rezultat je i očekivan, imajući u vidu da je šest od 11 članova Komisije iz tehničko-tehnološke naučne oblasti i da je bilo za očekivati da će prednost dati projektu iz svoje oblasti koju u svakom slučaju bolje poznaju. Međutim, već kog drugorangiranog projekta dolazi do promene u rang. Pored toga, po postojećem modelu dva projekta dele treće mesto, što je predloženim modelom gotovo nemoguć događaj.

Takođe, primena predloženog modela predviđa izmenu sastava Komisije tako da ravnomerno budu zastupljena lica sa naučnim kompetencijama iz svih naučnih oblasti. Time se dodatno doprinosi objektivnijem izboru najboljeg naučnoistraživačkog projekta, što je bio i cilj rada.

6. ZAKLJUČAK

Postojeći način izbora najboljeg naučnoistraživačkog projekta u Ministarstvu odbrane i Vojsci Srbije ima određene nedostatke koji se pre svega ogledaju u činjenici da su svi članovi Komisije, koja vrši izbor, ravnopravni, bez obzira na naučno polje iz koga su projekti koji se ocenjuju i na kompetencije članova Komisije. Pri tome prisutno je i pitanje neravnomerne zastupljenosti članova Komisije, po naučnim oblastima.

Predloženi model predstavlja pokušaj da se u određenoj meri poveća objektivnost donošenja odluke o izboru najboljeg naučnoistraživačkog projekta u Ministarstvu odbrane i Vojsci Srbije, pre svega uvažavanjem kompetencija članova Komisije i određivanjem njihove relativne težine u zavisnosti od naučne oblasti kojom se oni bave i naučne oblasti iz koje su projekti koji se biraju. Za razliku od postojećeg načina izbora najboljeg naučnoistraživačkog projekta, primenom opisanog modela povećava se objektivnost pri izboru najboljih naučnoistraživačkih projekata i izbegava mogućnost da dva ili više projekta imaju isti broj bodova.

Modifikovani model opisan u radu ostavlja mogućnost da se za utvrđivanje relativne težine članova Komisije koriste i druge metode koje su donosiocima odluke prihvatljivije, ali je suština u tome da se uvaži uticaj članova Komisije u meri u kojoj su oni kompetentni za određenu naučnu oblast. Prikazani model moguće je primeniti i za izbor najbolje doktorske disertacije u Ministarstvu odbrane i Vojsci Srbije kojoj se takođe dodeljuje Godišnja nagrada.

LITERATURA

- [1] Mačak Z., Ilić A. (2017). Izbor najbolje doktorske disertacije u Ministarstvu odbrane i Vojsci Srbije primenom metode Analitičko hijerarhijskog procesa, Zlatibor, zbornik radova, SYM-OP-IS 2017, 658-662.
- [2] Odluka o uslovima dodeljivanja godišnje nagrade za najbolji naučnoistraživački projekat, doktorsku disertaciju i magistarski rad u Ministarstvu odbrane i Vojsci Srbije, (2012). „Službeni vojni list“, br. 23/12 i 08/15, Beograd.
- [3] www.expertchoice.com

*Saobraćaj, transport i
komunikacije*

*Traffic, Transportation and
Communication*



UČINAK ŽELEZNIČKOG SISTEMA I NJEGOVE DETERMINANTE: ANALIZA GLAVNIH KOMPONENTI

PERFORMANCE OF RAILWAY SYSTEM AND ITS DETERMINANTS: A PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS APPROACH

MIROSLAV PROKIĆ¹, KATARINA HALAJ², MIRA PASKOTA³

¹ Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, miroslav.prokic@yahoo.com

² Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, k.halaj@sf.bg.ac.rs

³ Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, m.paskota@sf.bg.ac.rs

Rezime: Učinak železničkog sistema razlikuje se od države do države i zavisi od različitih faktora. Sa ciljem ispitivanja učinka železničkog sistema, u radu je predstavljen novoformirani skup podataka koji uključuje njegove pokazatelje, zatim pokazatelje koje se odnose na razvoj država (egzogeni), ali i ostale pokazatelje železničkog sistema (endogeni) pokazatelji. Ideja rada je ispitivanje povezanosti između definisanih pokazatelja i dalje sumiranje njihove međusobne povezanosti. Za tu svrhu je primenjena statistička metoda analiza glavnih komponenti. Ovaj pristup je omogućio identifikaciju pokazatelja koji su povezani sa učinkom železničkog sistema i njihovu dalju kategorizaciju. Analiza je izvršena na nivou sto država na osnovu trinaest pokazatelja prikupljenih istraživanjem putem interneta.

Ključne reči: analiza glavnih komponenti, železnički sistem, pokazatelji razvoja, pokazatelji učinka

Abstract: Performance of railway system vary from country to country and depends on various factors. In order to examine the performance of the railway system, in this paper is presented a newly created dataset that includes its indicators, then indicators related to the development of countries (exogenous), but also other indicators of the railway system (endogenous indicators). The idea was to examine the correlation between defined indicators and further summarize patterns of correlations among them. For this purpose, Principal Component Analysis – PCA was used. This approach enabled identification of indicators with impact on railway performance indicators and their further categorization. Analysis was conducted on the level of 100 countries using 13 indicators collected by online desk research.

Keywords: principal component analysis, railway system, development indicators, performance indicators

1. UVOD

Transport ima važnu ulogu u savremenom društvu. Današnja količina robe i usluga i povećana mobilnost ljudi ne bi se mogla ostvariti bez transporta koji je vremenom postao efikasniji i pouzdaniji. Ovaj odnos je stvorio vezu između transporta sa jedne strane i podsticanja ekonomskog rasta sa druge.

U ovom radu istraživane su veze između globalnih pokazatelja razvoja i železničkih pokazatelja kako bi se pronašli pokretači železničke efikasnosti.

Za potrebe ovog rada, pokazatelji razvoja su imenovani kao egzogeni pokazatelji i uključuju sedam pokazatelja iz različitih oblasti. Železnički pokazatelji su podeljeni na pokazatelje učinka železničkog sistema i endogene pokazatelje koju se generišu u železničkom sektoru. Železnički pokazatelji uključuju pet pokazatelja koji mere različite aspekte železničkog sistema.

Kao metodologija, u ovom radu je korišćena metoda multivarijacione statistike poznata pod imenom Analiza glavnih komponenti ili skraćeno PCA od engleskog naziva *Principal Component Analysis*. PCA je izabrana zbog svoje prednosti koja se ogleda u grupisanju skupa međusobno zavisnih slučajnih promenljivih koje su u isto vreme nezavisne sa drugim grupama promenljivih svrstanih zajedno. Kao rezultat PCA dobijaju se novoformirane komponente koji predstavljaju gore navedene nekorelisane grupe promenljivih. To olakšava analizu podataka imajući u vidu da se velika grupa promenljivih može predstaviti manjim brojem komponenti. Da bi se dobili pouzdani i održivi rezultati PCA, definisana je baza podataka sa relevantnim pokazateljima za sto država.

Ostatak rada je strukturiran tako da pored uvoda i zaključka sadrži još sledeće četiri celine: definisanje i opis problema, postupak prikupljanja podataka i odabir pokazatelja, prikaz metodologije istraživanja, postupak prikupljanja podataka i odabir pokazatelja i rezultate istraživanja.

2. OPIS PROBLEMA

Železnica predstavlja vitalni deo celokupnog transportnog sistema. Nekoliko autora je proučavalo odnos između železničkog transporta i ekonomskih i drugih spoljnih faktora. (Pavlyuk, 2008) je u svom radu sproveo analizu stohastičkih granica za procenu efikasnosti železničkih sistema u dvadeset i dve evropske zemlje. Rezultati analize su pokazali da postoji pozitivan uticaj BDP-a po glavi stanovnika na ukupnu efikasnost železničkog sistema. Takođe, države sa većom gustinom stanovnika i turista imaju povećanu efikasnost putničkog saobraćaja. (Pradhab & Bagchi, 2012) primenili su test Grendžerove uzročnosti i pokazali da železnička infrastruktura Indije određuje ekonomski rast i formiranje kapitala samo na jednosmernom nivou. Rezultati ovog rada pokazuju da bi smanjenje ulaganja u železničku infrastrukturu dovelo do pada ekonomskog rasta i bruto domaćeg proizvoda Indije. (Badalyan, Herzfeld, & Rajcaniova, 2014) koristili su panel kointegracije i panel uzročnosti za tri zemlje, Jermeniju, Tursku i Gruziju, a rezultati su pokazali da bruto investicije u osnovna sredstva i prevoz robe drumskim i železničkim saobraćajem imaju pozitivan i statistički značajan uticaj na ekonomski rast u kratkom roku i pokazuju postojanje dvosmerne uzročne povezanosti između ekonomskog rasta i ulaganja u infrastrukturu. (Sun, Li, Lei, Teng, & Le, 2018) su primenili model konkurencije radi određivanja interakcije između BDP-a i kopnenog transporta za kinesku četvrt Ksinjang. Pored toga, autori su predmetni model primenili i radi ispitivanja interakcije između dve vrste kopnenog saobraćaja, drumskog saobraćaja koji se odvija po autoputu i železničkog saobraćaja. Analiza je pokazala da drumski saobraćaj koji se odvija po autoputu i železnički teretni saobraćaj imaju pozitivan uticaj na stimulaciju rasta privrede ovog okruga. (Tong & Yu, 2018) analizirali su integraciju i uzročno-posledičnu vezu između transporta i ekonomskog rasta u tri regiona: u istočnom, centralnom i zapadnom delu Kine. Autori su utvrdili da železnički teretni saobraćaj ne uzrokuje ekonomski rast ni u jednoj od tri regije.

Cilj ovog rada je nalazjenje relativnih determinanti i razumevanje učinka železničkog sistema širom sveta uz ispitivanje prirode odnosa železničkog sistema sa spoljnim faktorima. Zašto relativnih determinanti? Zato što će se analiza vršiti u okviru određenog skupa podataka koji će biti definisani u radu.

3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Analiza glavnih komponenti predstavlja veoma popularnu statističku metodu koja se koristi za izdvajanje bitnih informacija iz podataka i njihovo prikazivanje kroz skup novih nekorelisanih slučajnih promenljivih, koje nazivamo glavnim komponentama (Jolliffe, 1986). Glavne komponente predstavljaju linearne kombinacije originalnih promenljivih, koje se konstruišu tako da prva glavna komponenta obuhvati najveći procenat varijabilneta iz podataka, a svaka naredna najveći procenat varijabilneta koji nije obuhvaćen prethodno dobijenim komponentama. Na taj način, uz redukciju dimenzije skupa podataka dobijaju se nove promenljive koje dobro predstavljaju korelacionu strukturu originalnih podataka (Kovačić, 1998) (Abdi & Williams, 2010).

Neka vektor $X = (X_1, X_2, \dots, X_p)$ predstavlja originalnih p korelisanih slučajnih promenljivih. Linearna kombinacija elemenata vektora X

$$a_1^T X = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1p}X_p \quad (1)$$

koja ima najveću varijansu predstavlja prvu glavnu komponentu. Maksimizacija varijanse vektora $a_1^T X$ postiže se optimalnim odabirom koeficijenata $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1p}$ (Bro & Smilde, 2014).

Korišćenjem osobina varijanse, pokazuje se da važi jednakost

$$V(a_1^T X) = a_1^T \Sigma a_1, \quad (2)$$

gde Σ predstavlja kovarijacionu matricu slučajnog vektora X . Uz ograničenje da $a_1^T a_1 = 1$, problem maksimizacije varijanse $V(a_1^T X)$ poistovećujemo sa problemom maksimizacije Lagranžove funkcije

$$f(X_1, X_2, \dots, X_p) = V(a_1^T X) - \lambda(a_1^T a_1 - 1), \quad (3)$$

gde λ predstavlja Lagranžov množilac (Jolliffe & Cadima, 2016). Diferenciranje ove funkcije po promenljivoj a_1 i izjednačavanje odgovarajućeg parcijalnog izvoda sa nulom, rezultira sledećim izrazom

$$\Sigma a_1 = \lambda a_1, \quad (4)$$

koji implicira da je Lagranžov množilac λ sopstvena vrednost kovarijansne matrice Σ . Tražena varijansa postaje

$$V(a_1^T X) = a_1^T \Sigma a_1 = a_1^T \lambda a_1 = \lambda a_1^T a_1 = \lambda, \quad (5)$$

pa se problem maksimizacije varijanse izjednačava sa problemom nalaženja najveće sopstvene vrednosti kovarijacione matrice Σ . Vektor a_1 je sopstveni vektor koji odgovara najvećoj sopstvenoj vrednosti λ_1 . Dakle, linearna kombinacija $a_1^T X$ predstavlja prvu glavnu komponentu, čija je varijansa jednaka najvećoj sopstvenoj vrednosti matrice Σ .

Prilikom konstruisanja druge glavne komponente $a_2^T X$, ponavljamo analognu proceduru, uz dodatan uslov da kovarijansa između dobijenih glavnih komponenti bude jednaka nuli. Izjednačavanjem prvog izvoda Lagranžove funkcije

$$f(X_1, X_2, \dots, X_p) = a_2^T \Sigma a_2 - \lambda(a_2^T a_2 - 1) - \rho a_2^T a_1 \quad (6)$$

u odnosu na promenljivu a_2 sa nulom, dobija se sledeća jednakost

$$\Sigma a_2 - \lambda a_2 - \rho a_1 = 0. \quad (7)$$

Množenjem ove jednakosti sa leve strane sa a_1^T i korišćenjem uslova nekorelisanosti prve dve glavne komponente zaključujemo da je $\rho = 0$. Sada izraz (7) postaje

$$\Sigma a_2 = \lambda a_2 \quad (8)$$

što implicira da i u ovom slučaju Lagranžov množilac λ predstavlja sopstvenu vrednost kovarijansne matrice Σ . Kovarijansna matrica ne sadrži identične sopstvene vrednosti, pa λ predstavlja njenu drugu najveću sopstvenu vrednost (λ_2). Ako bi postojale identične sopstvene vrednosti i sopstvena vrednost λ_2 bila jednaka najvećoj sopstvenoj vrednosti matrice Σ (λ_1), tada bi odgovarajući sopstveni vektori a_1 i a_2 morali biti jednaki, što je u kontradikciji sa pretpostavkom da su prve dve komponente nekorelisane. Druga glavna komponenta je $a_2^T X$, gde a_2 predstavlja sopstveni vektor kovarijansne matrice Σ koji odgovara drugoj najvećoj sopstvenoj vrednosti.

Analogno dobijamo treću, četvrtu, ..., p-tu glavnu komponentu ($a_3^T X, a_4^T X, \dots, a_p^T X$). Vektor koeficijenata a_i , koji odgovara i-toj glavnoj komponenti, jednak je sopstvenom vektoru kovarijansne matrice Σ koeficijentnom i-toj najvećoj sopstvenoj vrednosti. Varijansa i-te glavne komponente je upravo i-ta najveća sopstvena vrednost.

Prilikom analize glavnih komponenti, često je potrebno izdvojiti samo bitne informacije iz podataka. U tom slučaju, potrebno je odrediti broj glavnih komponenti koje treba uzeti u razmatranje. Jedan od standardnih pristupa je fiksiranje kumulativne proporcije ukupne varijanse, prilikom koje se broj razmatranih glavnih komponenti povećava sve dok se ne dostigne unapred zadati kriterijum (Jolliffe, 2002). Drugi pristup sugerše uzimanje u obzir samo onih komponenti čija je sopstvena vrednost veća nego prosečna sopstvena vrednost (Jolliffe, 1986). Osim navedenih, postoje i mnogi drugi (Kaiser, 1961) (Cattell, 1966), među kojima je i grafički prikaz pomoću scree plot. On predstavlja sopstvene vrednosti kovarijansne matrice prema njihovom rednom broju. Mesto na linijskom dijagramu na kojem uočavamo naglu promenu pravca predstavlja prirodan odabir za broj glavnih komponenti koje treba razmatrati prilikom dalje analize (Cattell, 1966) (Abdi and Williams, 2010).

4. POSTUPAK PRIKUPLJANJA PODATAKA I POKAZATELJI

Različiti pokazatelji mogu biti obuhvaćeni u kontekstu cilja ovog rada. Prvi korak u postupku prikupljanja podataka i definisanja pokazatelja je kreiranje liste svih država u kojima je uspostavljen železnički sistem. Izbor pokazatelja zavisio je od njihove usklađenosti sa definisanim ciljem istraživanja, ali i od raspoloživosti i kvaliteta istih. Nakon toga je sprovedeno istraživanje putem interneta koje je rezultiralo bazom podataka sa trinaest pokazatelja za sto država. Odabrani pokazatelji opisuju dve dimenzije:

- Nivo razvoja i učinka železničkog sektora jedne države,
- Ekonomsku situaciju, efikasnost regulatornog i institucionalnog učinka jedne države i informacije o populaciji.

Pokazatelji su svrstani u tri karakteristične kategorije (Tabela 1):

- Pokazatelji učinka koji direktno mere efikasnost železničkog sektora,

- Endogeni pokazatelji koji predstavljaju pokazatelje koji podržavaju učinak železničkog sistema i koji se generišu u okviru železničkog sektora,
- Egzogeni pokazatelji koji predstavljaju sve spoljne faktore koji doprinose unapređenju na strani ponude ili potražnje za železničkim transportom.

Tabela 1: Kategorije pokazatelja

Kategorije pokazatelja	Pokazatelji	Mera	Izvor podataka
Pokazatelji učinka	Putnički kilometri	Milion putničkih kilometara	Statistika Međunarodne železničke unije
	Tonski kilometri	Milion tonskih kilometara	Statistika Međunarodne železničke unije
Endogeni pokazatelji	Efikasnost usluge prevoza putnika	Ocena iskazana u rasponu od 1 do 7; [1 = izuzetno nerazvijen - među najgorim u svetu; 7 = obiman i efikasan - među najboljima na svetu]	Izveštaj o globalnoj konkuretnosti
	Kvalitet železničke mreže	Ocena iskazana u rasponu od 1 do 7; [1 = izuzetno nerazvijen - među najgorim u svetu; 7 = efikasan - među najboljima na svetu]	Izveštaj o globalnoj konkuretnosti
	Dužina železničkih pruga	Kilometri	Statistika Međunarodne železničke unije
Egzogeni pokazatelji	Efikasnost carinskih procedura	Ocena iskazana u rasponu od 1 do 7; [1 = izuzetno nerazvijen - među najgorim u svetu; 7 = efikasan - među najboljima na svetu]	Izveštaj o globalnoj konkuretnosti
	BDP	U milionima evra	Sajt <i>Country Economy</i>
	Javni dug	U milionima evra	Sajt <i>Country Economy</i>
	Globalni indeks inovacije	Kompozitni indeks	Sajt <i>Country Economy</i>
	Indeks <i>Doing Business</i>	Kompozitni indeks	Sajt <i>Doing Business</i>
	Globalni indeks konkuretnosti	Kompozitni indeks	Izveštaj o globalnoj konkuretnosti
	Populacija	Broj stanovnika	Sajt <i>Worldometers</i>

5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

Za primenu PCA na kreiranu bazi podataka korišćen je softver SPSS (Statistical Package for Social Science). Pre utvrđivanja komponenti je neophdono izvršiti proveru adekvatnosti podataka za primenu same metode.

Provera adekvatnosti podataka izvršena je Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) testom adekvatnosti uzorka i Bartletovim testom sfernosti. KMO test meri adekvatnost uzorkovanja za svaku promenljivu pojedinačno ali i celu bazu podataka. Vrednosti test statistike ovog testa će biti bliže nuli, ukoliko su parcijalne korelacije znatno veće nego suma kvadrata korelacija, te dobijeni model ne mora dobro oslikavati početne podatke. Preporučuju se vrednosti bliže 1, a poželjno je da budu veće od 0.5.

Bartletov test sfernosti testira hipotezu da je korelaciona matrica jedinična što bi ukazivalo da su promenljive nepovezane i stoga neprimerene za otkrivanje strukture. Ukoliko je značajnost testa manja od 0.05, nulta hipoteza se odbacuje, što indukuje da je PCA pogodna za primenu nad navedenim skupom podataka. Kako je vrednost KMO testa 0,76 a Bartletov test sfernosti odbacuje pomenutu hipotezu može se zaključiti da je primena PCA metode adekvatna za predmetnu bazu podataka.

Primena PCA metode definisala je tri glavne komponente koje obuvataju 85,6% ukupne varijanse. Svaka od ovih komponenti obuhvata 48,9%, 26,2% i 10,5% ukupne varijanse respektivno.

U tabeli 2. data je matrica u kojoj su prikazani rotirani rezultati matrice komponentata. Polja u ovoj matrici pokazuju korelaciju između promenljivih i određenih glavnih komponenti. Na osnovu matrice može se zaključiti da šest promenljivih pripada prvoj glavnoj komponenti, odnosno tih šest promenljivih su jako korelisane sa tom komponentom. Druga glavna komponenta sadrži četiri, a treća dve promenljive.

Tabela 2: Rotirana matrica sa komponenti

Pokazatelji	Komponente		
	1	2	3
Tonski kilometri	0,057	0,813	0,344
Putnički kilometri	0,041	0,163	0,967
Efikasnost usluge prevoza putnika	0,863	0,159	0,113
Kvalitet železničke mreže	0,878	0,199	0,120
Dužina železničkih pruga	0,179	0,873	0,312
Efikasnost carinskih procedura	0,870	0,063	-0,011
Populacija	0,007	0,371	0,897
BDP	0,205	0,933	0,163
Javni dug	0,214	0,909	-0,018
Indeks <i>Doing Business</i>	0,857	0,077	-0,031
Globalni indeks konkurentnosti	0,932	0,175	-0,009
Globalni indeks inovacija	0,915	0,167	-0,013

Tabela 3: Matrica težinskih koeficijenata glavnih glavnim komponentama

Pokazatelji	Komponente		
	1	2	3
Tonski kilometri	-0,060	0,252	0,028
Putnički kilometri	0,019	-0,165	0,578
Efikasnost usluge prevoza putnika	0,188	-0,048	0,057
Kvalitet železničke mreže	0,188	-0,034	0,053
Dužina železničkih pruga	-0,038	0,272	-0,003
Efikasnost carinskih procedura	0,196	-0,059	0,001
Populacija	-0,012	-0,058	0,483
BDP	-0,042	0,329	-0,111
Javni dug	-0,043	0,361	-0,220
Indeks <i>Doing Business</i>	0,191	-0,048	-0,015
Globalni indeks konkurentnosti	0,199	-0,019	-0,022
Globalni indeks inovacija	0,196	-0,020	-0,023

K
ao

osnova za tumačenje rezultata koji su dobijeni primenom PCA korišćena je Matrica težinskih koeficijenata za sve tri komponente koja je predstavljena u Tabeli 3. Ova matrica definiše jedinstvene doprinose svake promenljive prilikom proračuna vrednosti svake komponente. Težinski koeficijenti definišu zavisnost između promenljive i same komponente bez obzira na predznak koeficijenta.

Prva komponenta sastoji se od pokazatelja: Efikasnost vozne usluge, Kvalitet železničke mreže, Efikasnost carinskih usluga, Indeks *Doing Business*, Globalni indeks konkurentnosti, Globalni indeks inovacija. Kako navedeni pokazatelji mere produktivnost, efikasnost i uspešnost jedne države u različitim aspektima, ova komponenta je nazvana „Sistemska pokazatelji efikasnosti“.

BDP, javni dug, dužina železničkih mreža i tonski kilometri svrstani su u drugu komponenti. Na osnovu rezultata potvrđena je visoka korelacija između nivoa BDP-a i ostvarenih tonskih kilometara. Interesatna je pozitivna korelacija između javnog duga i iznosa BDP. Dužina železničkih pruga je povezana i sa makroekonomskim pokazateljima, imajući u vidu da svaka „bogata“ država ima veliku dužinu železničke mreže. Pored toga, imajući u vidu da je prevoz robe izražen u tonskim kilometrima, postoji logična povezanost između ova dva pokazatelja sa dužinom železničkih pruga. Druga komponenta je nazvana „Prevoz robe i makroekonomski pokazatelji“.

Najveća korelacija je između promenljivih koji se odnose na ukupan broj stanovnika i obim prevoza putnika u okviru komponente 3. Samim tim, komponentu tri možemo da koristimo kao predstavnika ove dve promenljive sa nazivom „Prevoz putnika“.

6. ZAKLJUČAK

Analiziranje povezanosti učinka železničkih sistema i ostalih spoljnih faktora zahteva primenu metoda koje mogu da obuhvate različite vrste pokazatelja. U ovom radu predstavljena je baza podataka sa trinaest pokazatelja za sto država sveta na koju je primenjena PCA metoda. Primena ove metode omogućila je detaljnije razumevanje železničkih sistema posmatranih država.

Glavni doprinos ovog rada odnosi se na utvrđivanje pokretača pokazatelja učinka železničkih sistema. U kontekstu ovog rada, glavne determinante realizovanih tonskih kilometara predstavljaju dužina železničke mreže, BDP i javni dug. Za putničke kilometre glavna determinanta odnosi se na broj stanovnika.

Pored toga, ovom metodom izvršena je redukcija podataka i kreirana je struktura kojom su pokazatelji grupisani u tri komponente. Prva komponenta nazvana je „Sistemski pokazatelji efikasnosti“ kojom su obuhvaćeni pokazatelji koji opisuju uspešnost različitih oblasti jedne države. Druga komponenta odnosi se na „Prevoz robe i makroekonomski pokazatelji“ kojom je utvrđena zavisnost između učinka železničkog saobraćaja u prevozu robe i glavnih ekonomskih pokazatelja. Treća komponenta obuhvata putničke kilometre i ukupan broj stanovnika i nazvana je „Prevoz putnika“.

Buduća istraživanja biće proširena primenom neke od klaster metoda radi grupisanja država na osnovu njihovih karakteristika i biće sprovedena dalja analiza učinka železničkog sistema.

LITERATURA

- [1] Abdi, H. & Williams, L.J. (2010), Principal component analysis, *WIREs Comp Stat*, 2: 433-459.
- [2] Badalyan, G., Herzfeld, T. & Rajcaniova, M. (2014). Transport infrastructure and economic growth: Panel data approach for Armenia, Georgia and Turkey. Budapest, Hungary
- [3] Bro, R., & Smilde, A.K. (2014), Principal component analysis, *Analytical Methods* no. 6 (9): 2812-2831
- [4] Cattell, R.B. (1966), The Scree Test For The Number Of Factors, *Multivariate Behavioral Research*, 1:2, 245-276.
- [5] Jolliffe, I.T. (1986), Principal Component Analysis and Factor Analysis, In: *Principal Component Analysis*, Springer, New York, 115-128.
- [6] Jolliffe IT (2002), *Principal component analysis*, 2nd edn. Springer, New York.
- [7] Jolliffe IT, & Cadima J. (2016), Principal component analysis: a review and recent developments, *Phil. Trans. R. Soc. A*.
- [8] Kaiser, H.F. (1961), A note on Guttman's lower bound for the number of common factors, *British Journal of Statistical Psychology*, 14: 1-2.
- [9] Kovačić Z. (1998), *Multivarijaciona analiza*, Ekonomski fakultet, Beograd.
- [10] Pavlyuk, D., (2008) Efficiency analysis of European countries railways. MPRA Paper.
- [11] Pradhab, R. & Bagchi, T., (2012). Effect of transportation infrastructure on economic growth in India: The VECM Approach. *Research in Transportation Economics*, pp. 139-149.
- [12] Sun, J. et al., (2018). Study on the Relationship between Land Transport and Economic Growth in Xinjiang. *Sustianability*, pp. 1-17.
- [13] Tong, T. & Yu, T. E., (2018). Transportation and economic growth in China: A heterogeneous panel cointegration and causality analysis. *Journal of Transport Geography*, Volume 73, pp. 120-130.
- [14] Wardman, M., (2002). Demand for rail travel and the effects of external factors. *Transportation Research Part E*, pp. 129-148.



ANALIZA OPERATIVNE EFIKASNOSTI AERODROMA SA DVE POLETNO-SLETNE STAZE

THE OPERATIONAL EFFICIENCY ANALYSIS OF AIRPORTS WITH TWO-RUNWAY SYSTEM

DOROTEJA TIMOTIĆ¹, BOJANA MIRKOVIĆ¹, GORDANA SAVIĆ²

¹ Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, d.timotic; b.mirkovic@sf.bg.ac.rs

² Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, Beograd, gordana.savic@fon.bg.ac.rs

Režime: U ovom radu je analizirana operativna efikasnost aerodroma sa dve poletno-sletne staze primenom DEA metode. Urađen je detaljan pregled literature sa ciljem identifikovanja ulaznih i izlaznih parametara. Pored nekoliko često korišćenih, predloženi su i neki novi parametri koji prethodne studije nisu koristile. Za analizu je predložena dvofazna DEA, gde se u prvoj fazi poredi odnos infrastrukturnih ulaganja i kapaciteta koji je ponuđen takvom infrastrukturom, dok se u drugoj fazi poredi odnos ponuđenog i iskorišćenog kapaciteta. Ovaj rad predstavlja prvi korak u detaljnijoj analizi operativne efikasnosti aerodroma sa sličnom infrastrukturom, koja ima za cilj da pokaže uticaj konfiguracije poletno-sletnih staza na efikasnost aerodroma.

Cljučne reči: aerodromi, operativna efikasnost, DEA

Abstract: The operational efficiency of two-runway airports is analysed in this paper using DEA method. First of all, a detailed literature review is performed to identify suitable inputs and outputs. Apart from a few commonly used, new parameters that were not used in previous studies are introduced into the analysis. Two-phase DEA is proposed. In the first phase infrastructure investment is compared to available capacity, while the second phase compares available to utilised capacity. This paper is just the first step in the more detailed analysis of two-runway airport operational efficiency, aiming to determine the impact of runway configurations to overall airport efficiency.

Keywords: airports, operational efficiency, DEA

1. INTRODUCTION

Performance measurement refers to measuring efficiency from a financial and an operational perspective and may be characterized as a critical management activity (Humphreys and Francis, 2002). There are two possible ways to compare performance: internal benchmarking by comparing the airport's performance metrics results over time, and, external benchmarking by comparing the performance of an airport with another (ACRP Research Report 190, 2018). Generally, the external benchmarking is more complex process because it requires more data (which are often of limited availability) from all subjects compared. Also, the selection of most appropriate candidates to compare to, is not an easy task and requires special attention in order to get reliable results. In practice, benchmarking is continuously used by organizations to compare and measure their own business in relation to other organizations. This provides new knowledge that is applied in order to increase efficiency. Products and services, business processes, technical solutions, strategy can be compared.

The purpose of this paper is to examine the airport efficiency focusing on operational efficiency, involving airside infrastructure and available airport capacity. The idea is to explore if the final product of airports (passengers and movements) can be improved for a given infrastructure and available capacity. The goal is to rank airports by efficiency and to discuss which of them could be further improved following the example of benchmark airports that are similar to them in terms of their characteristics. The technique used in this paper to assess the operational efficiency of 23 European airports is Data Envelopment Analysis (DEA). Note that the economic efficiency is not investigated in this research. The sample includes only airports with two runways (various configurations). Traffic data used is for year 2018.

Firstly, literature review is presented in Section 2 focusing on previous work on airport operational efficiency analysis using DEA. Then, methodology used for airport operational efficiency analysis is

presented in Section 3, followed by data preparation and results. In the last section, conclusions and directions for future work are listed.

2. LITERATURE REVIEW

Many studies highlight the DEA method as one of the most convenient methods in airport efficiency analysis. The brief review of multiple inputs and outputs data used in previous researches is presented in Table 1.

Table 1: Brief review of previously used inputs and outputs

Paper	Objective	Inputs	Outputs
Gillen (1997)	Measurement of airport performance of 21 airports in the United States	terminal operations: number of runways, number of gates, terminal surface, number of employees, number of baggage collection belts and number of public parking spots; airside operations: airport area, number of runways, runway area and number of employees	terminal area: number of passengers and pounds of cargo; airside operations: air carrier movements and commuter movements
Bazargan and Vasigh (2003)	The productivity analysis of 45 US commercial airport	operating expenses, non-operating expenses, number of runways and number of gates	number of passengers, number of air carrier operations, number of other operations, aeronautical revenue, non-aeronautical revenue and percentage of on time operations
Yoshida and Fujimoto (2004)	The inefficiency of public investment performing based on the analysis of 67 Japanese airports through data obtained for year of 2000	total length of runway, number of gates, terminal area, number of employees, number of baggage, collection belts, number of public parking spots, airport area, runway area	passenger loading, cargo handling and aircraft movement
Curi et al. (2011)	Application of a bootstrapped DEA procedure to estimate technical efficiency of 18 Italian airports during the period 2000-2004	employees, number of runways and apron size, airport area, labour cost and other cost	number of movements, number of passengers and amount of cargo, aeronautical and non-aeronautical revenues
Wanke (2012)	Observation of the shortcomings in terms of infrastructure and the possibility of its expansion	airport area, apron area, number of runways, total runway length and number of aircraft parking spaces	number of landings and take-offs, number of passengers and cargo throughput
Lin and Hong (2006)	Operational performance evaluation of 20 major airports worldwide	number of employees, number of check in counters, number of runways, number of parking spaces, number of baggage collection belts, number of aprons, number of boarding gages, terminal area	number of passengers, cargo movements

The vast majority of the above mentioned papers applied an output-oriented DEA model during the analysis, primarily due to the fact that the capital already invested in infrastructure and its construction simply cannot be neglected or the infrastructure already built can be repurposed.

3. METHODOLOGY

DEA is a non-parametric method that is the most frequently used method for evaluating the efficiency of different entities originally introduced by Charnes, Cooper, & Rhodes in 1978. DEA measures relative efficiencies or performances of peer decision-making units (DMUs) using linear programming. The performance or efficiency of a DMU is expressed in terms of a set of measures that are classified as DEA inputs and outputs (Cook and Zhu, 2014). Based on the data of inputs and outputs, DEA method assesses whether a unit to be decided is efficient or not in relation to the remaining units included in the analysis, or whether it is at the efficiency limit. DEA firstly provides an efficiency score between 0 and 1 for each DMUs. The efficiency score is determined by computing the ratio of total weighted outputs to total weighted inputs for it (Savic, 2016). DEA application can be classified as input-oriented or output-oriented model. Input-oriented model minimize the inputs for desired level of output to be achieved, while the output-oriented model maximize the outputs while input kept a constant level (Rajasekar and Malabika Dea, 2014). Both of the mentioned models aims to maximize the outputs minimize the inputs and maximize the efficiency. Apart from previously mentioned, it is important to distinguish whether constant returns to scale (CRS) or variable returns to scale (VRS) are assumed (Merkeret and Assaf, 2015). The mathematical formulation of CRS model (Charnes et al, 1978) can be expressed as follows:

$$(\text{Max})h_k = \frac{\sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ik}}, \quad (1)$$

subject to:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ik}} \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Here the y_{rj} , x_{ij} (all positive) are the known outputs and inputs of the j th DMU and the $u_r, v_i \geq 0$ [$(r=1, \dots, s)$; $(i=1, \dots, m)$] are the variable weights to be determined by the solution of the problem. The relative efficiency of h_k for DMU is defined as the ratio of the weight sum of its outputs and the weight sum of its inputs, as shown in the mathematical formulation (1). The CCR model calculates the overall technical efficiency, which includes pure technical efficiency and volume efficiency. The model strives to maximize the value of h_k so that each unit assigns a value to the control variables u_r and v_i such as to present it in the best possible manner. It is assumed the constant yield on the volume that may be explained as the increase in the value of engaged inputs results in a proportional increase in the realized output levels (Savić, 2016). The efficiency limit given by CCR models is in the form of a convex cone. If the value of h_k is equal to 1, then the k -th DMU_k is relatively efficient, and if the h_k is less than 1, then the DMU_k is relatively inefficient and the value of h_k represents how much this unit needs to reduce its inputs to become efficient.

An output-oriented model was applied in this analysis. The analysis was deployed in two phases applying CRS DEA model using DEA-solver-LV version 8.0. In order to increase efficiency, the given airport infrastructure (that does not have the option of reduction) was used as a main input. Therefore, the idea was to maximize the output with the existing input, while the unit becomes more efficient by increasing the output. DMU_k is relatively inefficient if it is possible to increase any output without increasing any input and decreasing other outputs. (Savić, 2016).

4. DATA AND RESULTS

As mentioned earlier, the aim of this paper is to evaluate the operational efficiency of the airport by fixing the inputs (airport infrastructure). Therefore, the main airport selection criterion for the given analysis primarily referred to the runway configuration. Initially, the analysis included 23 airports from the European continent with the same runway configuration of two parallel runways (closely spaced or independent) or crossed runways (include both V and X configurations). However, two airports (LIML and LIME) are excluded from the analysis due to width of one of the runways (less than 30m) which implies that such runways cannot be used for commercial operations. All airports are international with traffic ranging from 20 thousand to 500 thousand operations and between 2 million and 80 million passengers per year. The list of airports included in analysis is listed in Table 2.

Table 2: The list of airports initially included in the analysis

Parallel runway configuration (n=12)	Crossed runway configuration (n=11)
Athens Airport (LGAV)	Basel-Mulhouse Airport (LFSB)
Budapest Airport (LHBP)	Bergamo Orio al Serio Airport (LIME)
Nice Côte d'Azur Airport (LFMN)	Bilbao Airport (LEBB)
Dusseldorf Airport (EDDL)	Cork Airport (EICK)
Heatrow (EGLL)	Dublin Airport (EIDW)
Milan Linate Airport (LIML)	Hamburg Airport (EDDH)
Milan Malpensa Airport (LIMC)	Heydar Aliyev Intl. Airport (UBBB)
Manchester Airport (EGCC)	Lisbon International Airport (LPPT)
Munich Airport (EDDM)	Malaga Airport (LEMG)
Oslo Gardermoen Airport (ENGM)	Okecie Warsaw Frederic Chopin Airport (EPWA)
Palma de Mallorca (LEPA)	Vienna International Airport (LOWW).
Tegel Airport (EDDT)	

4.1. Inputs and outputs

The airport efficiency evaluation is performed in two phases. In the *first phase* relative efficiency (E_k^1) of airports' ability to convert infrastructure investments into available capacity was analysed. The selected inputs were the runway surface in total (I_1), the number of aircraft stands (AS) (I_2) and the number of runway exits (E) (I_3). The dimensions of the runway (its length and width) are the main characteristic when considering the possibility of aircraft landing at an airport. The runway dimensions affect the types of aircraft that can use the runway land and take-off, safety margins, construction costs, maintenance etc. Therefore, the total runway surface area was used in the analysis. The runway dimension indirectly affects airport' capacity. Longer runways allow larger aircraft and larger aircraft are associated to larger safety margins in the air

(longer distance separation in trail due to wake vortex), which leads to lower runway throughput. Further, the number of exits have a significant impact on the runway occupancy time and thus on the runway capacity. The number of available exits and their location is an important factor whether the aircraft will leave the runway earlier after landing or the aircraft will shorten the take-off length and speed up the procedure and release it for the next operation (Clemmer, 2018). Conversely, if the airport does not have mature taxiway infrastructure (parallel taxiway and appropriate number and location of runway exits), the time separation required for take-off and landing operations can be significantly extended. The number of aircraft stands on the apron is another important factor that affects airport capacity. Apron area determines airport capacity to handle aircraft turnaround while runway system is related to take-off and landing capacity. The aircraft stands used in this paper were only in case of passenger's traffic. The outputs selected for the first phase are declared runway capacity (O_1) and terminal capacity (O_2). Declared capacity is defined as “the number of aircraft movements per hour that an airport can accommodate at a reasonable level-of-service” (de Neufville and Odoni, 2013). The second output, terminal capacity is defined as *an annual number of passengers for which the terminal is designed*.

On the other hand, those outputs were used as inputs in the *second phase* of DEA analysis where relative efficiency (E_k^2) of airports' ability to utilize available capacity was analysed. The second phase outputs were number of aircraft movements (O'_1) and number of passengers (O'_2). Those outputs are the results of the given infrastructure and airport capacity and can reflect the volume of airside operations and the actual use of airport infrastructure. Furthermore, all airports are characterised by its configuration (parallel or crossed runways). Independent parallel runways (runway axes separation more than 1035m) are favourable in terms of runway capacity. Closely spaced parallel runways are associated to somewhat lower capacity as such configuration does not allow independent simultaneous operations. To assure safe operations (impact of cross-wind primarily), some airports may need to adopt V or X configurations which offer lower capacity than independent parallel runways.

Finally, overall operational efficiency ($E_k = E_k^1 * E_k^2$) is calculated as product of the efficiency scores obtained in the first and second phase. Therefore, an airport is operationally efficiency if and only if it is efficient in the both phases. The assumption is that there is no possibility to compensate inefficiency in one of the phases in the analysis.

The primary data source used in this work is a European AIS Database (EAD), a centralized reference database that contains aeronautical information formed up-to-date from the ECAC area. In this study, information related to airports airside infrastructure is mostly retrieved and download from EAD public AIP library. The most of capacity data were collected through EUROCONTROL Airport Corner database. The data in this database are reported directly by airports. For data that were not available on the aforementioned site, data directly from national slot coordination sites (e.g. Oslo Airport) were used. The information related to the number of aircraft movements and passengers were retrieved mainly from the airport statistics data from corresponding airport sites. Traffic data for year 2018 were used.

4.2. Results of Data Envelopment Analysis operational efficiency analysis

The output-oriented CCR DEA method was performed into two phases. The idea was first to examine the operational efficiency of the airport through capacity production for a given infrastructure, and then to assess the efficiency of the airport for a given capacity based on productivity measures expressed through passengers and operations. Note that in this analysis, the runway configurations were not separated, but both parallel and crossed runways were analysed together.

Table 3 shows the results obtained through the CCR DEA model, showing the efficiency and ranking in two passes (green: efficient airports; red: less efficient or inefficient airports). Based on efficiency scores, there are five efficient airports, while the 16 of them are inefficient in the 1st phase of analysis. The average technical efficiency of compared airports is 79%. EGLL (Heathrow), EDDM (Munich), ENGM (Oslo), LEPA (Palma de Mallorca) and EDDT (Berlin Tegel) are superior to other airports with efficiency scores equal to one. It appears that the most efficient airports are those with a parallel runway configuration. An important feature of such a runway configuration is the ability to perform simultaneous take-off and landing operations, which can greatly affect runway capacity and aerodrome flexibility. In comparison to crossed runways, it means higher capacity under similar capital investment (runway area). EGLL airport is the largest airport in respect to airside infrastructure (230AS, 33E) but with correspondingly high-declared capacity (88 m/h) and terminal capacity (93 million passengers). EDDM, ENGM and LEPA airports have similar runway configuration with two independent parallel runways and high-declared capacities (90, 80 and 66 ops/h respectively), somewhat smaller apron areas than EGLL, but also smaller terminal capacity associated to it. EDDT airport has closely spaced parallel runways and due to that somewhat smaller capacity

that other four efficient airports, but on the other hand significant terminal capacity associated to very small apron area (only 66 AS).

Table 3: Efficiency for the first and second phases with addition of combines the ranks

DMU	E (I phase)	R	DMU	E (II phase)	R	DMU	Combine the rank
LGAV	0,5764	19	LGAV	0,9665	8	LGAV	0,5571 15
LFSB	0,6529	17	LFSB	0,7569	16	LFSB	0,4942 16
LEBB	0,5292	20	LEBB	0,8502	14	LEBB	0,4499 19
LHBP	0,972	6	LHBP	0,7481	17	LHBP	0,7272 8
EICK	0,9438	7	EICK	0,7323	18	EICK	0,6911 12
LFMN	0,7322	13	LFMN	1	1	LFMN	0,7322 7
EIDW	0,7574	12	EIDW	0,9136	11	EIDW	0,6920 11
EDDL	0,7066	14	EDDL	0,9944	7	EDDL	0,7026 10
EDDH	0,6173	18	EDDH	1	1	EDDH	0,6173 14
EGLL	1	1	EGLL	1	1	EGLL	1,0000 1
UBBB	0,9067	8	UBBB	0,3927	21	UBBB	0,3561 21
LPPT	0,902	9	LPPT	1	1	LPPT	0,9020 4
LEMG	0,6584	15	LEMG	0,6244	19	LEMG	0,4111 20
LIMC	0,7704	11	LIMC	0,6054	20	LIMC	0,4664 18
EGCC	0,6577	16	EGCC	1	1	EGCC	0,6577 13
EDDM	1	1	EDDM	0,9289	10	EDDM	0,9289 3
EPWA	0,4836	21	EPWA	1	1	EPWA	0,4836 17
ENGM	1	1	ENGM	0,853	13	ENGM	0,8530 5
LEPA	1	1	LEPA	0,7645	15	LEPA	0,7645 6
EDDT	1	1	EDDT	0,9299	9	EDDT	0,9299 2
LOWW	0,8102	10	LOWW	0,8748	12	LOWW	0,7088 9

Note: E: efficiency score; R: rank.

Three out of four least efficient airports have crossed runways, and one is, unexpectedly, with independent parallel runways. EPWA and EDDH have expected declared capacity for crossed runways (42 ops/h and 48 ops/h respectively) but significant disproportion between apron area and terminal capacity. On the other hand LEBB airport, also with crossed runways, has very low declared capacity of only 22 ops/h as well as somewhat larger apron area than available terminal capacity. LGAV is the airport with the airside infrastructure similar as EDDM airport, but with a very low declared capacity (44 ops/h) and with low terminal capacity relative to apron size.

The second phase compares the number of aircraft movements and the number of passengers relative to declared capacity and terminal capacity. It resulted in six efficient and fifteen inefficient airports. The average technical efficiency score in this phase is 85%. For the given capacity (declared and terminal capacity), the most efficient airports in terms of the number of passengers and the number of movements in 2018 are LFMN (Nice), EDDH (Hamburg), EGLL (Heathrow), LPPT (Lisbon), EGCC (Manchester) and EPWA (Warsaw) airports with 100% efficiency. All those airports have a very high utilization of available capacities. All except EPWA have annual passengers to terminal capacity ratio slightly above one, which means they operate on the upper saturation limit. The interesting result is that EPWA and EDDH airports are inefficient in the 1st phase, but in the 2nd phase, they resulted as efficient, mainly because of large number of annual movements relative to declared runway capacity.

The least efficient airport is UBBB due to twice the number of passengers than the capacity of the terminal, also with very low utilization of runway capacity (34 thousand ops/year vs. over 200 thousand ops/year at LPPT with same runway capacity). LIMC airport has similar number of operations as EPWA, LPPT, EGCC, but almost double declared capacity than those airports. In addition to that it has the second least underutilized terminal capacity of all airports (after UBBB). LEMG airport has similar utilization of terminal capacity as LIMC, as well as runway capacity in comparison to eg. EIDW and EDDL or LGAV (with 60-70% more traffic), but it is important to note that this may happen with seasonal airports when annual traffic is used for comparison (the capacity is designed for summer season and it is usually highly underutilized in winter periods). Another inefficient airport is EICK airport primarily due to very small number of aircraft movements (only 23 thousand ops/year). LEBB has similar declared runway capacity but double that traffic.

In order to determine which airport is the most efficient for both phases together, i.e. which airport has the highest operational efficiency in terms of outputs produced based on the given infrastructure; an analysis made of combination of the first and second phases was performed. According to combined scores (see

Table 3), the most efficient airport, as expected, is Heathrow (EGLL). The least efficient airport is Baku (UBBB) with the 36% of efficiency. If all the characteristics used in the analysis are considered, such a result is expected. Heathrow is the leader in terms of capacity and the number of passengers and aircraft movements for a given infrastructure and it resulted as the most efficient airport in both of phases, while Baku records the smallest number of passengers and aircraft movements and it was on 8th place in the 1st phase and the last in the second phase.

5. CONCLUSION

This paper is just the first step in more detailed analysis of two-runway airport operational efficiency, aiming to determine impact of runway configurations to overall airport efficiency. The goal was to rank airports by efficiency and to discuss which of them could be further improved following the example of most airports that are similar to them in terms of their characteristics. Further step involves analysing the operational efficiency specifically for parallel and crossed runway configurations to evaluate the airport operational efficiency for each of the analysed configuration types. The analysis can be performed for 2019 and 2020 years in order to compare with the previously obtained results and evaluate the possible progress of the airport. For a more detailed analysis of the data a relational model for a given research question can be made in order to combine 1st and 2nd phase into new separate model. Such results could help decision makers to make such decisions to improve airports operational performing and to progress more in aviation system.

REFERENCES

- [1] Airport Cooperative Research Programme (2018). Report 190: Common Performance Metrics for Airport Infrastructure and Operational Planning, Transportation Research Board, Washington, U.S.
- [2] Bazargan, M., & Vasigh, B. (2003). Size versus efficiency: a case study of US commercial airports. *Journal of Air Transport Management*, 9(3), 187-193.
- [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] Clemmer, C. B. (2018). Determining the Location of Runway Exits Using Airport Surface Detection Equipment.
- [5] Cook, W. D., & Zhu, J. (Eds.). (2014). *Data envelopment analysis: A handbook of modeling internal structure and network* (Vol. 208). Springer.
- [6] Curi C., Gitto S., Mancuso P. New evidence on the efficiency of Italian airports: A bootstrapped DEA analysis, *Socio-Economic Planning Sciences*, vol 45, pp. 84-93, 2011..
- [7] De Nufville R. and Odoni A.R. (2013) *Airport Systems Planning, Design and Management*, 2nd Ed. McGraw Hill, New York, U.S.
- [8] Gillen, D., & Lall, A. (1997). Developing measures of airport productivity and performance: an application of data envelopment analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 33(4), 261-273.
- [9] Humphreys, I., & Francis, G. (2002). Performance measurement: a review of airports. *International journal of transport management*, 1(2), 79-85.
- [10] Lin, L. C., & Hong, C. H. (2006). Operational performance evaluation of international major airports: An application of data envelopment analysis. *Journal of Air Transport Management*, 12(6), 342-351.
- [11] Merkert, R., & Assaf, A. G. (2015). Using DEA models to jointly estimate service quality perception and profitability—Evidence from international airports. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 75, 42-50.
- [12] Rajasekar, T., & Deo, M. (2014). Is there any efficiency difference between input and output oriented DEA Models: An approach to major ports in India. *Journal of Business and Economic Policy*, 1(2), 18-28.
- [13] Savić, G. 'Analiza obavijanja podataka', Merenje efikasnosti, 2012; website: www.laboi.fon.bg.ac.rs
- [14] Wanke, P. F. (2012). Capacity shortfall and efficiency determinants in Brazilian airports: Evidence from bootstrapped DEA estimates. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(3), 216-229.
- [15] Yoshida, Y., & Fujimoto, H. (2004). Japanese-airport benchmarking with the DEA and endogenous-weight TFP methods: testing the criticism of overinvestment in Japanese regional airports. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 40(6), 533-546.



KLASIFIKACIJA SAOBRAČAJNIH ZNAKOVA PRIMENOM KONVOLUCIONI NEURONSKIH MREŽA

TRAFFIC SIGNS CLASSIFICATION USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

SRETEN JEVREMOVIĆ¹, MILICA ŠELMIĆ², ANA TRPKOVIĆ¹

¹ Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, s.jevremovic@sf.bg.ac.rs

² Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, m.selmic@sf.bg.ac.rs

³ Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, a.trpkovic@sf.bg.ac.rs

Rezime: *Primena veštačkih neuronskih mreža je doživela svoju ekspanziju sa razvojem i unapređenjem računarske tehnologije, čime se pojednostavilo prikupljanje i obrada velikog broja podataka. Danas se neuronske mreže aktivno primenjuju u različitim sferama, poput medicine, farmacije, saobraćaja, marketinga, bezbednosti, bankarstva itd. Osnovna prednost neuronskih mreža je u njihovoj mogućnosti da klasifikuju, sistematizuju i prepoznaju određene elemente, oblike, dimenzije i sl. Shodno tome ovi algoritmi obično se koriste za klasifikaciju i prepoznavanje rukopisa, teksta, obradu govora, predviđanje protoka, broja nezgoda, buke, očitavanje registarskih tablica itd. Sa razvojem i implementacijom autonomnih vozila, značajno su se izmenili i zahtevi koji se ispostavljaju ka infrastrukturi, vozilima, a posebno ka saobraćajnoj signalizaciji. Imajući u vidu potrebu za automatskom detekcijom i prepoznavanjem saobraćajne signalizacije, u upotrebi su algoritmi koji pripadaju grupi konvolucionih neuronskih mreža (eng. Convolutional Neural Networks - CNN). U ovom radu prikazani su rezultati treniranja, validiranja i testiranja modela zasnovanog na CNN, izrađenog za potrebe detekcije i klasifikacije saobraćajnih znakova, na teritoriji Republike Srbije.*

Ključne reči: *Konvolucione neuronske mreže, saobraćajna signalizacija, detekcija, klasifikacija*

Abstract: *The application of artificial neural networks, has experienced its expansion with the advancement and IT technology development, which simplified the collection and processing of large amounts of data. Today, neural networks are actively used in various fields such as: medicine, pharmacy, transportation, marketing, security, banking, etc. The basic benefit of neural networks is their ability to classify, systematize and recognize certain elements, shapes, dimensions, etc. Accordingly, these algorithms are commonly used to classify and recognize handwriting, text, speech processing, flow prediction, prediction of traffic crashes, noise, license plate recognition etc. With the development and implementation of autonomous vehicles, the requirements for infrastructure, vehicles, and especially for traffic signalization have changed significantly. Given the need for automatic detection and recognition of traffic signs, algorithms belonging to the group of convolutional neural networks (CNN) are widely in use. This paper presents the results of training, validation and testing of the model based on CNN, developed for the needs of detection and classification of traffic signs, on the territory of the Republic of Serbia.*

Keywords: *Convolutional Neural Networks, traffic signalization, detection, classification*

1. UVOD

Mnogi današnji uređaji i sistemi razvijani su sa ciljem pružanja pomoći i olakšavanja svakodnevnih čovekovih poslova i radnji. Primer su prevozna sredstva, radne mašine, radio uređaji i sl. Različita tehnološka dostignuća omogućila su primenu sofisticiranijih elemenata i alata koji su iz korena promenili čovekov život. Glavni predstavnik pomenutih tehnologija je računar, koji je umnogome ubrzao, olakšao i pojednostavio mnoge radnje koje su do tada zahtevale značajne vremenske resurse. Između ostalog, jedan od ciljeva izrade računara bio je osposobiti ih za samostalno odlučivanje, generalizaciju i učenje na osnovu sopstvenog iskustva, što je jedna od najvažnijih i najkompleksnijih osobnosti čoveka. Značajan pomak i korak napred, u tom smislu, doveo je do razvoja veštačkih neuronskih mreža. Neuronske mreže predstavljaju veoma pojednostavljenu neuronsku strukturu čovekovog mozga (Anderson and McNeill, 1992).

Osnovna karakteristika neuronskih mreža je u njihovoj mogućnosti da klasifikuju, sistematizuju i prepoznaju određene elemente, oblike, dimenzije i sl. Velike mogućnosti pomenutih struktura uslovile su

široku primenu neuronskih mreža u različitim sferama života. Tako se one često koriste za obradu i prepoznavanje govora (Zia and Zahid, 2019), rukopisa, određenih slova, delova pisanog teksta, formatiranje teksta, odgovaranje na pitanja i sl. (Baldominos *et al.*, 2018).

Značajnu primenu neuronske mreže pronašle su i u oblasti saobraćaja. Prvi algoritmi ovog tipa primenjivani su za predviđanje parametara saobraćajnog toka: protoka, brzine vozila i sl. (Mrowicki *et al.*, 2020). Posebna grupa algoritama primenjuje se za predviđanje broja saobraćajnih nezgoda, tipova nezgoda, njihovih posledica (Ali and Tayfour, 2012), predviđanje karakteristika zagušenja, buke vozila, emisije štetnih gasova, smanjenja mobilnosti, troškova korisnika i sl. (Nourani *et al.*, 2020).

Važna prekretnica u razvoju i primeni neuronskih mreža imala je proizvodnja i implementacija autonomnih vozila. Različite strukture neuronskih mreža, među kojima su najpopularnije konvolucione neuronske mreže (dalje u tekstu CNN), najčešće se primenjuju za klasifikaciju i prepoznavanje slika, oblika, lica, saobraćajne signalizacije, opreme, drugih učesnika u saobraćaju i sl. (Santana and Hotz, 2016), upravo za potrebe implementacije autonomnih vozila.

Osnovni cilj i ideja ovog rada zasnivaju se upravo na izradi i testiranju CNN algoritma za prepoznavanje saobraćajne signalizacije, koji će biti konkurentan postojećim algoritmima, izrađenim u ove svrhe. Sekundarni cilj ovog rada obuhvata izradu algoritma, koji će sa stepenom preciznosti od najmanje 90%, moći da prepozna i klasifikuje prikazanu saobraćajnu signalizaciju.

Rad je koncipiran kroz 6 poglavlja: prvo uvodno poglavlje obuhvata i kraći literarni pregled, drugo poglavlje u kome je opisana metodologija rada, dok treće, četvrto i peto poglavlje predstavljaju delove u kojima je objašnjena struktura algoritma, definisani primenjeni hiperparametri, njihove vrednosti i način modifikovanja algoritma. Dodatno, opisan je način treniranja, validiranja i testiranja, kao i rezultati dobijeni ovim modelom. Na kraju rada data su zaključna razmatranja sa predlogom budućih istraživanja.

2. METODOLOGIJA RADA

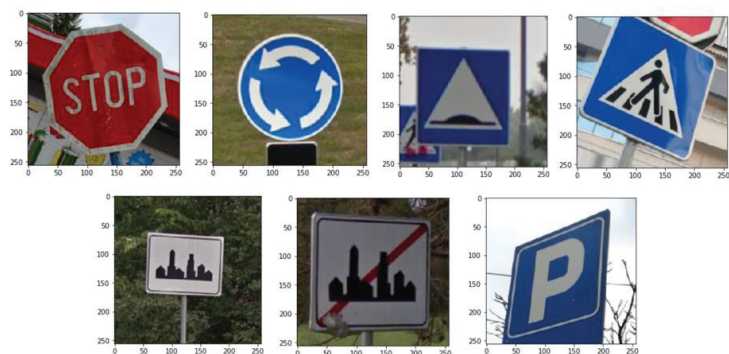
Postojeća regulativa u Republici Srbiji obuhvata ukupno 285 osnovnih klasa saobraćajnih znakova, kojima se korisnicima pružaju informacije o zabranama, ograničenjima, opasnostima, daju dodatna obaveštenja i sl. Svaki od ovih znakova karakterističan je po svojim dimenzijama, obliku, kodu boja, pismu odnosno natpisima i vrsti upotrebljenog piktograma. Baza saobraćajnih znakova, korišćena u ovom istraživanju, formirana je tako da obuhvati upravo one znakove koji se mogu koristiti kao predstavnici znakova različitog koda boja, oblika, natpisa, piktograma i sl. Specifičnost u tom smislu predstavlja znak II-2, koji ima oblik pravilnog osmougla, poseban kod boja (crvena, bela) i drugačije dimenzije od ostalih znakova. Saobraćajni znak II-45.2 izabran je kao karakterističan predstavnik znakova kružnog oblika i jedinstvenog koda boja (plava, bela), sa standardnim dimenzijama koje se primenjuju u naseljima. Znakovi III-4, III-5 i III-30, predstavljaju karakteristične znakove kvadratnog oblika, sa kodom boja (bela, plava i crna), piktogramima i dimenzijama karakterističnim za ovu grupu znakova. Na kraju, znakovi III-24 i III-24.1 izabrani su kao predstavnici znakova pravougaonog oblika, standardizovanih dimenzija i posebnim kodom boja (bela, crna, crvena) za ovu grupu znakova. Važno je napomenuti da su znakovi, korišćeni u ovom istraživanju, birani i prema zastupljenosti na saobraćajnoj mreži Republike Srbije.

Potrebni podaci i fotodokumentacija, za potrebe ovog rada, prikupljeni su terenskim istraživanjem i primenom google maps i street view servisa za mapiranje. Formirana baza, sadrži sedam klasa znakova, koji se standardno primenjuju na teritoriji Republike Srbije, prema Pravilniku o saobraćajnoj signalizaciji i to:

- Saobraćajni znak II-2, „obavezno zaustavljanje“, u radu označavan kao „stop“,
- Saobraćajni znak II-45.2, „kružni tok saobraćaja“, u radu označavan kao „kružni tok“,
- Saobraćajni znak III-4, „prepreka za usporavanje saobraćaja“, u radu označavan kao „prepreka za usporavanje“,
- Saobraćajni znak III-5, „pešački prelaz“, u radu označavan kao „pešački prelaz“,
- Saobraćajni znak III-24, „naselje“, u radu označavan kao „naselje“,
- Saobraćajni znak III-24.1, „završetak naselja“, u radu označavan kao „završetak naselja“ i
- Saobraćajni znak III-30, „parkiralište“, u radu označavan kao „parkiralište“.

Ukupan uzorak čini 2260 fotografija, koje su podeljene u tri grupe: podaci za treniranje, podaci za validaciju i test podaci, u procentualnom odnosu 70:15:15. Sve fotografije dimenzija su 256x256 piksela, kao što je prikazano na slici 1.

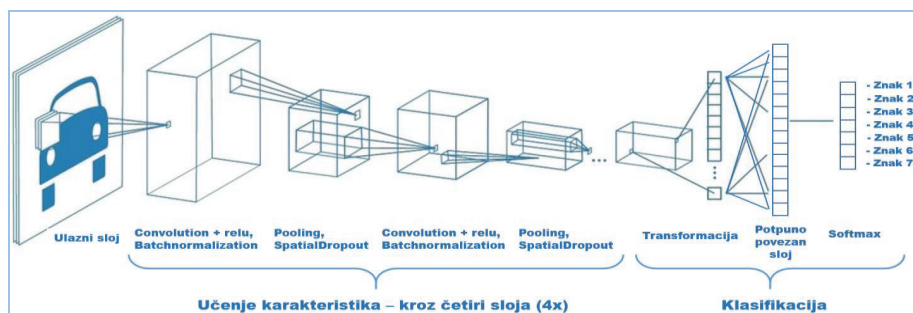
Izrada, treniranje, validacija i testiranje modela vršeno je na HP računaru sa NVIDIA GeForce MX130 (4GB DDR3) grafičkom karticom, Intel i5-8250U procesorom, 8GB RAM memorije i diskom 256GB PCIe NVMe M.2 SSD. Za potrebe ovog rada korišćeni su sledeći programski dodaci: „Keras Documentation“, „TensorFlow“ i „Jupyter notebook“.



Slika 1. Fotografije vrsta saobraćajnih znakova i njihove dimenzije

3. STRUKTURA ALGORITMA I PODEŠAVANJE HIPERPARAMETARA

Struktura modela izrađenog i prikazanog u ovom radu, sastoji se od dva karakteristična dela. Prvi deo obuhvata elemente u kojima se vrši učenje karakteristika ulaznih podataka, dok drugi deo obuhvata elemente koji vrše klasifikaciju fotografija, prema izabranim klasama saobraćajnih znakova. Na slici 2 prikazana je struktura izrađenog modela, dok je u nastavku detaljno opisan svaki njegov element.



Slika 2. Struktura mreže

Model se sastoji od četiri bazna konvoluciona sloja, nakon kojih sledi jedan potpuno povezan sloj od 14 neurona. U izlaznom sloju nalazi se sedam neurona, pri čemu je u ovom sloju primenjena Softmax aktivaciona funkcija. U svakom konvolucionom sloju, veličina filtera je 3×3 sa korakom 1, broj filtera u konvolucionim slojevima je redom (od prvog do poslednjeg) 32, 64, 128 i 256. Nakon svakog konvolucionog sloja vršena je normalizacija podataka u cilju poboljšavanja brzine konvergiranja modela i smanjenja ukupnog broja epoha potrebnih za treniranje (Zhu *et al.*, 2016). Nakon normalizacije korišćen je „Max pooling“ proces diskretizacije, sa veličinom filtera 2×2 i korakom 1. Na kraju svakog sloja, vršeno je isključivanje određenog broja mapa karakteristika („SpatialDropout“), kako bi se poboljšala generalizacija algoritma (Cai *et al.*, 2019). U prvom sloju isključeno je 25% mapa karakteristika, dok je u svim ostalim slojevima isključeno 20%.

Aktivaciona funkcija korišćena u svakom sloju modela (izuzev u izlaznom) je „ReLU – Rectified Linear Units“, koja pokazuje najbolje rezultate i najčešće se koristi za probleme prepoznavanja i klasifikacije ovakvog tipa (Alghmgham *et al.*, 2019). Za potrebe ovog rada iskorišćen je Adam (Adaptive Moment Estimation) optimizacioni algoritam, sa stopom učenja 0.0001. S obzirom na to, da je u izlaznom sloju primenjena Softmax aktivaciona funkcija, za izračunavanje gubitaka izabrana je „categorical-crossentropy“ funkcija.

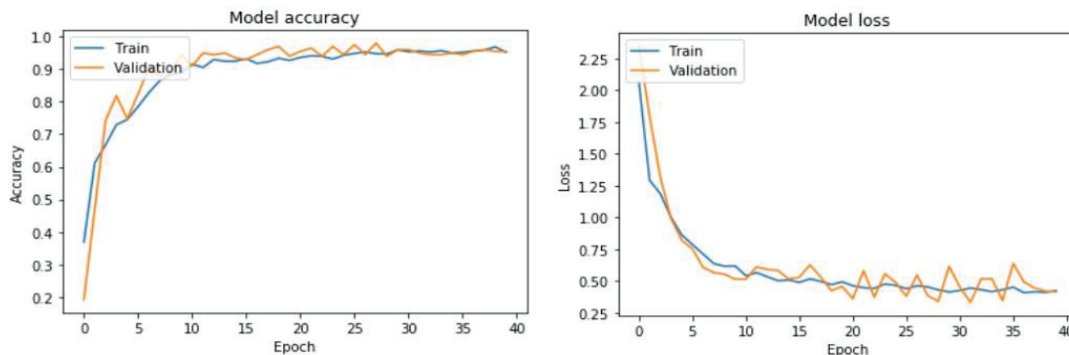
Ukupan broj parametara u mreži je 1 196 855, od kojih se 960 parametara ne trenira. Model je treniran i validiran kroz 40 epoha. Veći broj epoha nije uzet prevashodno zbog tehničkih ograničenja.

4. TRENIRANJE I VALIDACIJA MODELA

U fazama treniranja i validacije modela korišćeno je ukupno 1930 fotografija, od kojih je 1600 korišćeno u fazi treniranja, dok je na uzorku od 330 fotografija vršena validacija modela. Celokupan proces treniranja i validacije modela sproveden je odvojeno od test faze, na posebno definisanom uzorku. Na slici 3 prikazani su: preciznost modela (levo) i gubici modela (desno), tokom treniranja i validacije. Imajući u vidu da je za

izračunavanje gubitaka izabrana funkcija „categorical-crossentropy“, koja predstavlja meru sličnosti između raspodela verovatnoća, gubici su, u konkretnom slučaju, predstavljeni u funkciji stvarnih i predviđenih verovatnoća klasa (oznaka), tj. predstavljaju njihov ukupni odnos, prikazan po svakoj epohi pojedinačno.

Sa slike 3 (levo) može se uočiti da model dobro konvergira i da ne postoje neželjeni efekti treniranja i validiranja („overfitting“ ili „underfitting“), što bi se oslikalo kroz velike razmake plave i narandžaste linije. Preciznost modela na kraju 40-te epohe za treniranje je 95,2%, dok za validaciju preciznost iznosi 95,4%.



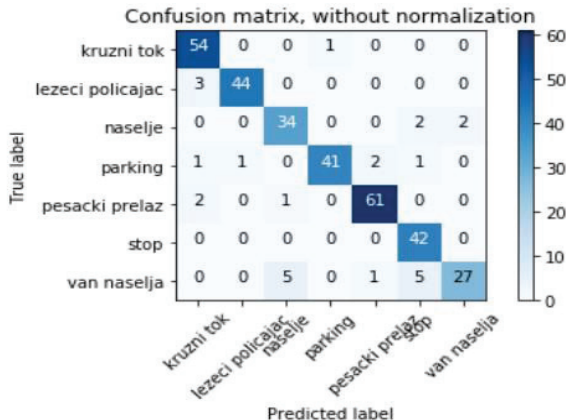
Slika 3. Preciznost modela (levo) i gubici (desno) tokom treniranja i validacije

Sa slike 3 (desno) uočava se jasno smanjenje gubitaka tokom treniranja i validiranja, što takođe potvrđuje dobro konvergiranje modela. Fluktuacije tokom validiranja modela, koje se mogu primetiti na slici su očekivane, i obično se mogu okarakterisati kao stepen kvaliteta „naučenih“ karakteristika tokom obrade jedne grupe podataka. Na kraju 40-te epohe gubici za treniranje iznose 0.42, dok su gubici za validiranje 0.41. Prosečno vreme treniranja, odnosno validiranja modela po epohama iznosi 265,8 sekundi.

5. TESTIRANJE MODELA

U test fazi korišćeno je ukupno 330 fotografija, raspodeljenih u 7 klasa, prema izabranim vrstama saobraćajnih znakova. Rezultati su prikazani kroz matricu grešaka („Confusion Matrix“), koja se, u ovakvim situacijama, obično koristi za vizuelizaciju rezultata. Idealan raspored predviđenih saobraćajnih znakova podrazumevao bi raspodelu koja bi bila formirana po dijagonali prikazane matrice (slika 4).

Dodatno, u tabeli 1 prikazan je klasifikacioni izveštaj koji obuhvata nekoliko važnih parametara za ovaj rad. Pokazatelj preciznost („precision“) opisuje koliko je verovatno da je pozitivno predviđena klasa, zapravo i tačno predviđena klasa, odnosno to je udeo slučajeva u kojima je algoritam tačno predvideo određenu klasu, npr. znak „stop“ u ukupnom broju slučajeva gde je predviđen znak „stop“. Sa druge strane, imajući u vidu da preciznost modela, opisana u prethodnoj rečenici, ne uzima u obzir negativno i „lažno“ negativno predviđene klase, u analizu se često uključuje dodatni parametar „recall“, koji definiše koliko je model dobar u prepoznavanju pozitivnih klasa u odnosu na njihov ukupan broj. Ovaj parametar predstavlja udeo slučajeva u kojima je algoritam tačno predvideo određenu klasu, npr. znak „stop“, u ukupnom broju svih predviđenih klasa.



Slika 4. Matrica grešaka

Oba parametra na neki način definišu koliko je dobijeni model dobar i efikasan u predviđanju i klasifikovanju. Koji će se od njih razmatrati zavisi od toga šta želimo postići modelom. U većini slučajeva daje se treći parametar koji pravi balans između dve gore opisane karakteristike. Taj parametar se naziva F1 skor i on predstavlja težinsku harmonijsku sredinu dva pomenuta parametra.

Tabela 1. Klasifikacioni izveštaj

<i>Klasifikacioni izveštaj</i>	<i>precision</i>	<i>recall</i>	<i>f1-score</i>	<i>support</i>
kružni tok	0.90	0.98	0.94	55
ležeći policajac	0.98	0.94	0.96	47
naselje	0.85	0.89	0.87	38
parking	0.98	0.89	0.93	46
pešački prelaz	0.95	0.95	0.95	64
stop	0.84	1.00	0.91	42
kraj naselja	0.93	0.71	0.81	38
accuracy			0.92	330
micro average	0.92	0.91	0.91	330
weighted average	0.92	0.92	0.92	330

Iz table 1 mogu se videti pojedinačne vrednosti F1 skora za svaki saobraćajni znak, dok je ukupna vrednost F1 skora izražena preko makro srednje vrednosti i težinske srednje vrednosti koje iznose 91% i 92% redom. Dodatno analizirajući ovaj parametar može se zaključiti da najlošiju vrednost model pokazuje prilikom klasifikovanja saobraćajnih znakova „završetak naselja“ i „naselje“, što se delom može uočiti i sa slike 4. U konkretnom slučaju, ova dva saobraćajna znaka imaju istu strukturu, odnosno isti izgled, pri čemu znak „završetak naselja“ sadrži crvenu traku postavljenu dijagonalno preko celog znaka. U određenom broju slučajeva crvena traka je oštećena ili slabo vidljiva, što zapravo može predstavljati jedan od potencijalnih razloga nešto lošijih rezultata za dve pomenute klase.

Tačnost modela („accuracy“), koja se računa kao odnos broja tačno klasifikovanih saobraćajnih znakova i ukupnog broja testiranih saobraćajnih znakova iznosi 92%. Iako se tačnost ovog modela može smatrati dosta manjom u odnosu na do sada najpreciznije modele ovog tipa, kojima je procenat greške značajno manji od 1% (Baldominos *et al.*, 2018), veliki prostor za unapređenje ovog modela svakako postoji, pre svega dodatnom modifikacijom hiperparametara. Iako izabran uzorak korišćen u ovom radu, odgovara potrebama treniranja, validiranja i testiranja modela ovog tipa, brojnost saobraćajnih znakova se može značajno povećati. Glavni razlog povećanja uzorka je obuhvatanje svih dodatnih klasa koje nisu bile obuhvaćene ovim istraživanjem. Pre svega, istraživanjem je obuhvaćeno samo sedam klasa znakova, što čini oko 2.5% od ukupnog broja klasa koje se standardno primenjuju u Republici Srbiji. Takođe pored povećanja klasa, buduća istraživanja trebala bi se fokusirati na određene situacije i specifičnosti samih znakova. Na primer, vidljivost saobraćajnih znakova u noćnim uslovima ili u uslovima magle, kiše ili snega. Postojanje rose na znaku ili vlažan saobraćajni znak usled kiše, postojanje odsjaja od sunčeve svetlosti i sl., mogu značajno uticati na konačan rezultat modela. Dodatno, iako predstavlja više upravljački aspekt, naredna istraživanja svakako moraju obuhvatiti i situacije delimično vidljivih i u određenoj meri rastinjenih znakova, kao posledica neodržavanja pojasa puta. Na taj način obuhvataju se različiti uslovi i situacije koje se mogu pojaviti u praksi, čime se može značajno povećati efikasnost i fleksibilnost modela.

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazani su rezultati izrađenog algoritma za prepoznavanje i klasifikovanje saobraćajne signalizacije, koja se koristi na teritoriji Republike Srbije. Algoritmi sa pomenutom funkcijom pripadaju grupi konvolucionih modela koji funkcionišu po principu neuronskih mreža. Izrada algoritma obuhvatala je treniranje, validiranje i testiranje modela na uzorku od 2260 fotografija, koje su podeljene u odnosu 70:15:15. Prikupljen uzorak obuhvata sedam klasa saobraćajnih znakova koji su najčešće prisutni na mreži puteva i ulica u Republici Srbiji.

Model je treniran i validiran kroz 40 epoha, pri čemu je postignuta preciznost modela za treniranje od 95,2%, dok je preciznost tokom validacije iznosila 95,4%. Gubici modela ostvareni tokom treniranja su 0.42, dok tokom validacije vrednost gubitaka iznosi 0.41. Prosečno vreme treniranja, odnosno validiranja modela po epohama iznosi 265,8 sekundi. Tokom testiranja modela ostvarena je ukupna tačnost od 92%. Model je dodatno analiziran kroz sledeća tri parametra: „precision“, „recall“ i F1-skor. Imajući u vidu podjednaku

važnost karakteristika „precision“ i „recall“, kvalitet modela prikazan je kroz F1-skor. Najveću vrednost prema ovom parametru model je prikazao u slučaju prepoznavanja i klasifikovanja saobraćajnog znaka „prepreka za usporavanje saobraćaja“ sa 96% efikasnosti, dok su najboljši rezultati postignuti pri prepoznavanju i klasifikovanju saobraćajnih znakova „završetak naselja“ i „naselje“. Oba znaka imaju vrednost skora manju od 90%. Jedan od potencijalnih razloga ovako loših rezultata je velika sličnost ova dva znaka, što je moglo uzrokovati njihovu pogrešnu klasifikaciju.

Generalno posmatrano, dobijene vrednosti tačnosti i preciznosti ovog modela manje su od algoritama koji trenutno zauzimaju vrh lestvice u oblasti prepoznavanja i klasifikovanja. Ipak, važno je napomenuti da dobijeni model ima potencijala i dosta prostora za dalja unapređenja, imajući u vidu da je isti treniran, validiran i testiran uz određena tehnička ograničenja.

Uzimajući u obzir značaj oblasti veštačke inteligencije u saobraćaju, prikazano istraživanje predstavlja početnu fazu i prvi korak u predstojećim istraživanjima. Budući pravci istraživanja biće, pre svega, usmereni na povećanje uzorka za treniranje, validiranje i testiranje modela, odnosno biće obuhvaćene sve preostale klase saobraćajnih znakova definisanih Pravilnikom o saobraćajnoj signalizaciji u Republici Srbiji. Dodatno, modelom bi trebale biti obuhvaćene i određene specifične situacije u kojima se vidljivost saobraćajnih znakova može smanjiti. Takve situacije mogu biti npr. vožnja tokom noći ili smanjenje vidljivosti koje nastaje kao posledica loših vremenskih uslova: pojava magle, kiše, snega i sl. Sve opisane situacije predstavljaju značajan aspekt koji može uticati na preciznost samog modela, zbog čega će u daljim istraživanjima svakom od pomenutih parametara biti posvećena posebna pažnja.

LITERATURA

- [1] Alghmgham, D. A., Latif, G., Alhazo, J., & Alzubaidi, L. (2019). Autonomous Traffic Sign (ATSR) Detection and Recognition using Deep CNN. *Procedia Computer Science*, 163, 266–274. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.12.108>
- [2] Ali, G. A., & Tayfour, A. (2012). Characteristics and Prediction of Traffic Accident Casualties In Sudan Using Statistical Modeling and Artificial Neural Networks. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 1(4), 305–317. <https://doi.org/10.1260/2046-0430.1.4.305>
- [3] Anderson, D., & Mcneill, G. (1992). ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS TECHNOLOGY (Vol. 0082). Retrieved from <https://knn.es/Artificial Neural Network Technologies.pdf>
- [4] Baldominos, A., Saez, Y., & Isasi, P. (2018). Evolutionary convolutional neural networks: An application to handwriting recognition. *Neurocomputing*, 283, 38–52. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2017.12.049>
- [5] Cai, S., Shu, Y., Wang, W., Zhang, M., Chen, G., & Ooi, B. C. (2019). Effective and Efficient Dropout for Deep Convolutional Neural Networks. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1904.03392>
- [6] Mrowicki, A., Krukowski, M., Turoboś, F., & Kubiak, P. (2020). Determining vehicle pre-crash speed in frontal barrier crashes using artificial neural network for intermediate car class. *Forensic Science International*, 308, 15. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110179>
- [7] Nourani, V., Gökçekuş, H., Umar, I. K., & Najafi, H. (2020). An emotional artificial neural network for prediction of vehicular traffic noise. *Science of the Total Environment*, 707, 136134. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136134>
- [8] Park, S., & Kwak, N. (2017). Analysis on the Dropout Effect on Convolutional Neural Network. *Computer Vision*, 1, 368–383. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-54184-6>
- [9] Santana, E., & Hotz, G. (2016). Learning a Driving Simulator. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1608.01230>
- [10] Zhou, M., Qu, X., & Li, X. (2017). A recurrent neural network based microscopic car following model to predict traffic oscillation. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 84, 245–264. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.08.027>
- [11] Zhu, Y., Zhang, C., Zhou, D., Wang, X., Bai, X., & Liu, W. (2016). Traffic sign detection and recognition using fully convolutional network guided proposals. *Neurocomputing*, 214, 758–766. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2016.07.009>
- [12] Zia, T., & Zahid, U. (2019). Long short-term memory recurrent neural network architectures for Urdu acoustic modeling. *International Journal of Speech Technology*, 22(1), 21–30. <https://doi.org/10.1007/s10772-018-09573-7>



AN INVESTIGATION INTO THE CLOSER RUNNING OF AUTONOMOUS TRAINS

JAMES E PICKERING¹, JACK WHITAKER¹, BRADLEY GLAZER¹, KEITH J BURNHAM²

¹ Coventry University - Faculty of Engineering and Computing, UK, james.pickering@coventry.ac.uk

² University of Wolverhampton - Faculty of Science and Engineering, UK

Abstract: *This paper is motivated by the increasing usage of the United Kingdom (UK) railway, and the need for innovative solutions to meet this demand. A baseline simulation model is developed based on a railway route between Birmingham and Coventry in the UK. The model captures the basic infrastructure and the dynamic motion of the trains that operate on the route. Using the baseline simulation model, the use of autonomous trains (ATs) is investigated, where two feedback control systems are implemented, i.e. desired velocity control of the lead train and desired separation distance of the following train. It is then demonstrated how the use of ATs can be used to operate trains closer together, thus increasing the capacity of the network.*

Keywords: *transportation, control, systems dynamics, timetabling*

1. INTRODUCTION

The current state of the British railway infrastructure is such that it is not capable of supporting the increasing demand presented (Hall et al. 2012). Currently, the railway network uses fixed block signaling. This involves the railway network being effectively divided into blocks, with movement of trains into these blocks controlled by signals. The details of the blocks (i.e. length) are determined based on several factors, e.g. braking distance of trains. A given train cannot occupy a block that is already occupied (red lights will be shown). Whilst such a system maintains high levels of safety (trains have large separation distances), thus limiting the overall capacity of the network. The limitations of using fixed block signaling are further emphasised when the system experiences delays at a specific location on the network. Such delays can cause knock-on-effects to the whole network, causing larger delays and even the cancellations of trains. To address operational demand on the railway in the UK, in 2012, the Rail Technical Strategy (RTS) was produced (RSSB, 2012). RTS 2012 considers the potential future challenges of the railway over a 30-year period and presents long term strategies for the railway industry and government. The RTS 2012 is based on the following 4Cs as a guiding principle, these are defined as: increased capacity, improved customer experience, reduced carbon and reduced capital and operational cost. To further address the RTS, in 2017 a capability delivery plan (CDP) was developed (RSSB, 2017). In the CDP, 12 ‘key capabilities’ are identified in which the railway industry view as development areas in order to meet the industry objectives of increasing capacity and improving customer services in a sustained and affordable manner. With the primary aim to increase capacity on the railway, one of the ‘key capabilities’ involves the use of moving block technology to run autonomous trains (ATs) closer together. Moving block technology involves the removal of the fixed block signaling system, and the introduction of the operation of the trains/ATs maintaining a constant separation distance. For such an operation, the trains/ATs require accurate train positioning, fast reliable fail-safe switches, predictive braking and vehicle-to-vehicle (V2V) communication. In contrast to fixed block technology, in moving block technology the trains are moving unless otherwise instructed to stop. In Duan and Schmid (2018), the authors have undertaken a paper-based study into the closer running of ATs that has demonstrated benefits aligned to the 4Cs. The technology needed for ATs has been demonstrated effectively in the automotive sector through the development of autonomous vehicles (AVs), with trials successfully taking place in Coventry and Worldwide (Sutcliffe, 2019) and (Wiggers, 2020). To investigate the technology behind ATs and the operation of closer running, a scaled down prototype was developed in (Pickering, Davies and Burnham, 2019). In recent months, Russian ATs have been in operation, see (Zasiadko, 2019).

1.1. Aim of this paper

The aim of this paper is to investigate both the implementation and closer running of ATs. A baseline mathematical model of an existing railway network is developed – detailing the operating timetable, speed limits, dynamic motion of typical trains. Key performance indicators (KPIs) are defined that allow the results from the baseline model to be quantified. The baseline model is then be used to investigate the operational effectiveness of closer running, with the results obtained from the baseline model operation. The KPIs are

compared to determine the potential benefits of closer running ATs. Based on the above aim, the following research question is posed: can the use of AT technology in conjunction with the closer running operation increase the railway network capacity whilst maintaining a high level of safety?

2. BASELINE SIMULATION MODEL OF EXISTING RAILWAY NETWORK

The baseline simulation model to be developed will be based on European train control system (ETCS) Level 3 technology, i.e. moving block. In line with the closer running of ATs and to allow meaningful comparisons to be drawn between the current baseline technology and closer running, all carriages are assumed to be autonomously powered. The baseline simulation model to be developed consists of the following three layers, where the same process of modelling has been used in (Pickering and Burnham, 2016): Layer 1: infrastructure, Layer 2: train dynamic motion model and Layer 3: KPIs.

2.1. Layer 1: Infrastructure

The modelling of a railway line will be based on the operations between Birmingham New Street and Coventry, as detailed in Figure 1. Although the adopted rail network model is based on an actual railway network model, it is not intended to replicate all details (for simplicity of the modelling), i.e. the topology of the railway network is ignored, and no recovery time is included in the baseline simulation model. A timetable that closely matches the publicly available timetable was used, taken from (TrainLine, 2020). An hour operation for a given weekday peak service is used with the departure station being Birmingham New Street and the arrival station being Coventry, as detailed in Table 1. Table 1 contains an ID number (1st column) which refers to the corresponding service operation given in the legends in Figure 1. For the hour operation considered there are two train operating companies (TOCs), namely: Virgin Trains (VT) and West Midlands Trains (WMT), as detailed in Table 1. Table 1 also contains the departure time, arrival time, journey time and the train operating company. In this work, it is assumed that the carriages do not have regenerative braking and all carriages are empty. Therefore, the class of the carriages (standard or first) is not important as passenger loading is not considered. With the use of Figure 1 and Table 1, the full timetable of operation can be constructed. The distance between stations is also given in Figure 1 (in red). A two-rail track is assumed throughout, platform availability is assumed throughout and speed limits along the lines have been applied, i.e. 125mph (55.88m/s).

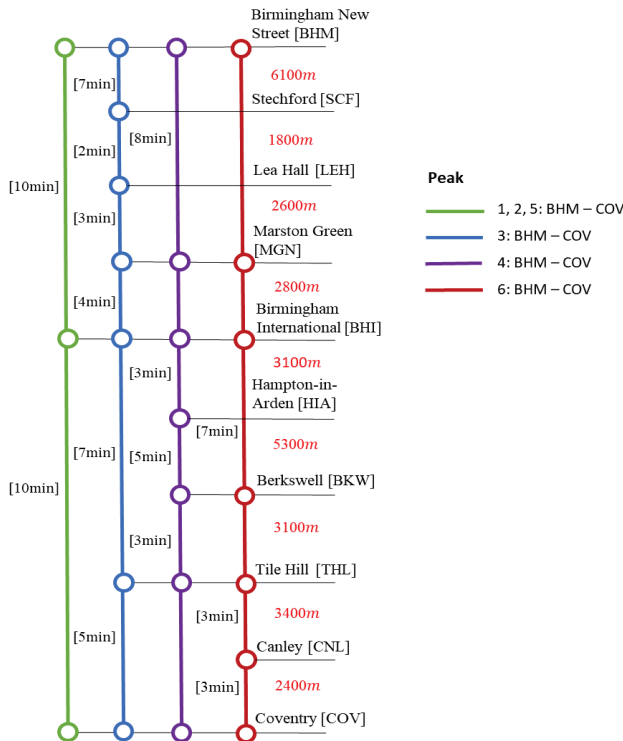


Figure 1: Train map between Birmingham New Street and Coventry

Table 1: Train timetable (peak-time)

Train ID	Departure time [hour:minute]	Arrival time [hour:minute]	Journey time [minutes]	Train operating company
1	07:04	07:24	20	VT
2	07:10	07:30	20	VT
3	07:14	07:42	28	WMT
4	07:33	08:01	28	WMT
5	07:50	08:10	20	VT
6	07:54	08:21	28	WMT

2.2. Layer 2: Train dynamic motion model

The developed baseline simulation essentially operates in open-loop. The train dynamic motion model comprises of a second order differential equation, this relating acceleration to traction force, i.e.

$$M_{tr} \frac{d^2x}{dt^2} = F_{tr} - R \quad (1)$$

where M_{tr} is the effective laden mass of the train (base train mass + passengers), $\frac{d^2x}{dt^2}$ is the acceleration of the train (+ve for accelerating and -ve for braking), F_{tr} is the traction force (+ve for acceleration and -ve for braking), R is the train resistance (including aerodynamic drag and the Davis coefficients).

An important factor when considering the convoy operation of trains is the varying length and the effects this has on the aerodynamics. The Davis equation, see (Davis, 1926) is still commonly used to approximate the railway vehicle resistance, this given by:

$$R = A + Bv + Cv^2 \quad (2)$$

where A , B and C are the regression coefficients obtained by fitting test data to the Davis equation, see (Arema, 2018), (Coals, 2017) and (Pickering and Burnham, 2016) and v is the velocity of the train. The coefficients of A accounts for the carriage mass, this given by:

$$A = 1.5 + \frac{18N}{M_{tr}} \quad (3)$$

where N is the number of axles per carriage. The coefficient of B account for the mechanical resistance, including the resistance between the train and railway tracks, this is given by:

$$B = \mu M_{tr} g \quad (4)$$

where μ is the coefficient of friction and g is the acceleration due to gravity (i.e. $9.81m/s^2$). The C coefficient accounts for air resistance, with the term being a nonlinear value, this is given by:

$$C = 0.2 + 0.1L + 0.135L^{0.8} \quad (5)$$

where L is the total train length. The train properties of the two TOCs of interest in this research will now be considered. The trains considered are the Pendolino 390 for the VT operation and the Turbostar Class 170 for the WMT operation, see (Powell and Palacin, 2015), with the full properties of the train given in Table 2. The developed simulation model of the train given by Equation (1) has been constructed using MATLAB & Simulink. Figure 2 (upper-left) details the Simulink diagram of Equation (1) in phase variable canonical form. Note that in MATLAB the coefficients for each train (VT and WMT) are made specific, i.e. using Table 2. The input (force) for the six trains have been modelled using a series of step inputs (see Figure 2, lower left) to replicate the one-hour operation given in Table 2. The duration of the step inputs was achieved via trial and error, i.e. to account for the deceleration of the trains before stopping at a given station. The complete Simulink diagram of the six trains is shown in Figure 2 (right), where it is visible that the six inputs (signals) have been

applied to the six trains. In Figure 3, the train graph (left) displays the operation of the six trains during the one hour of operation, and the full results of Train 1 (see Table 1) are also given (right).

Table 2: Train properties of the two train operating companies (TOCs)

Variable	Pendolino 390 Properties	Turbostar Class 170 Properties
Acceleration [m/s^2]	0.37	0.50
Deceleration – Regular [m/s^2]	0.88	1.00
Deceleration – Emergency [m/s^2]	1.18	1.40
Mass per carriage [Tonnes]	51.78	45.10
Max Velocity [mph]	125	100
Max Velocity [m/s]	55.88	44.70
Length of carriage [m]	21.75	70.86
Axles per carriage	4	2

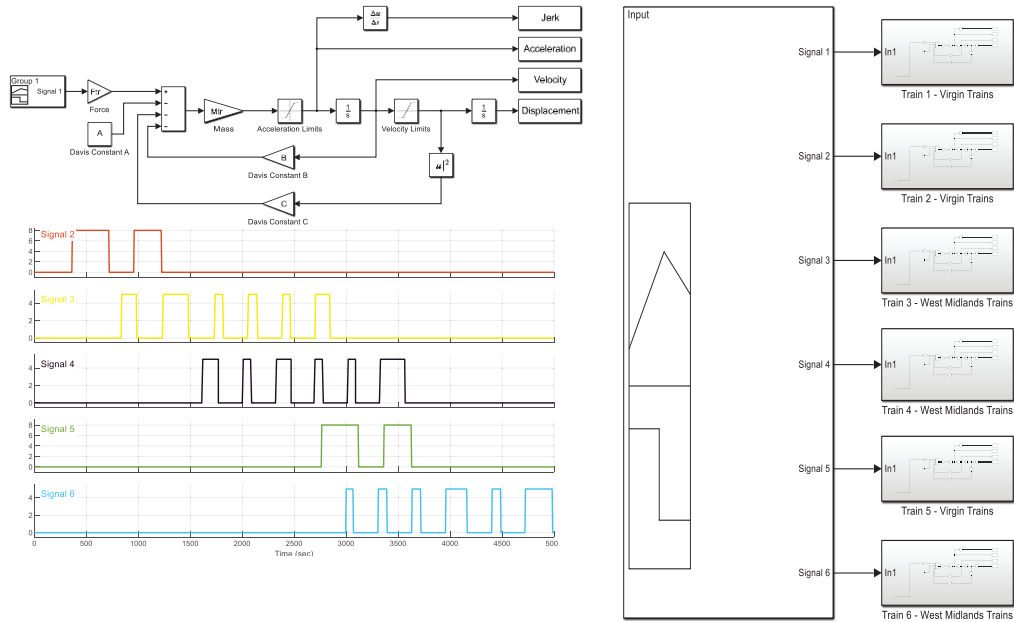


Figure 2: Simulation model of baseline train developed using Simulink

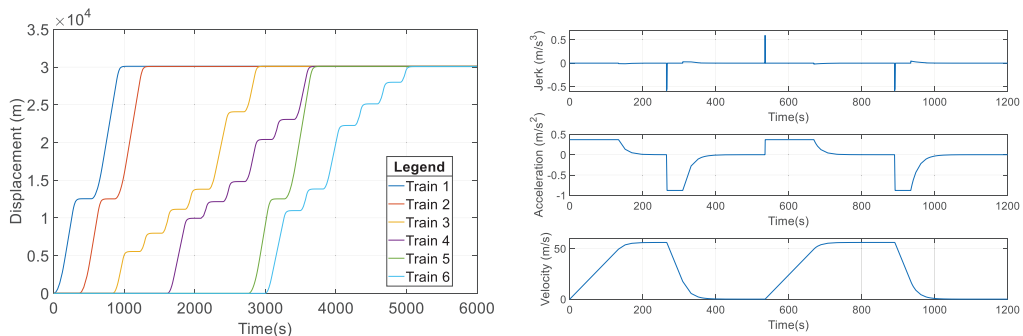


Figure 3: Graphical outputs from the simulation model

2.3. Layer 3: Key performance indicators (KPIs)

Table 3 contains the KPIs that allow the advantages of different train operation scenarios in terms of the 4Cs to be quantified. The delta in the KPIs, i.e. differences between the baseline model simulation and the closer running operation are of interest in this work. It is considered that the KPIs provide benefits to both the railway

industry stakeholders as well as being oriented towards the passengers. In further work, if passenger loading was considered, the KPI of carriage utilisation could be considered. Carriage utilisation offers introducing further work, as the number of carriages could be optimised based on predicted demand.

Table 3: Key performance indicators

Ref	Title	Definition	4C Considerations
KPI 1	Increased route utilisation	Trains per hour for each infrastructure route section, compared with baseline (%)	Capacity: illustrates ability to increase capacity Customer experience: increased number of services Cost: suggests revenue potential
KPI 2	Avoid collisions	The distance between trains should not become zero	Customer experience Cost

3. INVESTIGATION INTO THE CLOSER RUNNING OF AUTONOMOUS TRAINS

To initially investigate the closer running of ATs, only two trains will be considered, i.e. Train 1 (lead) and Train 2 (following). In Figure 4, the two trains are modelled using Simulink, where the open-loop train model for each train is taken from Section 2.2. Both trains are modelled using the Pendolino 390 properties.

In this research, Train 1 is set-up using a feedback control system to maintain a desired velocity (based on train line speeds). Train 1 (upper plot) has a reference/input relating to a desired velocity, in this case 40m/s being applied. A Proportional Derivative (PD) controller has then been configured and tuned, with gain values of 1650000 and 10000, respectively, resulting in Train 1 achieving the desired velocity.

A feedback control system has then been developed for Train 2, where the separation distance (or headway) denoted d , between the two trains is to be investigated, i.e. to determine whether separation distance is ‘safe’. It is assumed that a sensor used in the feedback control system allow Train 2 to perfectly determine the headway to Train 1, i.e. to accurately determine the measured distance between the two trains. A Proportional, Integral and Derivative (PID) controller has been configured and tuned on-board the following train, where the error signal is formed based on the displacement from Train 1, desired separation distance and the displacement from Train 2. Once tuned, the PID controller gain values were determined to be 165000, 2 and 800000000, respectively. Figure 5 illustrates the graphical outputs from the separation distance control. A range of separation distance values were investigated and a value of 250 meters was determined to be the ‘limit’. It is visible from Figure 5 that a 250 meters desired separation distance results in an actual separation distance of 230 meters, hence further work tuning the PID is needed. It is recognised that additional complexity to the model needs to be added that would increase the separation distance, e.g. disturbances (weather and gradient changes), measurement noise and computational delays/issues. However, it has been demonstrated that the separation distance of trains using moving block technology can potentially be reduced significantly, thus increasing the network capacity whilst maintaining a ‘safe’ separation distance.

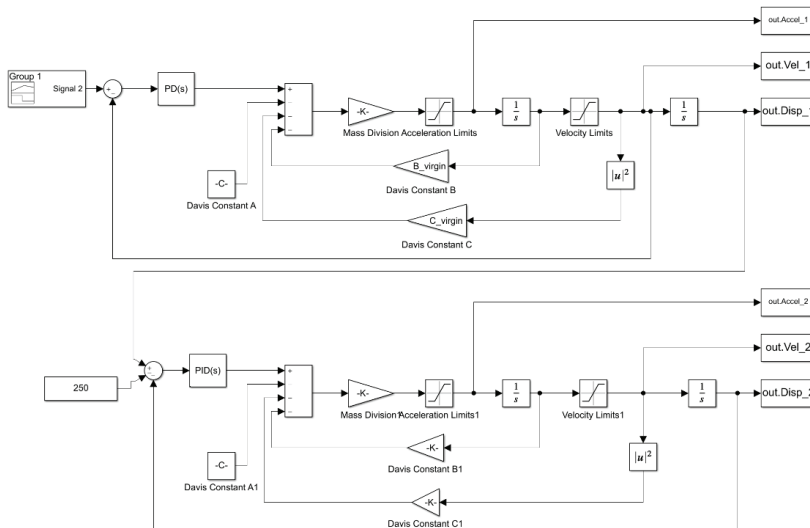


Figure 4: Train 1 (upper) set-up with desired velocity control and and Train 2 (lower) set-up with desired separation distance control

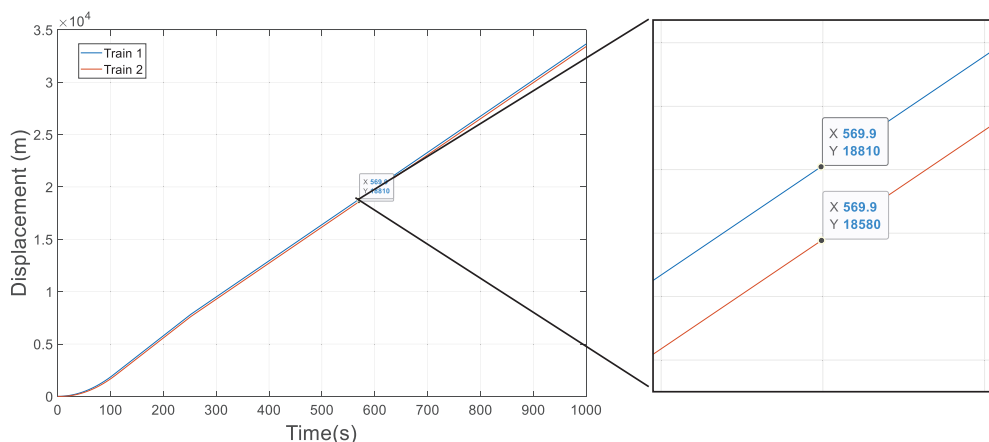


Figure 5: Train 2 desired separation distance control set at 250m whilst Train 1 travels at 40m/s

4. CONCLUSIONS

The paper has presented a developed baseline simulation model based on a railway route between Birmingham and Coventry in the UK. The baseline simulation model has then been used to investigate the desired separation distance between two trains, with 250 meters found to be an achievable distance. Therefore, it has been determined that the capacity of the railway network could be significantly increased, whilst maintaining a constant ‘safe’ separation distance between trains. It is recognised, however, that the developed model does require further additional detail, e.g. disturbances (weather and gradient changes), measurement noise and computational delays/issues.

REFERENCES

- [1] Hall, J., Henriques, J., Hickford, A., & Nicholls, R., (2012). A Fast Track Analysis of strategies for Infrastructure Provision in Great Britain, s.l.: ITRC. Available at: <https://www.itrc.org.uk/wp-content/PDFs/ITRC-FTA-Technical-report.pdf> [Accessed 9th January 2019].
- [2] RSSB., (2012). Railway Technical Strategy (RTS) 2012. Available at: <https://rsb.wavecast.io/datasandbox/rtscapability-delivery-plan> [Accessed 9th January 2019].
- [3] RSSB., (2017). Capability Delivery Plan (CDP) 2017. Available at: <https://www.sparkrail.org/Lists/Records/DispForm.aspx?ID=24868> [Accessed 9th January 2019].
- [4] Duan, H. and Schmid, F., 2018, December. Optimised Headway Distance Moving Block with Capacity Analysis. In 2018 International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT) (pp. 1-5). IEEE
- [5] Sutcliffe, M., (2019). Autodrive Project Lays Foundation for Future CAV use, Fleet News. Available at: <https://www.fleetnews.co.uk/smart-transport/features/autodrive-project-lays-foundation-for-future-cav-use> [Accessed 9th January 2019].
- [6] Wiggers, K., (2020). Waymo’s autonomous cars have driven 20 million miles on public roads. Available at: <https://venturebeat.com/2020/01/06/waymos-autonomous-cars-have-driven-20-million-miles-on-public-roads/> [Accessed 9th January 2020].
- [7] Pickering, J.E., Davies, J. and Burnham, K.J., 2019, October. Development of Model Prototype to Investigate Closer Running Autonomous Train Operation: Seamless Interchangeability. In 2019 23rd International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC) (pp. 572-579). IEEE.
- [8] Zasiadko, M., (2019). Russian autonomous train makes first test run. Available at: <https://www.railtech.com/digitalisation/2019/08/30/russian-autonomous-train-makes-first-test-run/?gdpr=accept&gdpr=accept> [Accessed 9th January 2020].
- [9] Pickering, J. E. & Burnham, K. J., 2016. Seamless Interchangeable Final Report. Available from: https://www.researchgate.net/publication/330117299_Seamless_Interchangeability_Final_Report
- [10] TrainLine, 2020. Coventry to Birmingham International. [Online]. Available at: <https://www.thetrainline.com/train-times/coventry-to-birmingham-international>
- [11] Davis, W., 1926. Tractive Resistance of Electric Locomotives and Cars. 1st ed. London: General Electric.
- [12] AREMA, 2018. AREMA RAILWAY MANUAL, s.l.: American Railway Engineering and Maintenance of Way Association (AREMA).
- [13] Coals, N., 2017. The Application of the Davis Formula to Set Default Train Resistance in Open Rails, Newcastle: s.n.
- [14] Powell, J. P. & Palacín, R., 2015. *Passenger Stability Within Moving Railway Vehicles: Limits on Maximum Longitudinal Acceleration*, Beijing : Springer Berlin Heidelberg.



KOMPARATIVNA ANALIZA METAHEURISTIKA ZA REŠAVANJE PROBLEMA LOCIRANJA SENZORA NA TRANSPORTNOJ MREŽI

A COMPARATIVE ANALYSIS OF METAHEURISTIC APPROACHES FOR SENSORS DEPLOYMENT PROBLEM ON TRANSPORT NETWORKS

MILICA ŠELMIĆ¹, IVANA JOVANOVIĆ¹, MILOŠ NIKOLIĆ¹

¹ Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, {m.selmic; ivana.jovanovic; m.nikolic}@sf.bg.ac.rs

Rezime: Za rešavanje problema lociranja senzora na deonici magistralnog puta korišćena je metaheuristika Optimizacija kolonijom pčela i to njena varijanta zasnovana na poboljšanju rešenja, BCOi. Rezultati dobijeni korišćenjem BCOi metaheuristike upoređeni su sa rezultatima dobijenim primenom metaheuristike Simuliranog kaljenja. U pogledu brzine izvršavanja algoritma BCOi je nadmašila algoritam Simuliranog kaljenja, dok je u uporedivom procesorskom vremenu rada BCOi postizala bolja rešenja za probleme većih dimenzija. Primene oba algoritma su testirane na realnim podacima studije slučaja na deonici puta E-763 u Republici Srbiji.

Ključne reči: Optimizacija kolonijom pčela, Simulirano kaljenje, lokacija senzora.

Abstract: The Bee Colony Optimization metaheuristic was used to solve the sensor deployment problem, and its variant based on solution improvement, BCOi. The results obtained using BCOi metaheuristics were compared with the results obtained using the Simulated Annealing (SA) metaheuristics. In terms of the CPU time BCOi outperformed the SA algorithm, while in comparable operating time the BCOi algorithm achieved better solutions to larger scale problems. The applications of both algorithms were tested on real case study data on a section of the E-763 road in the Republic of Serbia.

Keywords: Bee Colony Optimization, Simulated Annealing, sensors locations.

1. UVOD

Problem razmatran u ovom radu je određivanje najpodobnijih lokacija senzora na deonici magistralnog puta za potrebe procene vremena putovanja, kao jednog od osnovnih parametara saobraćajnog toka. Broj instaliranih senzora utiče na tačnost dobijenih podataka. Što se više senzora postavi, podaci o proceni vremena putovanja će biti tačniji. Sa druge strane, potrebna sredstva koja treba uložiti za nabavku i održavanje instaliranih uređaja su ograničena, te je u interesu upravljača puta da uloži što manje finansijskih sredstava, odnosno da postavi što manji broj senzora. Ranije predloženi matematički model od strane Edara *et al.* (2008) pronalazi najbolje lokacije senzora, tako da se minimizira greška u proceni vremena putovanja, uzimajući u obzir ograničenja raspoloživog kapitala.

Ovaj problem je već bio predmet razmatranja iste grupe autora (Jovanović *et al.* 2019) i (Teodorović *et al.* 2017) te detaljan opis problema, kao i matematička formulacija neće ponovo biti prikazani u ovom radu. Autori su u ranijim publikacijama problem rešavali primenom metaheuristike Optimizacija kolonijom pčela, i to verzije koja je zasnovana na poboljšanju kompletnog rešenja, BCOi. Kako bi se rešenje dobijeno BCOi validiralo, u ovom radu je primenjena metaheuristika Simulirano kaljenje (SA), kao jedna od poznatijih tehnika iz grupe metoda Računarske inteligencije.

Rad je organizovan na sledeći način. Posle uvodnih razmatranja, prikazan je ukratko pregled relevantne literature, zatim je dat prikaz metaheuristika BCOi i SA. Način prikupljanja podataka opisan je u četvrtom poglavlju. Poređenje ostvarenih rezultata dobijenih primenom dve metaheuristike prikazano je u petom poglavlju. Zaključna razmatranja i pravci budućeg rada čine šesto, poslednje poglavlje.

2. PREGLED LITERATURE

Bianco *et al.* (2006) su odredili najmanji broj senzora za brojanje saobraćaja na čvorovima mreže, kako bi se pratio protok na svim granama mreže. Autori su dokazali da je ovaj problem lociranja senzora NP-kompletnan

problem. U tom smislu je potpuno opravdano korišćenje metaheurističkih algoritama za rešavanje navedenog problema.

Na osnovu pregleda literature u kojima je rešavan problem lociranja senzora na mreži može se zaključiti da se brojni radovi bave problemom pronalaženja optimalnih lokacija senzora na transportnim mrežama. Autori su primenjivali različite tehnike za rešavanje ovog problema kombinatorne optimizacije. Takođe, može se primetiti da korišćenje metaheuristika nije široko rasprostranjeno, izuzev genetskih algoritama (Edara *et al.* 2008, Liu and Danczyk 2009, Edara *et al.* 2011, Kim *et al.* 2011) i konstruktivne varijante *BCO* (Teodorović *et al.* 2010). Nasuprot konstruktivnoj varijanti *BCO* algoritma korišćenoj u radu Teodorović *et al.* (2010), u radovima (Jovanović *et al.* 2019) i (Teodorović *et al.* 2017) predložena je varijanta *BCO* algoritma zasnovana na poboljšanju rešenja – *BCOi*.

Konstruktivna varijanta *BCO* algoritma, kao prva predložena varijanta, primenjivana je uspešno na nizu problema kombinatorne optimizacije. Međutim, s povećanjem dimenzija problema, konstruktivna varijanta nije uspevala da ostane kompetitivna s najboljim rezultatima postignutim u literaturi (Teodorović *et al.* 2010; Davidović *et al.* 2011). Poslednjih godina *BCOi* varijanta algoritma upoređivana je sa drugim metaheurističkim pristupima, kao što su: Genetski algoritmi, Simulirano kaljenje, Optimizacija grupom čestica, Tabu pretraživanje i Pretraživanje zasnovano na promenljivoj okolini.

3. METAHEURISTIČKI ALGORITMI KORIŠĆENI U RADU

3.1 *BCOi*

Varijanta *BCO* metaheuristike koja se zasniva na poboljšanju rešenja, *BCOi*, prvi put je korišćena u radu čiji su autori Davidović *et al.* (2011). U kasnijoj literaturi je takođe korišćena u radovima Nikolić and Teodorović (2013, 2014, 2015, 2019), Todorović and Petrović (2013), Nikolić *et al.* (2015), Jovanović *et al.* (2017), Jovanović *et al.* (2019). S obzirom na to da je primena *BCOi* metaheuristike za rešavanje problema lociranja senzora na transportnim mrežama detaljno objašnjena u prethodnim radovima (Jovanović *et al.* 2019) i (Teodorović *et al.* 2017), u ovom radu će biti dat samo pseudokod ove varijante *BCO*.

Algoritam *BCOi* započinje određivanjem početnog rešenja (koraci 1 i 2 algoritma 1) koje se, zatim, u koraku 3 čuva kao trenutno najbolje pronađeno. Korakom 4 otpočinje petlja za iteracije. U koracima 5 i 6 se pčelama dodeljuju rešenja koje će se tokom iteracije modifikovati. Let unapred je predstavljen koracima od 8 do 11. U okviru leta unapred svaka pčela napravi *NC* promena svog rešenja. Kada sve pčele naprave jednu modifikaciju rešenja, proverava se da li je pronađeno bolje rešenje od do tada najboljeg poznatog (koraci 12 i 13 algoritma 1). Let unazad predstavljen je koracima od 14 do 19. U okviru leta unazad se proverava lojalnost pčela i, ukoliko pčela nije lojalna, bira se pčela koja će se slediti (Nikolić 2015).

Algoritam 1: Pseudokod *BCOi* algoritma (Nikolić 2015)

***BCOi* procedura (ulaz *B, IT, NP, NC, izlaz S*)**

- 1: Odrediti početno rešenje.
 - 2: Odrediti kvalitet početnog rešenja.
 - 3: $S \leftarrow$ Sačuvati početno rešenje kao najbolje.
 - 4: **for** $j = 1$ **to** *IT* **do**
 - 5: **for** $i = 1$ **to** *B* **do**
 - 6: pčela $i \leftarrow$ Pčeli dodeliti početno rešenje.
 - 7: **for** $k = 1$ **to** *NP* **do**
 - 8: **for** $r = 1$ **to** *NC* **do**
 - 9: **for** $i = 1$ **to** *B* **do**
 - 10: Napraviti jednu modifikaciju rešenja pčele i .
 - 11: Odrediti kvalitet rešenja pčele i .
 - 12: **if** najbolje rešenje od svih pčela **bolje** od rešenja S **then**
 - 13: $S \leftarrow$ Sačuvati najbolje rešenje pčela kao trenutno najbolje.
 - 14: Normalizovati kvalitet rešenja svih pčela.
 - 15: **for** $i = 1$ **to** *B* **do**
 - 16: Odrediti da li je pčela i lojalna.
 - 17: **for** $i = 1$ **to** *B* **do**
 - 18: **if** pčela i nije lojalna **then**
 - 19: Odrediti jednu od lojalnih pčela koju će pčela i da prati.
-

3.2 Simulirano kaljenje

Metaheuristički algoritam Simuliranog kaljenja (*SA*) zasnovan je na analogiji s procesom kaljenja metala (npr. čelika) u metalurgiji. Ovaj proces podrazumeva zagrevanje metala do tečnog stanja (topljenje) i njegovo postepeno hlađenje (kaljenje). Postepenim, kontrolisanim hlađenjem postiže se da kristalna rešetka metala dostigne minimalnu energiju, što doprinosi postizanju veće čvrstoće metala.

Metaheuristiku *SA* za rešavanje složenih problema kombinatorne optimizacije predložili su Kirkpatrick *et al.* (1983) i Černý (1985), nezavisno jedni od drugih.

Ideja tehnike *SA* je istraživanje prostora rešenja u okolini trenutnog rešenja, uz izvršenje malih promena na slučajan način. Pritom se izračunava postignuta razlika energije ΔE između prethodnog i novog rešenja. Ako je postignuto bolje rešenje ($\Delta E < 0$), novo rešenje se usvaja. U suprotnom, ako je $\Delta E > 0$, postignuto lošije rešenje ne odbacuje se automatski, već se dozvoljavaju tzv. „skokovi energije” koji se dešavaju i u termodinamičkim procesima. Ove skokove opisali su Metropolis *et al.* (1953) koristeći Boltzmanovu (Boltzmann) raspodelu za izračunavanje verovatnoće ovog skoka energije (Teodorović 2007). Ovim dozvoljavanjem „skokova” izbegava se da rešenje ostane zarobljeno u lokalnom minimumu.

Verovatnoća P da će se povećati energija ΔE ako se sistem nalazi na temperaturi T izračunava se (Teodorović 2007):

$$P = e^{-\frac{\Delta E}{T}} \quad (1)$$

Uvodeći analogiju, pod konfiguracijom čestica kristalne rešetke podrazumeva se jedno dopustivo rešenje zadatka kombinatorne optimizacije, a pod energijom fizičkog sistema može se smatrati vrednost funkcije cilja. Promena energije ΔE onda se odnosi na promenu vrednosti funkcije cilja. Verovatnoća da će novo rešenje čija je funkcija cilja lošija ipak biti prihvaćeno kao novo trenutno najbolje rešenje, tada se izračunava kao u relaciji:

$$P = e^{-\frac{f(j)-f(i)}{T}} \quad (2)$$

gde su $f(j)$ i $f(i)$ vrednosti funkcije cilja za staro i i novo j rešenje, a T kontrolni parametar koji je analogan temperaturi na kojoj se nalazi sistem.

Ova verovatnoća P sada se upoređuje sa generisanim slučajnim brojem $R \in [0,1]$ i, ukoliko je $R > P$, novo rešenje se usvaja kao novo najbolje, dok se u suprotnom odbacuje (Teodorović 2007). Postupak snižavanja energije na datoj temperaturi ponavlja se sve dok se ne dostigne tzv. termalni ekvilibrijum, koji podrazumeva da se posle većeg broja ($N(t)$) slučajnih perturbacija rešenja, više ne dobija smanjenje energije. Tada se temperatura spušta i nastavlja traženje novog termalnog ekvilibrijuma. Snižavanje temperature obavlja se kao u relaciji:

$$T(t) = \alpha T(t-1) \quad (3)$$

gde je $T(t)$ nova temperatura, $T(t-1)$ prethodna temperatura, a α parametar spuštanja temperature. Parametar spuštanja temperature pripada intervalu $[0,1]$ i, ako je njegova vrednost mala, to znači da je spuštanje temperature brzo, što može da dovede do upadanja u lokalni minimum, što je u fizičkim sistemima analogno pucanju metala. Ako je parametar isuviše velik, to dovodi do suviše sporog spuštanja temperature, temperature su dugo vremena visoke, što dovodi do toga da se suviše često lošija rešenja prihvataju kao najbolja, zbog zavisnosti verovatnoće od temperature u relaciji (2).

Ceo postupak se ponavlja dok se ne zadovolji kriterijum zaustavljanja, koji može biti maksimalan broj iteracija, maksimalan broj ponavljanja najboljeg rešenja, ukupno vreme izvršavanja algoritma i slično. Algoritam *SA* može se predstaviti pseudokodom kao u algoritmu 2.

Algoritam 2: Pseudokod algoritma *Simuliranog kaljenja* (Eglese 1990, Jovanović 2017)

Procedura simuliranog kaljenja	
1:	Postaviti inicijalno rešenje.
2:	Postaviti inicijalnu temperaturu T .
3:	Postaviti brojač temperature $t = 0$.
4:	<i>repeat</i>
5:	Postaviti brojač ponavljanja $n = 0$.
6:	<i>repeat</i>
7:	Generisati stanje j , u okolini prethodnog stanja i .
8:	Izračunati $\Delta E = f(j) - f(i)$

```

9:           if  $\Delta E < 0$  then  $i = j$ 
10:          else if random (0,1) <  $\exp(-\Delta E / T)$  then  $i = j$ 
11:          until  $n = N(t)$ 
12:           $t = t+1$ 
13:           $T = T(t)$ 
14:  until zadovoljen kriterijum zaustavljanja.

```

4. PRIKUPLJANJE PODATAKA

Za potrebe merenja brzina u okviru istraživanja korišćeno je test vozilo, opremljeno GPS uređajem *Garmin GPSMAP 64s*. Za merenje brzina korišćena je metoda plutajućeg vozila. Plutajuće vozilo se kroz saobraćajni tok kreće oponašajući druga vozila u toku. U tom smislu, vozač se trudi da pretekne jednak broj vozila onom broju vozila koja su njega pretekla. Vozilo se uključuje u saobraćajni tok oko 400m pre početka deonice na kojoj se vrši snimanje, kako bi se obezbedilo da pre započinjanja snimanja vozilo dostigne brzinu saobraćajnog toka. Tokom kretanja beleže se podaci o poziciji i brzini vozila svake sekunde, sve do završetka deonice. Snimanje je obavljano u oba smera u vremenu vršnog i vanvršnog saobraćajnog opterećenja. Od marta do aprila 2015. godine obavljeno je ukupno 200 vožnji, po 100 u svakom smeru. Kako bi se obezbedila slična preciznost GPS uređaja, snimanja su vršena tokom sunčanih dana, kako oblaci ne bi uticali na smanjenu preciznost rezultata merenja. Podaci korišćeni u radu prikupljeni su za potrebe izrade doktorske disertacije Vidas (2017).

Podaci su prikupljeni na deonici Ibarske magistrale u dužini od 3000m. Ibarska magistrala je put IB reda, i u referentnom sistemu puteva u Srbiji nosi broj 22. Ibarska magistrala spaja Beograd sa Čačkom, i dalje preko puta 23 sa Republikom Crnom Gorom, deo je evropskog puta E-763. Deonica od interesa za testiranje je deonica koja prolazi kroz Meljak, od skretanja za Veliku Moštanicu do skretanja za Bačevac. Deonica se nalazi u prigradskoj beogradskoj opštini Barajevo, i od centra Beograda udaljena je oko 20km.

5. POREĐENJE REZULTATA OSTVARENIH PRIMENOM BCOI I SIMULIRANIM KALJENJEM

Za potrebe poređenja rezultata koji se dobijaju rešavanjem problema lociranja senzora primenom dve metaheuristike *BCOi* i *SA* bilo je potrebno dovesti algoritme na uporediv nivo. Algoritmima su rešavani isti problemi, krenuvši od istog početnog rešenja. Rešavani su problemi lociranja od 2 do 20 senzora na posmatranoj deonici puta, u dva perioda: vršnom sa 38 vožnji, i vanvršnom sa 62 vožnje.

Svi problemi su rešavani na laptop računaru sledećih karakteristika: *Intel(R) Core(TM) i3-4000M*, 2.40GHz, i 4.00GB RAM memorije (Jovanović *et al.* 2019).

Nakon detaljne parametarske analize, za primenu metaheuristike *BCOi* odabrana je kombinacija parametara: 15 pčela (*B*), 15 letova unapred (*NP*), jedna modifikacija rešenja (*NC*) u svakom letu unapred. Za kriterijum zaustavljanja usvojen je maksimalan broj iteracija (*IT*), konkretno $IT = 1000$. Za primenu metaheuristike *SA* izabrana je sledeća kombinacija parametara: inicijalna temperatura $T = 250$ stepeni, broj ponavljanja na jednoj temperaturi $N(t) = 20000$ i parametar spuštanja temperature $\alpha = 0,98$.

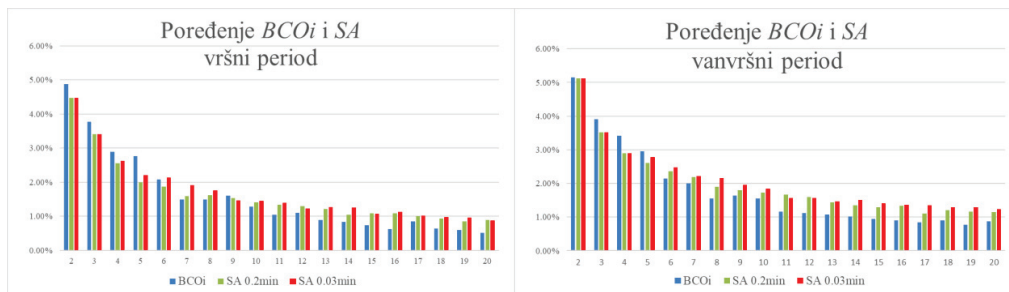
Ubedljivo najznačajnija razlika između ova dva algoritma jeste brzina dobijanja prihvatljivo dobro rešenja. Dobijeni rezultati o utrošku vremena rada računara ukazuju na to da je algoritam *BCOi* veoma efikasan, s obzirom da je za maksimalno oko 1.8s CPU vremena pronašao rešenje najkompleksnijeg primera, lociranja 20 senzora u vanvršnom periodu, gde podatke sačinjava niz od 62 test vožnje. Vreme rada algoritma *SA* u analizi parametara je iznosilo 2 minuta. Kako bi i vremena rada bila uporediva, upoređivani su rezultati koje je postigao algoritam *SA* za vreme rada 0,2 minuta (12s) i 0,03 minuta (1,8s, koje je vreme postigao algoritam *BCOi*).

U tabeli 1 i na slici 1, prikazani su rezultati uporedne analize dva algoritma. Poređene su vrednosti relativne kumulativne greške procene vremena putovanja po vožnji, izražene u procentima.

Upoređujući podatke prikazane u tabeli 1 može se zaključiti da algoritam *SA* postiže bolje rezultate nego *BCOi* za manje dimenzije problema, za vrednosti broja lociranih senzora do 6 za vršni i do 7 za vanvršni period, za vreme rada računara od 12s. Za uporedivo vreme rada računara algoritam *BCOi* postiže bolje rezultate od algoritma *SA*, počev od 6 lociranih senzora i za vršni i za vanvršni period saobraćajnog opterećenja.

Tabela 1: Relativna kumulativna greška po vožnji za oba algoritma

Broj senzora	Vršni period (38 vožnji)			Vanvršni period (62 vožnje)		
	<i>BCOi</i>	<i>SA</i> 0,2 min	<i>SA</i> 0,03 min	<i>BCOi</i>	<i>SA</i> 0,2 min	<i>SA</i> 0,03 min
2	4,88%	4,47%	4,47%	5,16%	5,12%	5,12%
3	3,77%	3,42%	3,42%	3,91%	3,52%	3,52%
4	2,90%	2,55%	2,62%	3,42%	2,90%	2,90%
5	2,77%	1,99%	2,20%	2,95%	2,61%	2,77%
6	2,08%	1,87%	2,14%	2,15%	2,36%	2,47%
7	1,49%	1,59%	1,92%	2,00%	2,19%	2,21%
8	1,49%	1,62%	1,76%	1,56%	1,89%	2,16%
9	1,61%	1,54%	1,46%	1,64%	1,80%	1,96%
10	1,28%	1,41%	1,46%	1,56%	1,72%	1,84%
11	1,04%	1,34%	1,40%	1,16%	1,67%	1,57%
12	1,11%	1,29%	1,23%	1,12%	1,59%	1,57%
13	0,89%	1,21%	1,27%	1,08%	1,43%	1,47%
14	0,84%	1,05%	1,25%	1,01%	1,35%	1,52%
15	0,74%	1,09%	1,07%	0,95%	1,29%	1,41%
16	0,62%	1,09%	1,13%	0,90%	1,34%	1,37%
17	0,85%	1,00%	1,02%	0,84%	1,10%	1,35%
18	0,64%	0,93%	0,97%	0,91%	1,20%	1,29%
19	0,60%	0,85%	0,97%	0,77%	1,16%	1,29%
20	0,52%	0,89%	0,88%	0,87%	1,15%	1,24%



(a) vršni period (b) vanvršni period
Slika 1: Poređenje *BCOi* i *SA* (relativna kumulativna greška po vožnji)

6. ZAKLJUČAK

Određivanje najpogodnijih lokacija senzora je rešavano primenom dve poznate metaheuristike i to na realnim podacima prikupljenim na deonici puta E-763 u Republici Srbiji. Rezultati, dobijeni korišćenjem *BCOi* metaheuristike u prethodnom radu istih autora, upoređeni su s rezultatima dobijenim korišćenjem metaheuristike Simuliranog kaljenja.

Upoređujući dve metaheuristike *BCOi* se pokazala kompetitivnom u poređenju sa *SA*. U pogledu brzine izvršavanja algoritma, *BCOi* je nadmašila algoritam *SA*. U uporedivom vremenu rada algoritma, *BCOi* je postigla bolja rešenja za probleme većih dimenzija.

U budućem radu bilo bi interesantno sprovesti analizu osetljivosti pojedinih parametara korišćenih u predloženom modelu rešavanom primenom *BCOi*. Promena načina dobijanja početnog rešenja, variranje broja modifikacija rešenja, primena različitih kriterijuma zaustavljanja možda bi mogli da doprinesu boljim dobijenim rešenjima ili njihovom bržem postizanju.

LITERATURA

- [1] Bianco, L., Confessore, G., & Gentili, M. (2006). Combinatorial aspects of the sensor location problem. *Annals of Operations Research*, 144, 201–234.
- [2] Černý, V. (1985). Thermodynamical approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm. *Journal of Optimization Theory and Applications*. 45, 41–51.

- [3] 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.
- [4] Edara, P., Guo, J., Smith, B. L., & Mc Ghee, C. (2008). Optimal placement of point detectors on Virginia's highways: case studies of northern Virginia and Richmond. Report VTRC08-CR3. Virginia Transportation Research Council, Richmond, VA.
- [5] Edara, P., Smith, B., Guo, J., Babiceanu, S., & McGhee, C. (2011). Methodology to identify optimal placement of point detectors for travel time estimation. *Journal of Transportation Engineering*, 137(3): 155–173.
- [6] Eglese, R.W. (1990). Simulated Annealing: A tool for Operational Research. *European Journal of Operational Research*, 46(3), pp.271-281.
- [7] Jovanović, A. (2017) Izbior 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., Šelmić, M., & Nikolić, M. (2019). Metaheuristic approach to optimize placement of detectors in transport networks – case study of Serbia. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 46(3): 176-187.
- [10] Kim, J., Park, B., Lee, J., & Won, J. (2011). Determining optimal sensor locations in freeway using genetic algorithm-based optimization. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 24: 318–324.
- [11] Kirkpatrick, S., Gelatt Jr, C.D., & Vecchi, M.P. (1983) Optimization by Simulated Annealing. *Science*, 220 (4598), 671–680.
- [12] Liu, H., & Danczyk, A. (2009). Optimal sensor locations for freeway bottleneck identification. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 24 (8): 535–550.
- [13] Metropolis, N., Rosenbluth, A., Rosenbluth, M., & Teller, A. (1953). Equation of state calculations by fast computing machines, *Journal of Chemical Physics*, 21, 1087-1092.
- [14] Nikolić, M., & Teodorović, D. (2013). Transit network design by bee colony optimization. *Expert Systems with Applications*, 40(15), 5945–5955.
- [15] Nikolić, M., & Teodorović, D. (2014). A simultaneous transit network design and frequency setting: Computing with bees, *Expert Systems with Applications*, 41, 16, 7200-7209.
- [16] 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.
- [17] Nikolić, M., & Teodorović, D. (2019). Mitigation of disruptions in public transit by Bee Colony Optimization. *Transportation Planning and Technology*, 42(6), 573–586.
- [18] 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.
- [19] Nikolić, M. (2015) Ublažavanje posledica poremećaja u odvijanju saobraćaja primenom metaheuristike Optimizacija kolonijom pčela, doktorska disertacija, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
- [20] Teodorović, D. (2007). Transportne mreže, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd ISBN 978-86-7395-239-0.
- [21] 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.
- [22] Teodorović, D., Šelmić, M., Nikolić, M., Jovanović, I., & Vidas, M. (2017). Metaheuristički pristup za lociranje detektora na mrežama, *Zbornik radova SYM-OP-IS 2017: XLIV Simpozijum o operacionim istraživanjima, Zlatibor*, 25-28. septembar 2017, str. 723-728.
- [23] Todorović, N., & Petrović, S. (2013). Bee colony optimization algorithm for nurse rostering. *Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, IEEE Transactions on, vol. 43(2), pp. 467–473.
- [24] Vidas, M. (2017). Uticaj kontrole pristupa na kapacitet i nivo usluge dvotračnih puteva. Doktorska disertacija, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.



PRIMENA LOGISTIČKE REGRESIJE PRI UTVRĐIVANJU PRIPADNOSTI VOZILA PLOTUNU ZA NEZASIĆENA STANJA

APPLICATION OF LOGISTIC REGRESSION IN VEHICLE PLATOON MEMBERSHIP DEFINITION FOR UNSATURATED CONDITION

JELENA KAJALIĆ¹, NIKOLA ČELAR², STAMENKA STANKOVIĆ³, ANICA KOCIĆ⁴

¹ Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd, j.kajalic@sf.bg.ac.rs

² Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd, n.celar@sf.bg.ac.rs

³ Univerzitet u Beogradu - Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd, s.stankovic@sf.bg.ac.rs

⁴ Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd, a.kocic@sf.bg.ac.rs

Rezime: Tokom procesa rasformiranja reda na signalisanoj raskrsnici vozila započinju kretanje duž deonice u formi plotuna. U nezasićenim stanjima izvestan broj vozila će biti opslužen nakon rasformiranja reda. Ova vozila se i uz realizaciju većih intervala sleđenja u određenim okolnostima mogu priključiti inicijalnom plotunu. U radu je predložena primena logističke regresije pri utvrđivanju pripadnosti ovih vozila plotunu u momentu njegovog formiranja, kao metode klasifikacije podataka. Model je formiran i testiran na osnovu realnih podataka prikupljenih na gradskim arterijama.

Cljučne reči: Plotun vozila, nezasićeni tokovi, logistička regresija.

Abstract: At signalized intersection, during queue discharge, vehicle start moving along the corridor as platoon. In unsaturated traffic condition, vehicle can cross stop line even after queue discharge. In some cases, those vehicles can be part of a platoon. This paper proposes application of logistic regression in vehicle membership definition for unsaturated traffic condition. Proposed model is based and tested on real traffic data.

Keywords: Platoon vehicle, unsaturated traffic flow, logistic regression.

1. UVOD

Vozila na signalisanu raskrsnicu nailaze tokom celog ciklusa pretpostavljenim konstantnim intenzitetom ulaznog potoka q . Tokom crvenog signalnog pojma formira se inicijalni red, koji maksimalnu dužinu dostiže na početku zelenog signala. Pojavom zelenog signalnog pojma, vozila u redu napuštaju raskrsnicu konstantnim intenzitetom izlaznog potoka s , odnosno intenzitetom zasićenog saobraćajnog toka. Tokom procesa rasformiranja inicijalnog reda, istovremeno se realizuje proces pridruživanja vozila na kraju reda. Red se prazni intenzitetom koji je jednak razlici intenziteta izlaznog i ulaznog potoka ($s-q$). Posmatrana grupa vozila nakon napuštanja raskrsnice započinje kretanje duž deonice formirajući inicijalni plotun. Osnovna pretpostavka je da sva vozila iz reda čine inicijalni plotun.

U nezasićenom ciklusu intenzitet pražnjenja reda i pripadajuće zeleno vreme su takvi da se red isprazni pre isteka zelenog vremena. U preostalom periodu zelenog vremena, na prilazu raskrsnice ne postoji red, tako da vozila koja se pojavljuju tokom preostalog dela zelenog vremena napuštaju raskrsnicu intenzitetom ulaznog potoka q (Čelar et al., 2018). Ova vozila realizuju različite intervale sleđenja koja zavise od intenziteta ulaznog potoka. U realnim uslovima interval sleđenja može značajno varirati. Minimalna vrednost odgovara vrednosti intervala sleđenja pri pražnjenju reda intenzitetom zasićenog saobraćajnog toka (ZST), dok je maksimalna vrednost jednaka preostalom delu zelenog signala nakon pražnjenja reda. U određenim situacijama, a u zavisnosti od realizovanog intervala sleđenja kao i pozicije, ova vozila se mogu priključiti inicijalnom plotunu. U tom slučaju konačan broj vozila u plotunu činiće vozila iz inicijalnog plotuna, kao i vozila koja su mu se priključila. Poznavanje broja vozila u plotunu predstavlja osnovni preduslov za uspostavljenje efikasnog rada svetlosnih signala duž kooridora.

Predmet istraživanja ovog rada su vozila koja se opslužuju nakon rasformiranja reda, dok je osnovni cilj rada formiranje modela logističke regresije za definisanje pripadnosti ovih vozila inicijalnom plotunu.

Rad je organizovan na sledeći način: nakon uvodnih razmatranja, opisan je problem utvrđivanja veličine plotuna koja zavisi od broja priključenih vozila, prikazani su rezultati obavljenih istraživanja, zatim je

predstavljena logistička regresija kao jedna od metoda klasifikacije podataka. Konačno je prikazan formiran model logističke regresije.

2. OPIS PROBLEMA

Sa aspekta upravljanja saobraćajem putem svetlosnih signala, od velikog značaja je poznavanje parametara plotuna vozila. Kao osnovni parametri definišu se broj i interval sleđenja vozila u plotunu. Broj vozila u plotunu u nezasićenim stanjima zavisice od broja vozila u redu kao i realizovanih intervala sleđenja vozila koja svoj zahtev ispostavljaju nakon rasformiranja reda.

Na tri gradske arterije su obavljena istraživanja formiranja plotuna vozila. Na osnovu obavljenih istraživanja poznati su naredni podaci: interval sleđenja između vozila na liniji zaustavljanja; ukupan broj vozila koja su prošla liniju zaustavljanja; ukupan broj vozila iz reda; tačna pozicija svakog registrovanog vozila na dvestotom metru od linije zaustavljanja, kao i intervali sleđenja na preseku na 200 m. (Kajalić, 2020)

Analizom rezultata istraživanja uočava se da značajan procenat vozila van reda (od 34% do 91% u zavisnosti od lokacije) realizuje interval sleđenja manji od 3s. Međutim, na osnovu dobijenih vrednosti ne može se apriori tvrditi da će sva ova vozila predstavljati deo plotuna, s obzirom da je za to neophodna realizacija kritičnog intervala sleđenja u kontinuitetu.

Realizacija većih intervala sleđenja vozila iz ove grupacije, ne vodi direktno do zaključka da ona ne pripadaju plotunu, s obzirom na činjenicu da se u pojedinim slučajevima ova vozila mogu priključiti plotunu. Pod priključivanjem plotunu se podrazumeva realizacija neke od sledećih situacija na prvom preseku:

- Vozilo je sustiglo plotun;
- Vozilo je prestiglo makar jedno vozilo iz plotuna.

Smatra se da je vozilo sustiglo plotun kada je njegovo kretanje uslovljeno kretanjem vozila iz plotuna. Po priručniku Highway Capacity Manual (HCM) kretanje vozila je uslovljeno kretanjem prethodnog vozila (vozilo iz iste saobraćajne trake) ukoliko je realizovana vrednost intervala sleđenja manja ili jednaka 3 s (HCM, 2010).

Sa druge strane, nezavisno od realizovanog intervala sleđenja, smatra se da se vozilo priključilo plotunu ukoliko je prestiglo makar jedno vozilo iz plotuna. Verovatnoća priključivanja plotunu, pored intervala sleđenja, zavisice i od pozicije posmatranog vozila u odnosu na poslednje vozilo iz inicijalnog plotuna, posmatrano na raskrsnici na kojoj dolazi do njegovog formiranja.

Realizacija priključivanja vozila plotunu analizirana je na osnovu realnih podataka dobijenih istraživanjem. U postupku analize, za svako pojedinačno vozilo koje nije deo reda, a nakon prve realizacije većeg intervala sleđenja od definisane kritične vrednosti, evidentirani su naredni parametri:

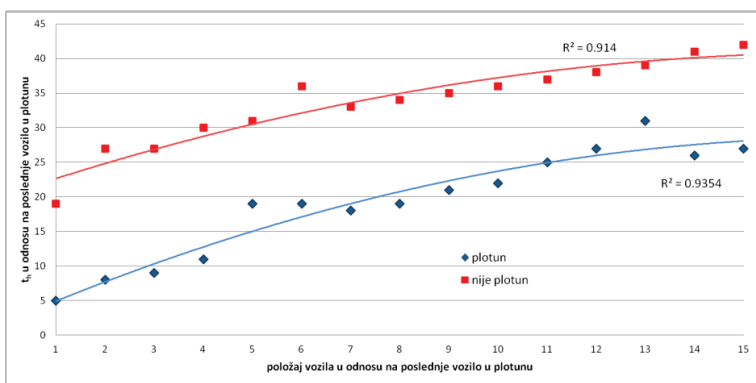
- Pozicija posmatranog vozila u odnosu na poslednje vozilo iz plotuna;
- Interval sleđenja posmatranog vozila u odnosu na poslednje vozilo iz plotuna.

Pod poslednjim vozilom iz plotuna smatra se poslednje vozilo sa kontinualnom realizacijom manjeg intervala sleđenja u odnosu na kritičan. Poslednje vozilo iz plotuna može biti i vozilo van reda.

Na osnovu definisanih kriterijuma priključivanja plotunu, svako posmatrano vozilo grupisano je u zavisnosti od realizacije događaja, na sledeći način:

- I grupa – čini je uređeni set parova (interval sleđenja, pozicija) za vozila koja se priključuju plotunu;
- II grupa - čini je uređeni set parova (interval sleđenja, pozicija) za vozila koja se ne priključuju plotunu.

Na osnovu svih dobijenih podataka, a za obe grupe vozila utvrđene su granične vrednosti intervala sleđenja za svaku poziciju, koje su predstavljene narednim grafikom (Slika 1) (Kajalić, 2020).



Slika 1: Zavisnost intervala sleđenja i pozicije vozila od realizacije priključivanja plotunu

Posmatrajući sve intervale sleđenja za posmatranu poziciju vozila, koji su manji od granične vrednosti prve grupe, verovatnoća realizacije istog događaja (vozilo se priključilo plotunu) jednaka je jedinici. I obrnuto, za sve intervale sleđenja za posmatranu poziciju vozila, koji su veći od granične vrednosti druge grupe, verovatnoća realizacije istog događaja (vozilo se nije priključilo plotunu) jednaka je jedinici (Slika 1).

Pozicije vozila i granične vrednosti intervala sleđenja posmatrane po ishodima daju jake veze koje su opisane krivim (Slika 1). Vrednosti koeficijenta determinacije se kreću od 0.91 do 0.94. Na osnovu formiranih krivih se može zaključiti da se sva vozila koja realizuju kombinaciju parametara koji se nalaze iznad gornje krive mogu tretirati kao da nisu deo plotuna, odnosno za sve kombinacije parametara koje se nalaze ispod donje krive, smatra se da su vozila deo plotuna. Za preostale kombinacije parametara koje se nalaze između dve krive moguće su realizacije oba ishoda.

3. PRIMENA METODE KLASIFIKACIJE PODATAKA PRI UTVRĐIVANJU PRIPADNOSTI VOZILA PLOTUNU

Za donošenje odluke da li vozilo pripada plotunu neophodno je primeniti neku od metoda klasifikacije podataka. Metode klasifikacije podataka se primenjuju za uspostavljanje veze između nezavisnih i zavisnih promenljivih u situacijama kada izlazna zavisna promenljiva nije numerička vrednost, odnosno predstavljena je kao kvalitativna promenljiva, što je ovde slučaj. (James et al., 2013) U radu je primenjena logistička regresija.

Metod logističke regresije proračunava verovatnoću da će za kombinaciju poznatih ulaznih podataka, doći do realizacije određenog događaja.

Ukoliko je X nezavisna slučajna promenljiva na osnovu koje treba predvideti Y , pri čemu Y može da ima samo dve vrednosti, $Y = \{0, 1\}$, u pitanju je binarna logistička regresija.

$$Y = \begin{cases} 1, & P(x) \geq q \\ 0, & P(x) < q \end{cases} \quad (1)$$

pri čemu q predstavlja definisanu fiksnu vrednost koja je najčešće 0.5, ali može uzeti i drugu vrednost.

Kako bi izvršili predikciju pozitivnog ishoda ($y=1$) primenjuje se logistička funkcija koja ima sledeći oblik (James et al., 2013):

$$P(y = 1|x) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \dots + \beta_k \cdot x_k)}} \quad (2)$$

Nezavisne promenljive su definisane kao x_1, x_2, \dots, x_k , pri čemu k predstavlja broj posmatranih promenljivih u modelu, β_j predstavljaju koeficijente, pri čemu se j kreće od 0 do k .

Verovatnoća ishoda $y=0$, dobija se kao:

$$P(y = 0|x) = 1 - P(y = 1|x) \quad (3)$$

Daljom manipulacijom formula (2) i (3) dobija se (James et al., 2013):

$$\frac{P(X)}{1 - P(X)} = e^{(\beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \dots + \beta_k \cdot x_k)} \quad (4)$$

$$\log\left(\frac{P(X)}{1-P(X)}\right) = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \dots + \beta_k \cdot x_k \quad (5)$$

Leva strana formule (5) naziva se logit i zavisi od linearne veze između koeficijenata β_j i vrednosti nezavisnih promenljivih. Koeficijenti β_j su nepoznati, i moraju biti procenjeni na osnovu dostupnog seta podataka koji se koristi za treniranje modela. Ovo ujedno predstavlja prvu fazu u formiranju modela logističke regresije.

Matematička formulacija koja se koristi u proceduri utvrđivanja vrednosti koeficijenata β_j , naziva se funkcija verodostojnosti i ima oblik (James et al., 2013):

$$l(\beta) = \sum_{i=1}^n [y_i \cdot \log(P(X)) + (1 - y_i) \cdot \log(1 - P(X))] \quad (6)$$

Prikazana formula se definiše kao kriterijumska funkcija koja predstavlja sumu verodostojnosti za svaki pojedinačni ulazni set podataka. Maksimiziranjem kriterijumske funkcije težimo da odredimo vrednosti koeficijenata β_j , tako da na osnovu proračuna verovatnoće (2) dobijemo tačan ishod za što veći broj ulaznih podataka. Ovo se najčešće radi Newton-ovim iterativnim postupkom. Definisane vrednosti koeficijenata nam omogućava da formiramo model što ujedno predstavlja drugu fazu u procesu formiranja modela logističke regresije. Formiranim modelom logističke regresije, sa utvrđenim vrednostima koeficijenata β_j , kao izlazni rezultat dobijamo verovatnoću realizacije pozitivnog ishoda, na osnovu koje se dalje vrši klasifikacija promenljive. Pozitivan ishod podrazumeva da je $Y=1$, odnosno vozilo pripada plotunu, dok se za $Y=0$ smatra da vozilo ne pripada plotunu. Svaki novi podatak se na osnovu formiranog modela klasifikuje u klasu koja je za njega verovatnija.

Poslednja, treća faza podrazumeva testiranje modela koje se vrši nad poznatim skupom zavisno/nezavisnih promenljivih, nad kojima nije vršeno treniranje modela.

4. FORMIRANJE MODELA LOGISTIČKE REGRESIJE

Kao što je u prethodnom delu tekstu objašnjeno, procedura formiranja modela logističke regresije sastoji se od nekoliko faza:

- treniranje modela
- formiranje modela za utvrđene jedinstvene vrednosti koeficijenata β_j ,
- testiranje modela

Primenom MatLab-a, treniranje modela se obavljalo kroz više iteracija, pri čemu se kroz svaku iteraciju slučajnim odabirom formira skup podataka nad kojim se vrši treniranje modela. Broj iteracija zavisi od veličine uzorka.

Nakon utvrđivanja vrednosti koeficijenata, vrši se testiranje formiranog modela nad preostalim skupom poznatih vrednosti zavisno/nezavisnih promenljivih i vrši se ocena preciznosti modela, kao i brzina primene modela koja se ogleda u broju opservacija u jedinici vremena.

U konkretnom slučaju skup podataka koji je služio za formiranje modela, činili su podaci sa tri gradske arterije (Kajalić, 2020). Podaci su obuhvatali informacije vezane za poziciju svakog vozila i interval sleđenja u odnosu na poslednje vozilo iz plotuna, kao i konačan ishod po kome se vozilo priključilo ili nije priključilo plotunu. Poslednje vozilo iz plotuna predstavlja poslednje vozilo iz reda. Logistička regresija se primenjivala samo na vozila koja nisu deo reda od momenta prve realizacije intervala sleđenja većeg od definisane kritične vrednosti.

Za svako posmatrano vozilo poznat je ishod događaja (vozilo se priključilo plotunu ili ne). Realizacije mogućih ishoda kodirane su vrednostima 1 kada se vozilo priključilo plotunu, odnosno 0 u suprotnom slučaju.

Kako bi skup podataka bio formiran, bilo je neophodno odrediti vrednosti kritičnog intervala sleđenja. Model je testiran za tri vrednosti kritičnog intervala (3 s, 2.5 s i 2.1 s). Izbor vrednosti kritičnog intervala sleđenja izvršen je na osnovu pregleda literature. (Athol, 1968), (Praveen & Ashalatha, 2016), (Mashros et al., 2014).

Tabela 1: Prikaz dobijenih preciznosti modela, za razičite vrednosti kritičnog intervala sleđenja t_h

Kritičan interval sleđenja	3 s	2.5 s	2.1 s
N	508	557	626
Preciznost modela	0.82	0.82	0.83

U Tabeli 1 su prikazane vrednosti preciznosti primenjenog modela u zavisnosti od usvojene veličine kritičnog intervala sleđenja. Promenom veličine kritičnog intervala sleđenja menja se preciznost dobijenog modela. Što je manji kritičan interval sleđenja, veća je preciznost modela. Potrebno je napomenuti da promenom kritičnog intervala sleđenja posledično dolazi do promene veličine uzorka (N), odnosno pooštavanjem kriterijuma, povećava se uzorak (Tabela 1). Preciznost modela zavisi od senzitivnosti i specifičnosti modela. Senzitivnost modela se odnosi na tačnost klasifikacije za $y=1$, dok specifičnost se odnosi na tačnost klasifikacije za $y=0$.

Poređenjem dobijenih rezultata prikazanih u tabeli (Tabela 1) može se uočiti da smanjenjem kritičnog intervala sleđenja dolazi do povećanja preciznosti modela. Međutim, pre odabira kritičnog intervala sleđenja izvršena je dodatna analiza. Primenjena mera za ocenu preciznosti klasifikacije je c-statistika ili AUC (area under curve) koja predstavlja površinu ispod ROC (Receiver Operating Characteristic) krive. Vrednosti površine ispod krive se kreću u opsegu od 0.5 do 1 (Peng et al., 2002).

Tabela 2: Kvalitet razdvajanja u zavisnosti od vrednosti AUC

AUC	
0.5	Nema razdvajanja
0.5-0.7	Loše razdvajanje
0.7-0.8	Prihvatljivo razdvajanje
0.8-0.9	Odlično razdvajanje
>0.9	Izvanredno razdvajanje

Svaka tačka krive predstavlja uređeni par (senzitivnost, specifičnost) koji odgovara pojedinačnom nivou odlučivanja. Ocena AUC od 0.5 odgovara teorijskoj krivoj za test kod koga nema razdvajanja (identična raspodela rezultata dve grupe), a predstavlja liniju koja spaja uređeni par (0,0) i (1,1). Dok ocena AUC od 1 predstavlja liniju koja je paralelna sa x-osom, dok y-osu seče u jedinici. U realnim slučajevima ROC krive se nalaze između ovih graničnih vrednosti, a kvalitativno gledano ona koja je bliža gornjem levom uglu ukazuje na test sa većom preciznošću.

Vrednosti AUC, površina ispod ROC krive, za različite vrednosti kritičnog intervala sleđenja prikazane su u narednoj tabeli (Tabela 3).

Tabela 3: Vrednosti AUC, površina ispod ROC krive, za različite vrednosti kritičnog intervala sleđenja t_h

Kritičan interval sleđenja	3 s	2.5 s	2.1 s
AUC	0.79	0.84	0.86

Poređenjem dobijenih ROC krivih za različite vrednosti kritičnog intervala sleđenja i površine dobijene ispod njih za svaki od predloženih modela prikazane su u tabeli. Rezultati pokazuju prihvatljivo razdvajanje za vrednost kritičnog intervala sleđenja od 3s, dok se za vrednosti kritičnog intervala od 2.5 i 2.1 sekundu dobija odlično razdvajanje.

Na osnovu prikazane analize rezultata primenom logističke regresije za različite vrednosti kritičnog intervala sleđenja, može se doći do zaključka da model sa primenjenim intervalom sleđenja od 2.1 s daje najbolje poklapanje sa podacima, zbog čega se usvaja kao model za utvrđivanje pripadnosti vozila plotunu.

Usvojenim modelom logističke regresije za definisanje pripadnosti vozila plotunu proračunava se verovatnoća realizacije pozitivnog ishoda događaja. Usvojeni model ima konačan oblik:

$$P(x) = \frac{1}{1 + e^{-(2.772106 + 0.419244 \cdot x_1 - 0.21247 \cdot x_2)}} \quad (7)$$

gde je $P(x)$ verovatnoća realizacije pozitivnog ishoda događaja, x_1 interval sleđenja posmatranog vozila u sekundama i x_2 pozicija vozila u odnosu na poslednje vozilo iz plotuna.

5. ZAKLJUČAK

Sa aspekta upravljanja saobraćajem putem svetlosnih signala, od velikog značaja je poznavanje broja vozila u plotunu. U nezasićenim stanjima dolazi do realizacije većih intervala sleđenja između vozila koja svoj zahtev realizuju nakon rasformiranja reda. U određenim situacijama ova vozila se mogu priključiti plotunu, a verovatnoća njihovog priključivanja zavisice od realizovanog intervala sleđenja i pozicije vozila u odnosu na poslednje vozilo u plotunu. U radu je primenjen model logističke regresije za utvrđivanje pripadnosti

vozila plotunu. Na osnovu prikazane analize rezultata primenom logističke regresije za različite vrednosti kritičnog intervala sleđenja, može se doći do zaključka da model sa usvojenom kritičnom vrednosti od 2.1 s daje najbolje poklapanje sa podacima i u 83% slučajeva će izvršiti dobru procenu.

LITERATURA

- [1] Athol, P. (1968). Headway groupings. *Highway Research Record, Highway Research Board*, 72, 137–155. <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/hrr/1965/72/72-007.pdf>
- [2] Čelar, N., Stanković, S., & Kajalić, J. (2018). *Osnove upravljanja svetlosnim signalima*. Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet.
- [3] HCM. (2010). *Highway Capacity Manual* (Vol. 4). Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
- [4] James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). *An Introduction to Statistical Learning* (Vol. 103). Springer, New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7138-7>
- [5] Kajalić, J. (2020). *Modeliranje kretanja plotuna vozila na gradskim arterijama*. Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet.
- [6] Mashros, N., Hainin, M. R., Hassan, N. A., Yunus, N. Z. M., & Kadir, M. A. A. (2014). Exploring the pattern of platoon dispersion caused by traffic signal. *Jurnal Teknologi*, 71(3), 7–13. <https://doi.org/10.11113/jt.v71.3751>
- [7] Peng, C. J., Lee, K. L., & Ingersoll, G. M. (2002). An Introduction to Logistic Regression Analysis and Reporting; The Journal of Educational Research, Vol. 96(1). *The Journal of Educational Research*, 96(1), 3–14.
- [8] Praveen, P. S., & Ashalatha, R. (2016). Platoon diffusion along signalized corridors. *Procedia Technology*, 25 (Raerest), 154–161. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.08.092>



MODELI ZA PROGNOZU BROJA PUTNIKA NA AERODROMU TIVAT

AIR PASSENGER FORECASTING MODELS FOR AIRPORT TIVAT

MILICA KALIĆ, SLAVICA DOŽIĆ, DANICA BABIĆ

Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, m.kalic@sf.bg.ac.rs, s.dozic@sf.bg.ac.rs, d.babic@sf.bg.ac.rs

Rezime: U ovom radu predložena su dva modela za prognozu broja putnika na aerodromu Tivat do 2025. godine. Prvi model je baziran na ekstrapolaciji trenda, a drugi pripada grupi ekonometrijskih modela. Prepoznati su glavni faktori koji utiču na obim vazdušnog saobraćaja i putničku potražnju na turističkom aerodromu sa izraženom sezonalnošću u toku godine. Rezultat ekonometrijskog modela pokazuje da na porast broja putnika na aerodromu Tivat najveći uticaj imaju prisustvo usluge niskotarifnih avio-kompanija i porast broja ležajeva u turističkoj ponudi.

Ključne reči: prognoza putničkog prometa, ekonometrijski model, Aerodrom Tivat

Abstract: In this paper, two forecast models are proposed for assessing the air travel demand on airport Tivat up to 2025. First model is based on trend extrapolation, while the second one is an econometric model. The main demand drivers for tourist airport with high seasonal demand are identified. The econometric results show that both low-cost service and number of beds have the greatest impact on passenger demand on airport Tivat.

Keywords: air travel demand forecast, econometric model, Airport Tivat.

1. UVOD

Aerodrom Tivat se nalazi na crnogorskom primorju, južno od Bokokotorskog zaliva i opslužuje celo primorje Crne Gore. Pored Aerodroma Tivat, i aerodrom u Podgorici opslužuje u maloj meri jedan deo crnogorskog primorja. Izgradnjom tunela Sozina, 2005. godine, značajno je skraćeno vreme putovanja u drumskom saobraćaju, tako da se od aerodroma Golubovci u Podgorici do južnog dela primorja stiže znatno brže (za 45 minuta do Sutomora i za oko jedan sat do Bara).

Aerodrom Tivat je turistički aerodrom sa izraženim saobraćajnim opterećenjem u periodu od juna do septembra meseca. U letnjoj sezoni, u periodu od četiri meseca, Aerodrom Tivat opsluži oko 75% od ukupnog godišnjeg broja putnika. Treba napomenuti da ovaj aerodrom beleži značajan porast u ukupnom broju opsluženih putnika. U 2004. godini opsluženo je 336,5 hiljada putnika, a u 2019. čak milion i 376 hiljada putnika, što znači da je u periodu od poslednjih 15 godina, broj opsluženih putnika učetvorostručen. Turizam ima veliki uticaj na ukupni ekonomski razvoj Crne Gore. Sa aspekta učešća u bruto domaćem proizvodu (BDP), doprinos turizma raste iz godine u godinu. S obzirom na to da zvanični statistički podaci se oslanjaju na podatke registrovanih smeštajnih kapaciteta, udeo turizma u BDP, prema Upravi za statistiku Crne Gore – MONSTAT-u nije dovoljno verodostojan. Zato se u literaturi mogu pronaći procenjeni prihodi od turizma i procenjeno učešće u BDP Crne Gore. U Crnoj Gori, u 2019. godini ovo učešće je iznosilo 25% (EBRD, 2020).

Posle 2005. godine značajno se ističe neto priliv direktnih stranih investicija na šta je uticao kako proces privatizacije, tako i atraktivnost crnogorskog primorja. U strukturi priliva direktnih stranih investicija dominiraju ulaganja u nekretnine, a znatno manje ulaganja u preduzeća. Značajan deo priliva direktnih stranih investicija realizovan je kroz nekretnine (posebno u 2006. i 2007. godini). Tako se u 2006. godini, od ukupnog priliva stranih direktnih investicija čak 52,6% odnosilo na nekretnine (Fabris i ostali, 2008). U periodu od 2005. do 2010. godine ruski državljanji su postali vlasnici oko 100 hiljada nekretnina. Godine 2018. zabeležena je značajna prodaja nekretnina čiji su vlasnici Rusi, a kao kupci su počeli da se pojavljuju turski državljanji. I pored prodaje nekretnina od strane Rusa, u 2019. godini nekretnine u Crnoj Gori su kupovali u znatno manjem iznosu takođe državljani Ruske Federacije, kao i državljani Republike Srbije i Turske. Pored nekretnina, turski državljanji postaju vlasnici crnogorskih firmi, hotela, i železare u Nikšiću, a takođe su i otvorili svoju banku (Ziraat Bank Montenegro u Podgorici).

Na osnovu podataka MONSTAT-a, od ukupnog broja turista u Crnoj Gori, oko 90% odmor provodi na crnogorskom primorju. Turisti su smešteni u hotelima, zdravstvenim centrima, kampovima, privatnim sobama (registrovanim i neregistrovanim), iznajmljenim stanovima i u svojim stanovima i kućama. Prema podacima MONSTAT u Crnoj Gori je u 2005. godini bilo 120 hiljada registrovanih ležajeva, a studija koju je sproveo Međunarodni institut za turizam u Ljubljani procenila je da je ukupan broj ležajeva u toj godini bio 300 hiljada. (Ministarstvo turizma i zaštite životne sredine, 2008). Što se tiče obima i strukture turista na crnogorskom primorju, u 2018. godini, najviše su zastupljeni državljani Srbije (18,6%) i Rusije (15,4%), zatim državljani Bosne i Hercegovine (8,8%), a onda slede turisti iz Nemačke, Francuske, Poljske, Albanije itd. Više od dve trećine turista letuje u individualnom smeštaju (Centralna banka Crne Gore, 2019).

Jasno je da je najveći broj putnika na Aerodromu Tivat iz Rusije i Srbije. Važno je napomenuti da, turisti iz Srbije dolaze u Crnu Goru kako vazдушnim tako i drugim vidovima prevoza (autobusom, vozom i sopstvenim automobilom). S obzirom na veliku udaljenost Rusije od Crne Gore i veliki broj nekretnina u vlasništvu ruskih državljana, putnici iz Ruske Federacije koriste isključivo avionski prevoz. Zato je ubedljivo najveći broj putnika na aerodromu Tivat iz Rusije (oko 50% od ukupnog broja opsluženih putnika u 2019). Na drugom mestu su putnici iz Srbije. Od ukupnog broja putnika (1,367 miliona) na aerodromu Tivat u 2019. godini, preko milion putnika je iz Rusije, Srbije, Ukrajine i Belorusije.

Na Aerodromu Tivat su tokom 2018. godine saobraćaj obavljale 42 avio-kompanije, pri čemu je samo 5 avio-kompanija obavljalo redovan saobraćaj. Imajući u vidu izraženu sezonalnost ovog aerodroma, očekivano je da u ukupnom prometu vazduhoplova redovan saobraćaj ima manje učešće (47%), dok je čarter učestvovao sa 53%.

Aerodromi Crne Gore navode u svom izveštaju (2019) da se sa tivatskog aerodroma, u 2018. godini, saobraćaj obavljao ka više od 40 destinacija. Najveće učešće u broju prevezenih putnika u 2018. godini ostvarile su avio-kompanije Montenegro Airlines (21,28%), Air Serbia (9,03%), Aeroflot (7,25%), Globus (6,47%), Pobeda Airlines (6,21%), Rossiya Airlines (4,42%), Belavia (4,36%) i Easy Jet (3,95%), što je ukupno 63,97%. Interesanto je da je polovina navedenih avio-kompanija iz Rusije (Aeroflot, Globus, Pobeda Airlines i Rossiya Airlines). Kada je reč o učešću u broju vazduhoplovnih operacija, iste avio-kompanije ostvaruju najveće učešće i to: Montenegro Airlines – 23,64%, Air Serbia – 9,39 %, Aeroflot – 6,76%, Globus – 3,81%, Pobeda Airlines – 3,08%, Rossiya Airlines – 2,66%, Belavia – 2,16% i EasyJet – 2,13%, što je ukupno 53,63%.

U ovom radu razvijena su dva modela za prognozu broja putnika na aerodromu Tivat. Prvi se bazira na ekstrapolaciji trenda (metod nezavisne ocene) i ne uzima u obzir faktore koji utiču na broj putnika. Drugi model pripada grupi ekonometrijskih modela (kauzalni modeli), koji uzimaju u obzir faktore koji utiču na obim vazdušnog saobraćaja i putničku potražnju, ispituje njihovu vezu sa zavisnom promenljivom, a sve u cilju formiranja funkcionalne veze koja će uz ocenjene vrednosti tih faktora za period za koji se radi prognoza, predvideti broj putnika na aerodromu. Dva potpuna različita pristupa u prognoziranju putničke potražnje na aerodromu mogu da ilustruju prednosti i mane njihove primene i da ukažu na to kada je opravdano koristiti jedan, a kada drugi pristup.

2. PREGLED LITERATURE

U literaturi se mogu naći radovi koji se bave modeliranjem putničke potražnje kao i prognozom broja putnika na aerodromu i šire (region, država). U ovom radu glavni akcenat je na kauzalnom metodu koji pretpostavlja da postoje uzroci i efekti veze između ulaznih i izlazne promenljive u modelu. Ovim modelima se pronalaze ulazne promenljive koje opisuju pokretače razvoja turizma i uopšte ekonomije u cilju određivanja njihove veze se izlazom iz sistema, što je u ovom slučaju godišnji broj putnika na aerodromu. U radu Plakandaras i ostalih (2019) je dat detaljan pregled korišćenih ulaznih promenljivih u različitim modelima predviđanja putničke potražnje u saobraćaju i transportu, a koji se mogu svrstati u socio-ekonomske karakteristike (bruto domaći proizvod, direktne strane investicije, cena goriva, devizni kurs, demografske karakteristike, karakteristike putnika – turista, itd.) kao i karakteristike ponude opslužnog područja. Profillidis (2000) se u svom radu bavio prognozom broja međunarodnih putnika na aerodromu Rodos, u Grčkoj, koja je bazirana na fazi linearnoj regresiji, uzimajući u obzir devizni kurs grčke valute i valuta država iz kojih dolaze strani turisti. Carmona-Benitez i ostali (2017) su primenili dinamički ekonometrijski model za ocenu putničke potražnje u vazdušnom saobraćaju na primeru 30 država u Meksiku. Korišćeni su indikator ekonomske aktivnosti, indikator aktivnog dela stanovništva, indeks potrošačkih cena (*National Consumer Price Index*), ukupan broj letova, zauzetost kapaciteta hotela i devizna zarada od međunarodnih dolazaka. Abed i ostali (2001) su ocenili broj putnika u međunarodnom vazdušnom saobraćaju u Saudijskoj Arabiji, na osnovu 16 ulaza, pri čemu su se kao najuticajnije izdvojile ukupna

potrošnja i broj stanovnika. Hakim i Merkert (2017) su razmatrali putničku potražnju u vazдушnom saobraćaju u državama južne Azije. Rezultati ukazuju na to da prihodi po glavi stanovnika, direktne strane investicije, frekvencija letenja i cena mlaznog goriva imaju vitalnu ulogu u određivanju putničke potražnje u vazдушnom saobraćaju u posmatranim zemljama sa niskim prihodima. U studiji koju je radio Saobraćajni fakultet 1982. godine za Aerodrom Tivat, procenjen je obim saobraćaja u 1985. i 1990. godini (Kalić, 2012). Utvrđena je funkcionalna veza između broja ležajeva i ukupnog međunarodnog putničkog prometa na aerodromu Tivat pri čemu je korišćena jednostruka linearna regresija.

3. PODACI

Podaci korišćeni za izradu ovog rada su prikupljeni iz različitih izvora. Podaci o putničkom prometu sa Aerodroma Tivat i podaci koji se odnose na smeštajne kapacitete u Crnoj Gori su preuzeti sa sajta Uprave za statistiku Crne Gore – MONSTAT, dok su ekonomski pokazatelji preuzeti sa sajta Svetske banke. Podaci su prikupljeni za period od 2007-2019. godine (tabela 1).

Tabela 1: Ulazni podaci

Godina	BDP _{CG} (US\$)	LCC	FDI (US\$)	Broj ležajeva (L)	Broj putnika (Pax)
2007	3 680 710 375	0	778 132 752	139 529	574 011
2008	4 545 674 528	0	864 994 188	151 066	570 636
2009	4 159 328 980	0	1 504 474 111	167 394	532 148
2010	4 139 192 053	0	731 120 046	160 063	541 850
2011	4 538 199 889	0	538 667 587	139 062	647 193
2012	4 087 725 813	0	590 272 082	150 851	725 392
2013	4 464 261 816	0	428 808 173	150 097	868 250
2014	4 587 928 884	0	469 111 632	152 244	910 534
2015	4 052 913 386	0	687 462 796	156 031	895 004
2016	4 374 128 319	1	411 575 994	158 192	982 559
2017	4 844 592 067	1	549 592 541	157 048	1 129 720
2018	5 504 166 667	1	379 074 548	160 910	1 244 592
2019	5 494 736 901	1	386 626 598	170 000*	1 367 282

*Procenjena vrednost

Broj putnika na Aerodromu Tivat beleži konstantan rast u periodu od 2007-2019. godine, pri čemu se broj putnika povećao sa oko 570 hiljada u 2007. na preko 1,3 milion u 2019. godini, tabela 1. Manji pad broja putnika desio se 2010. godine, kao posledica svetske ekonomske krize. U 2017. godini aerodrom Tivat je dostigao broj od milion putnika u jednoj godini, prvi put u istoriji postojanja. Imajući u vidu da je Tivat prevažno aerodrom koji koriste turisti ovo povećanje prometa u poslednjih 12 godina svakako je imalo direktnog i indirektnog uticaja i na nacionalnu ekonomiju. U posmatranom periodu može se primetiti i porast bruto domaćeg proizvoda Crne Gore (*BDP_{CG}*), koji je važan zbog jačanja ekonomije Crne Gore i porasta kupovne moći njenih građana koji takođe tokom godine koriste usluge na aerodromu Tivat. Postojanje ponude niskotarifnih avio-kompanija na aerodromu Tivat opisuje se vrednošću *LCC* koja je jednaka 1 ako niskotarifne avio-kompanije obavljaju saobraćaj na aerodromu, dok je u ostalim slučajevima jednaka 0.

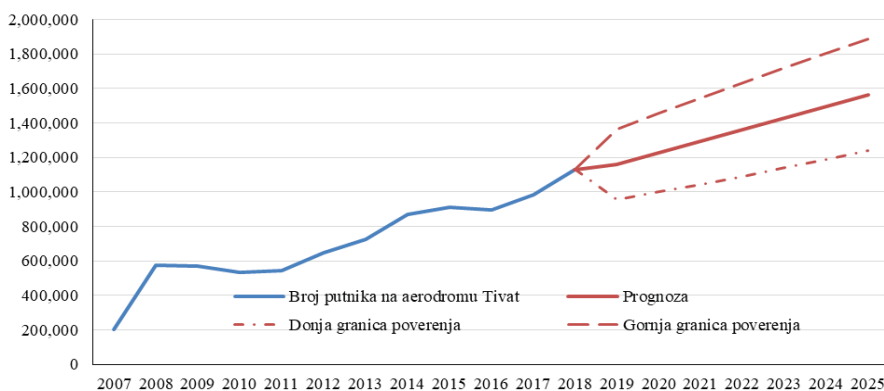
Direktne strane investicije (*foreign direct investment* – FDI) imaju veoma važnu ulogu u globalnoj ekonomiji i imaju ogroman uticaj na domaću ekonomiju, a posebno na razvoj turizma jedne zemlje. Zbog tesne veze između FDI i razvoja turizma ovaj parametar ukazuje i na međunarodni aspekt razvoja turističke industrije, a samim tim je dobar pokazatelj i razvoja međunarodnog aerodroma. Tokom posmatranog perioda došlo je do značajnog priliva direktnih stranih investicija u Crnu Goru, što je važan generator ekonomskog rasta. Najatraktivniji sektori za strane investitore bili su turizam (oko trećine ukupnog priliva FDI odnosi se na ovaj sektor), bankarstvo, telekomunikacije i energetski sektor (Fabris i ostali, 2008). U posmatranom periodu (tabela 1), prosečan priliv FDI iznosio je 640 miliona evra.

Porast broja putnika na aerodromu Tivat, koje u najvećoj meri čine turisti, morao je biti ispraćen i odgovarajućim porastom smeštajnog kapaciteta. Broj ležajeva dat u tabeli 1 uključuje sve ležajeve koji su ponuđeni u kolektivnom i individualnom smeštaju. Može se primetiti da do 2009. godine broj raspoloživih smeštajnih jedinica raste. Od 2009. do 2011. godine zabeležen je određen pad raspoloživih smeštajnih kapaciteta na primorju Crne Gore, da bi se nakon tog perioda broj ležajeva u smeštajnim kapacitetima konstantno uvećavao do 2018. Imajući u vidu da broj ležajeva u kolektivnom smeštaju (hoteli i slično) stalno

raste, došlo se do zaključka da je individualni, odnosno privatni smeštaj uzrok pada ponuđenog smeštajnog kapaciteta. Uvidom u dostupne podatke i zvanična obaveštenja, kao i analizom broja turista u posmatranom periodu, može se pretpostaviti da stvarni broj ležajeva u periodu između 2009. i 2011. nije smanjen, već se smanjio broj zvanično prijavljenih ležajeva.

4. METODOLOGIJA I REZULTATI PROGNOZE

Na osnovu podataka za period 2007-2018. godine, prikazanih u prethodnom poglavlju, urađena je prognoza ukupnog putničkog prometa do 2025. godine ekstrapolacijom trenda. Prognoza je urađena pomoću *Excel Forecast Sheet* alata, koja omogućava prepoznavanje sezonalnosti u korišćenim podacima i prilikom izrade same prognoze detektovana sezonalnost je uzeta u obzir. Prognozirani trend ukupnog putničkog prometa do 2025. godine na aerodromu Tivat prikazan je na slici 1 zajedno sa gornjom i donjom granicom poverenja zasnovanom na nivou tačnosti od 95%. Prognozirani podaci pokazuju da se na aerodromu Tivat do 2025. godine očekuje porast putnika koji će premašiti 1,5 miliona godišnje, kao i da je minimalna očekivana vrednost 1,2 miliona putnika, dok je maksimalna očekivana vrednost oko 1,9 miliona putnika. Imajući u vidu postojeću situaciju u vezi sa pandemijom koronavirusa, nije nerealno očekivati brz oporavak turizma i vazdušnog saobraćaja, kao i dostizanje prognoziranog broja putnika u 2025. godini.



Slika 1. Broj putnika na aerodromu Tivat i prognoza broja putnika do 2025. godinu

Osim ekstrapolacije trenda ukupnog putničkog prometa do 2025. godine na aerodromu Tivat, predložen je i regresioni model za prognozu pomenute promenljive. Velika prednost korišćenja regresionog modela u prognozi je to što omogućava prepoznavanje važnih faktora koji imaju uticaja na posmatranu promenljivu, u ovom slučaju godišnji broj putnika na aerodromu Tivat. Zbog uočene veze između promene broja putnika na aerodromu Tivat i više nezavisnih promenljivih, u ovom radu predložen je model baziran na višestrukoj regresiji. Izabrane nezavisne promenljive su BDP_{CG} , FDI_{CG} , broj ležajeva na primorju Crne Gore (L) i pomoćna varijabla LCC . Pomoćna varijabla LCC reflektuje postojanje ponude niskotarifnih aviokompanija na aerodromu Tivat i tada ima vrednost 1, dok u ostalim slučajevima uzima vrednost 0 (tabela 1). Ova promenljiva je uvedena kako bi se uzeo u obzir i uticaj ponude niskotarifnih aviokompanija na porast broja putnika na aerodromu Tivat u posmatranom periodu.

Za kalibraciju regresionog modela korišćeni su podaci za period 2007-2018. godine. Imajući u vidu činjenicu da se smeštajni kapaciteti prodaju pre sezone, a da se raspoloživi podaci odnose na sezonu, pri modeliranju su za posmatranu godinu uzeti podaci o broju ležajeva za narednu godinu (npr. uz podatke iz 2010. godine koji se odnose na BDP_{CG} , LCC i FDI_{CG} razmatrani su podaci o broju ležajeva iz 2011. godine). Nakon određivanja koeficijenata dobijena je negativna vrednost koeficijenta uz promenljivu FDI_{CG} . Ovakva vrednost koeficijenta ukazuje na to da povećanje stranih direktnih investicija utiče na smanjenje broja putnika na aerodromu, što nije u skladu sa realnom situacijom. Kako bi se ovaj nedostatak modela prevazišao, umesto FDI_{CG} su korišćene kumulativne vrednosti – FDI_{kum} . Kalibracijom modela dobijena je regresiona jednačina (1) za procenu ukupnog broja putnika na aerodromu Tivat:

$$Pax = -543510,255 + 2,83 \cdot 10^{-5} \cdot BDP_{CG} + 116977,997 \cdot LCC + 7,04 \cdot 10^{-5} \cdot FDI_{kum} + 5,403 \cdot L \quad (1)$$

gde je Pax broj putnika na aerodromu Tivat. Sve izabrane nezavisne promenljive imaju pozitivan uticaj na rast broja putnika na aerodromu Tivat u vršnim mesecima.

Koeficijent višestruke korelacije je vrlo visok i iznosi $R=0,95$ ukazujući na vrlo jaku vezu između izabranih nezavisnih promenljivih i broja putnika na aerodromu Tivat. Ovo takođe potvrđuje i vrednost F koja iznosi $F=16,52$, ukazujući na statistički značajnu vezu između promenljivih (*Significance* $F=0,001134$). Višestruki koeficijent determinacije je takođe vrlo visok $R^2=0,9042$, odnosno 90,42% varijabilneta zavisne promenljive može se objasniti nezavisnim promenljivima.

Koeficijent uz promenljivu FDI_{kum} ima pozitivnu vrednost ($7,04 \cdot 10^{-5}$ putnika za povećanje jedne jedinice FDI_{kum} pri ostalim nepromenjenim parametrima), što ukazuje da povećanje ekonomske aktivnosti dovodi do opšteg poboljšanja u svim industrijskim granama, a posebno u vazдушnom saobraćaju koji se u ovom radu analizira kroz razvoj potražnje na aerodromu Tivat. Za svaki novi ležaj imaćemo povećanje broja putnika na aerodromu Tivat u vršnim mesecima za 5,403, ukoliko ostali parametri ostanu nepromenjeni, dok povećanje BDP_{CG} za jedan evro uzrokuje povećanje putnika od $2,83 \cdot 10^{-5}$. Najveći uticaj na promenu broja putnika na aerodromu Tivat ima promenljiva LCC koja na godišnjem nivou utiče na povećanje od 116978 putnika ako su na aerodromu prisutne niskotarifne avio-kompanije.

Kako bi se proverila valjanost kalibrisanog modela, model je testiran na podacima za 2019. godinu. Primenom predloženog regresionog modela dobijen je ocenjeni broj od 1,29 miliona putnika na aerodromu Tivat za 2019. godinu, dok je stvarni broj putnika bio 1,37 miliona (apsolutna greška od 80 hiljada i relativna greška 6%). Kako su rezultati za 2019. godinu zadovoljavajući, predloženi regresioni model je iskorišćen za prognozu broja putnikau 2025. godini.

Kako be se ocenio broj putnika na aerodromu Tivat za period do 2025. godine, neophodno je oceniti vrednosti nezavisnih promenljivih. Prema podacima Evropske banke za obnovu i razvoj (EBRD) u 2020. godini se zbog pandemije izazvane koronavirusom očekuje pad BDP_{CG} u Crnoj Gori od 8% u odnosu na prethodnu, 2019. godinu. Slično smanjenje je pretpostavljeno i za 2021. godinu, nakon čega bi usledio postepeni rast BDP_{CG} od 3% godišnje (procena rasta je izvršena na osnovu podataka Međunarodnog monetarnog fonda). Kada je reč o prisustvu niskotarifnih avio-kompanija, pretpostavlja se da ih neće biti u ponudi tivatskog aerodroma u 2020. i 2021. godini, takođe zbog posledica uticaja pandemije koronavirusa na vazdušni saobraćaj. Prema preliminarnim podacima Centralne banke Crne Gore u prva tri meseca 2020. godine (pre početka pandemije) priliv stranih direktnih investicija bio oko 134,2 miliona evra. Pretpostavljeno je da će ukupan priliv do kraja 2020. godine iznositi 150 miliona evra, kao i da će za 2021. godinu, ta vrednost biti ista. Već nakon toga bi, prema pretpostavci autora, sledio veći porast, a zatim ujednačen rast do 2025. godine (tabela 2). Pretpostavke u vezi sa brojem ležajeva ponuđenih na crnogorskom primorju su bazirane na činjenici da postoji izvestan procenat smeštajnih kapaciteta koji nisu registrovani. Stoga se pretpostavlja da će se broj registrovanih smeštajnih kapaciteta tokom 2020. godine smanjiti zbog izraženog smanjenja turista na teritoriji Crne Gore, nakon čega sledi postepeni porast do 2025. godine.

Tabela 2: Ocenjene vrednosti nezavisnih promenljivih i broja putnika na aerodromu Tivat

Godina	BDP_{CG} (US\$)	LCC	FDI (US\$)	Broj ležajeva (L)	Broj putnika (Pax)
2020	5 055 157 949	0	150 000 000	100 000	736 117
2021	4 500 000 000	0	150 000 000	140 000	947 102
2022	4 635 000 000	1	300 000 000	160 000	1 197 081
2023	4 774 050 000	1	350 000 000	170 000	1 279 687
2024	4 917 271 500	1	400 000 000	180 000	1 365 932
2025	5 064 789 645	1	450 000 000	190 000	1 455 819

Na osnovu ocenjenih vrednosti za izabrane nezavisne promenljive regresionog modela, ocenjen je broj putnika na aerodromu Tivat za period do 2025. godine (tabela 2). Može se primetiti da se prognozirane vrednosti broja putnika dobijene primenom ekstrapolacije trenda i primenom modela zasnovanog na višestrukoj regresiji ne razlikuju značajno.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu su predložena dva modela za prognozu broja putnika na aerodromu Tivat do 2025. godine, pri čemu se prvi bazira na ekstrapolaciji trenda, a drugi pripada grupi ekonometrijskih modela. Osnovna pretpostavka u ekonometrijskom modelu je da na obim vazdušnog saobraćaja i putničku potražnju na aerodromu Tivat utiču bruto domaći proizvod, direktne strane investicije, postojanje usluge niskotarifnih

avio-kompanija i broj ležajeva. Dobijene vrednosti broja putnika na aerodromu Tivat do 2025. godine imaju zadovoljavajuću tačnost. Na osnovu statističkih rezultata može se zaključiti da na porast broja putnika na aerodromu Tivat najveći uticaj imaju prisustvo usluge niskotarifnih avio-kompanija i porast broja ležajeva u turističkoj ponudi. Na osnovu dobijenih rezultata o porastu broja putnika na posmatranom aerodromu, moguće je planirati budući razvoj vazdušnog saobraćaja, pre svega planiranje budućeg kapaciteta potrebnog da se opluži dodatno povećanje putnika, kako sa aspekta avio-kompanija, tako i sa aspekta samog aerodroma.

Rezultati prikazani u ovom radu doprinose novom sagledavanju faktora koji utiču na razvoj vazdušnog saobraćaja na aerodromu Tivat koji su u skladu sa novim trendovima (pojava niskotarifnih avio-kompanija, promena ponašanja turista u odnosu na dužinu boravka i način dolaska do primorja, dolazak državljana Ruske Federacije u velikom broju, i tome slično), a pojavili su se nakon prethodnih istraživanja.

S obzirom na to da se radi o srednjoročnoj prognozi u ovom slučaju je pokazano da su rezultati oba modela slični za 2025. godinu. Međutim, ekstrapolacija trenda je metod koji se koristi u slučaju stabilne situacije na tržištu i za prognoze koje se odnose na kratak i srednji rok. Može se uočiti da postoje veća odstupanja za period od 2020. do 2023. godine u odnosu na predloženi kauzalni model. Kada su u pitanju kauzalni modeli, oni se mogu koristiti za prognoze i u situacijama kada dolazi do izvesnih poremećaja na tržištu jer uzimaju u obzir faktore koji utiču na putničku potražnju, ali zahtevaju znatno više podataka u poređenju sa ekstrapolacijom trenda. Prema tome, razvijanje kauzalnog modela je veoma zahtevno zato što se moraju obezbediti kvalitetni i tačni podaci kako bi se na najbolji mogući način izvršila kalibracija modela. Pored toga, prognoza koja se dobija primenom kauzalnog modela se bazira i na prognozi vrednosti ulaznih promenljivih što ukazuje na složenost modeliranja u ovom drugom pristupu.

LITERATURA

- [1] Abed, S.Y., Ba-Fail, A.O., & Jasimuddin, S.M. (2001). An econometric analysis of international air travel demand in Saudi Arabia. *Journal of Air Transport Management*, 7, 143-148.
- [2] Aerodromi Crne Gore, (2019). Izveštaj o poslovanju za 2018. godinu, Podgorica, Crna Gora.
- [3] Carmona-Benítez, R.B., Nieto, M.R., & Miranda, D. (2017). An Econometric Dynamic Model to estimate passenger demand for air transport industry. *Transportation Research Procedia*, 25, 17–29.
- [4] Centralna banka Crne Gore, (2019). Godišnji makroekonomski izveštaj Centralne banke Crne Gore 2018. godina, Podgorica, Crna Gora.
- [5] EBRD, (2020). <https://www.ebrd.com/documents/admin/montenegro-coronavirus-policy-response-.pdf?blobnocache=true> (pristupano u julu 2020).
- [6] Fabris, N., Kilibarda, B., Kalezić, Z., Radunović, M., & Rakočević, M. (2008). Strane Direktne investicije kao pokretač privrednog razvoja Crne Gore, Centralna banka Crne Gore, Sektor za istraživanja, statistiku i IT. Podgorica, Crna Gora.
- [7] Hakim, M., & Merkert, R. (2019). Econometric evidence on the determinants of air transport in South Asian countries. *Transport Policy*, 83, 120-126.
- [8] Kalić, M. (2016). Planiranje prevoženja i eksploatacija vazduhoplova 1, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, Srbija.
- [9] Ministarstvo turizma i zaštite životne sredine. (2008). Strategija razvoja turizma u Crnoj Gori do 2020. godine. Podgorica, Crna Gora.
- [10] Plakandaras, V., Papadimitriou, T., & Gogas, P. (2019). Forecasting transportation demand for the U.S. market. *Transportation Research Part A*, 126, 195-214.
- [11] Profillidis V.A. (2000). Econometric and fuzzy models for the forecast of demand in the airport of Rhodes. *Journal of Air Transport Management*, 6, 95-100.
- [12] Uprava za statistiku Crne Gore – MONSTAT, <https://www.monstat.org/cg/index.php> (pristupano 2017. i 2020. godine).
- [13] World bank, <https://data.worldbank.org/> (pristupano u julu 2020).



ONLINE VIDEO STREAMING SERVICE ADOPTION BY YOUNGER GENERATION IN SERBIA

SLOBODAN MITROVIĆ¹, SVETLANA ČIČEVIĆ², VALENTINA RADOJIČIĆ³, GORAN MARKOVIĆ⁴

¹ University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, s.mitrovic@sf.bg.ac.rs

² University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, s.cicevic@sf.bg.ac.rs

³ University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, valentin@sf.bg.ac.rs

⁴ University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, g.markovic@sf.bg.ac.rs

Abstract: Among many drivers of digital media penetration, online video streaming services could be considered as one of the most important. This is especially relevant for younger members of society. Thus, the attitudes of the „Generation Z“ towards the adoption of online video streaming services in Serbia by means of questionnaire and applying the TOPSIS method were examined. The results show that Generation Z will rather adopt the online video streaming service than cable TV. Although the difference between obtained values of relative closeness to the ideal solution indicates that there are no large differences in attitudes toward each of the proposed alternatives. Therefore, it is important to broaden the offer with additional products, whether through cable television or online streaming to meet consumer needs, wants, and preferences. Furthermore, some improvements of the questionnaire were proposed.

Keywords: adoption, attitudes, TOPSIS, online video streaming, cable TV

1. INTRODUCTION

The rapid growth of the smart technology and digital media penetration in everyday life could be qualified as one of the most important trends at the end of the second decade of the 21st century. Among many drivers of digital media penetration, online video streaming services could be considered as one of the most important. According to Wescott (2020), the growth of video streaming content consumption will continue to expand. This results that content offered by innovative services like Netflix, Amazon Prime Video, HBO Max, YouTube or Hulu, will continue to broaden the gap between video streaming and traditional TV usage. This is especially obvious among younger members of society. Considering different points of interest within the scope of the telecommunications market, adoption of innovative services could be considered at the two different levels. The first one is at the level of consumer population where new service forecasting could be solved by the Bass diffusion model (Radojičić, Bakmaz, & Veličković, 2013). The second one is related to the individual level, where the focus is on determinants analysis of adoption behavior.

The assessment of innovative service adoption at the individual level seems to be a challenging problem, since, surprisingly, in spite of the importance of the differences between consumers' responses to innovations, no standardized measurements of these concepts have been presented in the available literature (Lee et al., 2018). After a thorough review of past studies, only one paper investigated a comprehensive set of life factors that influence consumer adoption behavior related to the choice between traditional service (i.e. cable television subscription) and innovative one (i.e. online video streaming service subscription), was found. Thus, this study (Lee et al., 2018) was the initial basis for researching the attitudes of the younger generation of users (Generation Z) towards the adoption of online video streaming services in Serbia.

The analyzed study proposes a questionnaire on attitudes related to the adoption of online streaming service (as one alternative) versus cable television service (as another alternative). The questionnaire comprises a number of items, which map onto the factors that may have an impact to the offered alternative adoption. The conducted analysis showed that item formulations do not clearly indicate the prevalence of one alternative over another, therefore the Multiple Criteria Decision Making (MCDM) approach has been used to explore the preference for one of the proposed alternatives.

The impact of younger generation attitudes on the adoption of online streaming services could be significant, regarding the bigger picture of the internet demands growth. According to the Cisco Annual Internet Report (2018-2023) (Cisco Corporation, 2020) it is forecasted that the total number of Internet users will grow from 3.9 billion in 2018 to 5.3 billion by 2023 (Cisco Corporation, 2020). In the same period, it is expected that the average number of devices and connections per household and per capita will also increase,

along with the structure of internet demands towards the online video streaming. According to Deloitte's most recent Digital Media Trends Survey, more respondents indicated that they have at least one video streaming subscription (69%) than possess a traditional pay-TV subscription (65%) (Wescott, 2020). This tends to have a multiplier effect on traffic volume. An Internet-enabled HD television that draws two-to-three hours of content per day from the Internet would generate as much Internet traffic as an entire household today, on average (Cisco Corporation, 2020). The traffic multiplication is even bigger with the involvement of Ultra-High-Definition (UHD), or 4K, video streaming (Cisco Corporation, 2020). All these facts together reflect the trend of the huge growth of internet traffic that is one of the major challenges regarding the telecommunication infrastructure planning.

The paper is organized in the following way. In introductory remarks, the overview of the problem is described. Further, the methodology is presented in Section 2. Numerical results obtained by the questionnaire and the TOPSIS method application are presented in Section 3. Discussion on the possible improvement of the analyzed questionnaire is presented in Section 4. Section 5 presents concluding remarks and future research directions, as well.

2. METHODOLOGY

In this study, the self-assessment tool developed by (Lee et al., 2018) has been used. The questionnaire is translated into Serbian language using the forward-backward procedure. The questionnaire consists of 45 questions covering 8 factors that may have an impact to the aforementioned service adoption. The structure of the questionnaire comprised the following: Ease of Use (5 items); Cost (7 items); Customer Service (4 items); Availability (4 items); Media Options (4 items); Social Trends/Technological Advances (9 items); Satisfaction (3 items); Additional Purchases/Bundling (4 items); and questions considering preferences towards Online Streaming Service as well as to Cable TV Provider Service. A small convenience sample of students enrolled in the undergraduate Consumer behavior course at the University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering was selected to participate in an online survey about factors affecting the adoption of Online Video Streaming services. These respondents belong to the so-called "Generation Z" that refers to the generation born between 1997 and 2006 (Deloitte Insights, 2020). Respondents are asked to indicate their attitudes towards the adoption of online video streaming services, measured on seven-point, Likert scales ranging from 1 - "strongly disagree" to 5 - "strongly agree".

Multi-Criteria Decision Making (MCDM) models are general models used for evaluating, ranking and selecting the most appropriate alternative among several alternatives (Čičević, Mitrović, & Nešić, 2016). Based on an algorithmic approach, suitable to realize a dynamic selection with multiple alternatives (i.e. various types of devices) and attributes (features, user preferences, etc.) (Jahan, Edwards, & Bahraminasab, 2016), these models have the potential for improving all areas of decision-making in engineering, from design to manufacture, but they are especially beneficial for applications in high technology market sectors, where product differentiation and competitive advantage are often achieved by just very small gains in material performance (Jahan, Edwards, & Bahraminasab, 2016).

The Technique for Order Preferences by Similarity to an Ideal Solution (TOPSIS) is one of the MCDM methods proposed by Yoon and Hwang (1981). The TOPSIS alternative calculation algorithm includes six steps briefly described in (Čičević, Mitrović, & Nešić, 2016). The main idea came from the concept of the compromise solution to choose the best alternative nearest to the positive ideal solution (optimal solution) and farthest from the negative ideal solution (inferior solution) (Yoon and Hwang, 1981), (Čičević, Mitrović, & Nešić, 2016). Then, the next step is choice of the best sorted one, which will be the best alternative (Tzeng & Huang, 2011). The compromise solution can be regarded as choosing the solution with the shortest Euclidean distance from the ideal solution and the farthest Euclidean distance from the negative ideal solution (Alguliyev, Aliguliyev, & Mahmudova, 2015).

In this study, MCDM approach is used to determine the respondent's preferences to one of the proposed alternatives: Online Video Streaming Services (A_1) and Cable TV Provider Services (A_2). Set of criteria, consist of factors that may have an impact to the adoption of one of the proposed alternatives (Lee et al., 2018):

- $C1$ - Ease of Use
- $C2$ - Cost
- $C3$ - Customer Service
- $C4$ - Media Options
- $C5$ - Availability
- $C6$ - Social Trends/Technological Advances
- $C7$ - Satisfaction
- $C8$ - Additional Purchases/Bundling

With respect to different meanings of given factors, equal weights were assigned to all criteria. It was noticed that the contextual logic of questions that belong to the corresponding factor could not directly reflect the respondent’s bias to one of the given alternatives. In order to overcome this issue, the values of the correlation coefficient between corresponding factors and each alternative, obtained on the basis of given responses, were used for TOPSIS matrix input (x_{ij}). With the proposed structure, the TOPSIS matrix was used in further algorithm steps, which numerical results are presented in the next section, after presenting descriptive statistics results of the questionnaire data.

3. NUMERICAL RESULTS

For the purpose of data analysis, first, descriptive statistics were computed. Data analysis was conducted using Microsoft Office Excel. Cronbach’s alpha showed the questionnaire to reach respectable reliability, $\alpha = 0.85$ indicating a high level of internal consistency for our scale with this specific sample.

Subscale scores are calculated by summing the scores on the relevant items and dividing that number by the total number of items within the subscale. In order to gain an understanding of obtained data, mean scores for 8 factors were calculated (Figure 1).

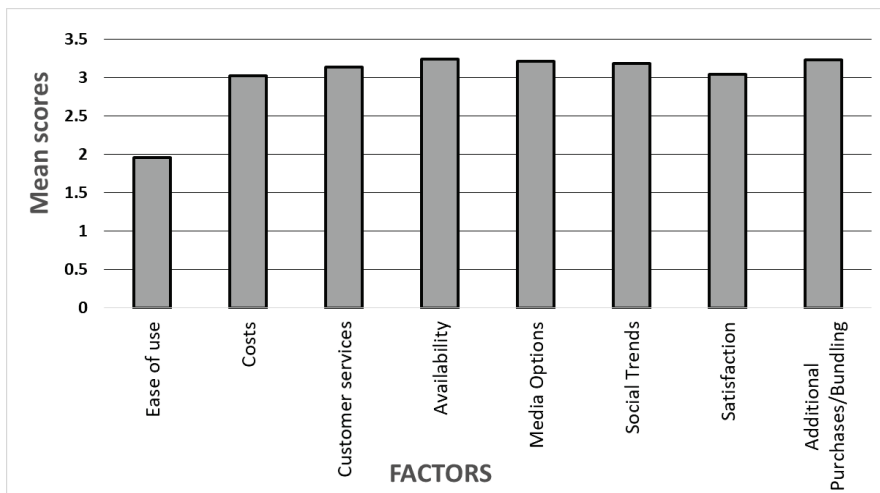


Figure 1: Factors mean scores

Factors mean scores also indicate how much a certain factor is important to respondents in terms of service adoption. Table 1 shows the list of factors sorted by the level of importance.

Table 1: Identified Factor importance

Rank	Factor	Mean score
1	<i>Availability</i>	3.239
2	<i>Additional Purchases/Bundling</i>	3.228
3	<i>Media Options</i>	3.207
4	<i>Social Trends</i>	3.184
5	<i>Customer services</i>	3.130
6	<i>Satisfaction</i>	3.043
7	<i>Costs</i>	3.022
8	<i>Ease of use</i>	1.957

“Online Streaming Service” and “Cable TV Provider Service” items and all subscales were correlated.

After computation of descriptive statistics, the TOPSIS method was applied in way described in the previous section, so the decision matrix appears to be as follows (Table 2):

Table 2: TOPSIS decision matrix

	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>C5</i>	<i>C6</i>	<i>C7</i>	<i>C8</i>
<i>A1</i>	0.205421	0.534602	0.398448	0.373733	0.521383	0.63583	0.41647	0.554145
<i>A2</i>	0.561058	0.682266	0.44477	0.597843	0.304013	0.403814	0.44336	0.218239
max/min	max	max	max	max	max	max	max	max
Wi	5	5	5	5	5	5	5	5

In steps 2 and 3, the weighted normalized decision matrix has been calculated (Table 3):

Table 3: The weighted normalized decision matrix

	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>C5</i>	<i>C6</i>	<i>C7</i>	<i>C8</i>
<i>A1</i>	0.008828	0.041216	0.033233	0.024764	0.056301	0.067092	0.035642	0.064450
<i>A2</i>	0.065857	0.067130	0.041410	0.063367	0.019142	0.027061	0.040394	0.009996
max/min	max	max	max	max	max	max	max	max

Through the step 4, the positive-ideal, as well as the negative-ideal solution has been calculated (Table 4):

Table 4: The positive-ideal solution (A^+) and the negative-ideal solution (A^-)

A^+	0.06586	0.06713	0.04141	0.06337	0.05630	0.06709	0.04039	0.06445
A^-	0.00883	0.04122	0.03323	0.02476	0.01914	0.02706	0.03564	0.01000

In step 5, the ideal separation (S^+), as well as negative-ideal separation (S^-) has been determined, as shown in Table 5.

Table 5: The ideal separation (S^+) and the negative-ideal separation (S^-):

S^+	0.074185215	S^-	0.077126134
S_2^+	0.077126134	S_2^-	0.074185215

Finally, in step 6 the relative closeness (C_j) to the ideal solution were calculated and the set of alternatives was arranged in decreasing order of C_j (Table 6.)

Table 6: The relative closeness (C_j) to the ideal solution and the rankings of the alternatives

Rank	Alternative (C_j)
1	A_1 (0.509718104)
2	A_2 (0.490281896)

In this way, the applied TOPSIS method resulted in the decision to adopt online video streaming services.

4. DISCUSSION

The difference between obtained values of relative closeness to the ideal solution indicates that there are no large differences in attitudes toward each of the proposed alternatives.

This could be explained by the differences in business models, which cable operators apply in regions where questionnaire was conducted, or by the time differences when studies were conducted. Particularly, there is one cable TV operator in Serbia that offers online streaming services along with the traditional form of cable TV service. This could decrease the differences in perception between pure online streaming media retail and “hybrid” business approach applied by the abovementioned cable operator. On the other hand, it is not clear if there is a similar business model in US region from where the respondents’ sample originates. Also, the American study dates from 2018, while Serbian study was performed in 2020.

The differences in attitudes could also be explained by the fact that each alternative has its pros and cons. Although, availability of original content together with price are the most important influential factors, the variety of streaming options can also make it confusing (Marvin, 2019).

On the other side, people use media they believe will help them achieve their goals, and that since few media are uniquely able to fulfill all goals, people must select from functional alternatives. Therefore, it is important for companies to offer additional services, whether through cable television or online streaming.

Providing more service options gives customers more flexibility, choice, and thus, more buying power (Lee et al., 2018).

Furthermore, it would be useful to expand the questionnaire with items, which cover various barriers for online streaming services adoption. These items should identify those service adopters not willing to pay for the extra expense of one or more monthly streaming subscriptions, persons not interested in the streaming media content, or those who do not need extra-time or extra-information to adopt the service. The last population is also recognized as “imitators”, and their adoption could be easily forecasted using the Bass diffusion model.

Finally, in the questionnaire items, which may skew a participant’s response have to be avoided.

5. CONCLUSIONS

In this paper, attitudes of the younger generation of users (Generation Z) towards the adoption of online video streaming services in Serbia has been explored. To achieve this goal in time-saving manner, the questionnaire developed by Lee et al. (2018), as well as the TOPSIS method was employed. The factors, which are recognized to have influence on the adoption decision were also assessed and ranked by the power of influence. The results show that Generation Z in Serbia will adopt the online video streaming service rather than cable TV service. It was noticed that employed questionnaire could be further improved in order to be ready to give answers to the several additional questions:

How to efficiently cover all adoption alternatives equally considering each of the contributing factors?

How to assess the adoption of services covered by “hybrid” business models?

How to assess the adoption of advanced online streaming services like Ad-supported video?

The further improvements which are led by answers on the listed questions would be possible directions for future research.

ACKNOWLEDGMENT

This paper is partially supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

REFERENCES

- [1] Alguliyev, R. M., Aliguliyev, R. M., & Mahmudova, R. S. (2015, #sep#). Multicriteria Personnel Selection by the Modified Fuzzy VIKOR Method. (M. G. Milanova, Ed.) *The Scientific World Journal*, 2015, 612767. Retrieved from <https://doi.org/10.1155/2015/612767>
- [2] Čičević, S., Mitrović, S., & Nešić, M. (2016). Advantages and challenges of tablet PC’s usage. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 26, 527-537. doi:10.2298/yjor140411024c
- [3] Cisco Corporation. (2020). The Cisco Annual Internet Report (2018-2023). *Update*, 35.
- [4] Deloitte Insights. (2020). Digital media trends survey, 14th edition. (K. Edelman, B. Hurley, & N. Gangopad, Eds.) 28. Retrieved from https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/6456_digital-media-trends-covid/DI_Digital-media-trends-14th-edition.pdf
- [5] Jahan, A., Edwards, K. L., & Bahraminasab, M. (2016). *Multi-criteria decision analysis for supporting the selection of engineering materials in product design*. Butterworth-Heinemann.
- [6] Lee, C. C., Nagpal, P., Ruane, S. G., & Lim, H. S. (2018). Factors affecting online streaming subscriptions. *Communications of the IIMA*, 16, 2.
- [7] Marvin, R. (2019, April 1). The most important buying factors for video-streaming services. *PCMag.com*. Retrieved June 16, 2020, from <https://mashable.com/article/most-important-buying-factors-for-video-streaming-services/?europa=true>
- [8] Radojčić, V., Bakmaz, B., & Veličković, S. (2013). *Prognoziranje novih telekomunikacionih servisa*. Saobraćajni fakultet.
- [9] Tzeng, G.-H., & Huang, J.-J. (2011). *Multiple attribute decision making: methods and applications*. CRC press.
- [10] Wescott, K. (2020). 2020 Telecommunications, media, and entertainment outlook. *Deloitte Center for Technology, Media and Telecommunications*. Retrieved from

<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/technology-media-telecommunications/us-tme-tmt-outlook-2020.pdf>

- [11] Yoon, K., & Hwang, C. L. (1981). TOPSIS (technique for order preference by similarity to ideal solution)—a multiple attribute decision making, w: Multiple attribute decision making—methods and applications, a state-of-the-at survey. *Berlin: Springer Verlag*.



A SECURITY-DRIVEN APPROACH TO THE AUCTION-BASED CLOUD SERVICE PRICING

BRANKA MIKAVICA¹, ALEKSANDRA KOSTIĆ-LJUBISAVLJEVIĆ², DRAŽEN POPOVIĆ³

¹ University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, b.mikavica@sf.bg.ac.rs

² University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, a.kostic@sf.bg.ac.rs

³ University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, d.popovic@sf.bg.ac.rs

Abstract: *Cloud Computing is a widely used paradigm due to its substantial resource integration and computing capabilities. In the cloud environment, security and pricing are important issues from both cloud provider and cloud customers' perspective, directly affecting the cloud provider's revenues and cloud customers' experience. Auction-based pricing mechanisms are often suggested as a promising solution for revenue maximization. Appropriately set auction mechanisms provide incentives for cloud customers to bid truthfully, i.e. create bids that depict their real willingness to pay cloud service. This paper addresses various bidding strategies and various security levels provided under two auction-based pricing mechanisms, Uniform price auction and Generalized Second-price auction. Comparison of these security-driven auction-based pricing mechanisms is provided based on the winning bids and cloud provider's revenues.*

Keywords: *cloud virtual machines, auction, bidding, pricing, security.*

1. INTRODUCTION

Cloud Computing dynamically organizes cloud resources into virtual machines (VM) with the required CPU, memory and I/O resources to provide cloud services. The dynamic organization, virtualization, and elasticity, as key characteristics of Cloud Computing, enable flexible management of cloud resources which can be provided on demand, upon cloud customers' requests. Security is considered as a major architectural component of the Cloud Computing environment that affects cloud providers, cloud customers, and other relevant participants. Depending on the cloud component under attack, various security issues arise. VM based attacks often violate data protection (Mikavica & Kostić-Ljubisavljević 2020). In general, VM based attacks can be classified into cross VM side-channel, VM creation attacks, VM migration and rollback attacks and VM scheduler-based attacks (Ahmad Khan 2016). The VM side-channel attacks can extract cryptographic keys and other sensitive data from a VM under attack. Usually, the attacker's VM is placed at the same physical machine as the target VM. Malicious code can be inserted into a VM image during the VM creation. Thus, a virtual image management system is needed for detection and VM recovering. During VM migration from one physical machine to another, VM contents may become vulnerable. Hence, the log execution state being maintained for implementing a rollback may become accessible. Resource stealing or theft-of-service may occur due to VM scheduler based-attacks. VM security significantly affects the security of the cloud system. Therefore, security assessment and evaluation of its impacts on the cloud service performances are important issues to be solved. Cloud providers seek to improve cloud service performances while cloud customers expect high standards in cloud service provisioning at reasonable prices.

Pricing is another key issue in a cloud environment. In general, pricing mechanisms can be classified into static and dynamic. The static pricing mechanisms are widely adopted and involve fixed prices per billing cycle per VM. Despite their simplicity, these mechanisms do not support revenue maximization. The dynamic pricing mechanisms adjust prices according to the actual or forecasted dependences between the demand and supply. As a dynamic form of pricing, auction mechanisms provide price variation by creating competition among cloud customers and allocate resources to the customers that value them the most. Adequately set auctions can support cloud customers to bid truthfully. Selection of an appropriate bidding strategy is essential for customers and affects the performance metrics including costs, wait time and interruption rate. Lower bids can provide lower costs, but also deteriorate task completion time and interruptions. Therefore, bidding high is often recommended. The process of bidding in an auction is complex and often lacks transparency. Hence, dynamic pricing mechanisms are less accepted, despite lower prices compared to static pricing mechanisms. However, auctions are considered as an effective and promising solution to optimize the cloud provider's revenues. Various auction-based pricing mechanisms in

the cloud environment are proposed including Uniform price auctions, Second-price auctions, Combinatorial auctions, Double auctions etc (Mikavica & Kostić-Ljubisavljević 2018).

Majority of the proposed pricing models are focused only on the resource pricing and allocation without a security assessment. The main contribution of this paper is the introduction of VM security modelling in the process of auction-based pricing and resource allocation. Depending on the guaranteed security level, cloud customers choose one of the three proposed bidding strategies. Two auction-based pricing mechanisms are analysed, Uniform price auction and Generalized-Second price auction. The paper aims to provide a comprehensive analysis and comparison of these pricing mechanisms depending on traffic load and customers' incentives to bid truthfully. Cloud provider's revenues are also observed. The remainder of the paper is organized as follows. Modelling of VMs' security level, bidding strategies and auction setting for two observed auction mechanisms are introduced in Section 2. Experimental evaluations and results are given in Section 3. Finally, concluding remarks are presented in Section 4.

2. PROBLEM STATEMENT

In the cloud system observed in this paper, access to the cloud VMs is provided in an auction-like process. Considering that a sufficient number of the participants in the market is needed for revenue maximization in long term (Mikavica & Kostić-Ljubisavljević 2018), it is assumed that the number of cloud customers, denoted as M , is greater than the number of the available VMs. Without loss of generality, the analysis is executed into N consecutive time intervals. The number of cloud customers initiating the request for task execution can be modelled using a Poisson distribution with the two parameters, λ_h and λ_l for the periods of high and low traffic load, respectively (Mikavica & Kostić-Ljubisavljević 2018). If the malicious attack occurs, a VMs' availability depends on the applied security mechanism. To initiate a certain VM for task completion, the cloud customer creates a bid. Submitting a bid, cloud customer defines the value of the bid, i.e. the maximum price per time slot that cloud customer is willing to pay for a given VM with the corresponding intensity level of the applied security mechanism. Once the auction process is finished, the VMs are allocated to the cloud customers with winning bids. The value that cloud customer pay for VM's initiation is not the value of the bid, but the value of the VM's price. The VM's price and the cloud provider's revenue depend on the applied auction mechanism. The procedure of bidding and VMs' allocation is depicted in Figure 1 and explained in detail in the following subsections.

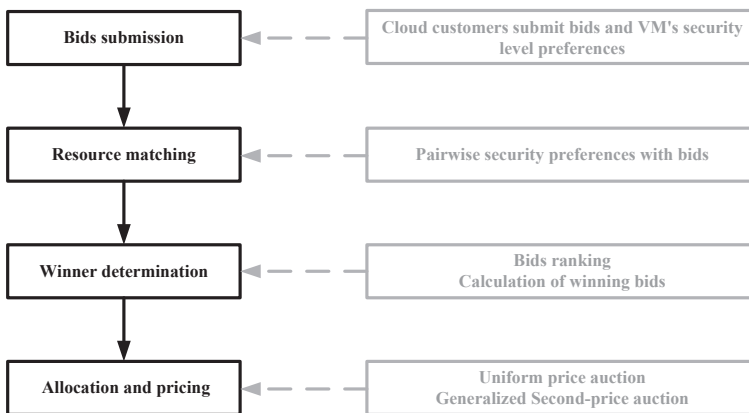


Figure 1: The algorithm of security-driven auction-based pricing

2.1. The VMs' security modeling

VM security is an inevitable vulnerability for the cloud system. Evaluation of VM security and the analysis of previous malicious attacks along with the security mechanisms can improve the security of cloud systems. In general, malicious attacks are random. The theoretical modeling approach can just describe the randomness depending on its characteristic of abstraction and the view of the comprehensive statistic (Xu et al. 2018). When the availability of VMs is threatened by malicious attacks, it may fail the cloud customers' requests provisioning. Furthermore, the malicious attacks may reduce the number of available VMs and results in the overflow failure, if there are only a few available VMs. The majority of attacks are unorganized and spontaneous, with random arrival rate. The probability of a malicious attack is denoted as $p_m \in (0,1)$.

Implementation of different security mechanisms may protect the cloud system from malicious attacks. However, their application occupies a part of computing resources and reduces the resources that are used to process tasks. Also, the processing time of the tasks may be extended and overtime failure may occur. Therefore, the applied security mechanism affects the service performance and the availability of VMs. The occupation of computing resources by a security mechanism depends on the algorithm complexity or security level. Intensity can be used to describe the complexity of the algorithm or the security level (Xu et al. 2018). It is assumed there are three intensities defined for security mechanism including high, middle and low. The higher the intensity is, the more complex the applied algorithm and the higher the security level are.

The total number of VMs is denoted as n . It is assumed that cloud resources are divided into trust zones (TZ), and all VMs in the same TZ apply the unitive security mechanism with the same intensity. We assume there are four TZs, TZ0, TZ1, TZ2, and TZ3. TZ0 has no security mechanism implemented. TZ1, TZ2 and TZ3 apply security mechanism of low, medium and high intensity, respectively. In each VM, only one task is provisioned at one time, and each task can be completed during a single time interval.

The probability that a VM is available is denoted as p_a^h , p_a^m and p_a^l for the VMs in the TZ with high, medium and low-intensity security mechanism, respectively. If no security mechanism is implemented, the probability of VM's availability is denoted as p_a^0 . According to the provided security level of VMs within the TZs, it applies $p_a^0 < p_a^l < p_a^m < p_a^h$, where $p_a^0, p_a^l, p_a^m, p_a^h \in (0, 1)$. The number of the available VMs in time interval $i \in [1, N]$ within TZ $k \in [0, 3]$ is denoted by $n_{i,k}$. If the applied security mechanism failed to protect VMs' availability, it applies $\sum_{k=0}^3 n_{i,k} \neq n$.

2.2. Bidding strategies and VMs' prices

To initiate a certain VM for task completion, the cloud customer creates a bid. Submitting a bid, cloud customer selects an appropriate security level for the task (cloud customer determines TZ with an adequate intensity of the security mechanism) and defines the value of the bid (the maximum price per time slot that cloud customer is willing to pay for the selected VM). Set of all bidders in time interval $i \in [1, N]$ is denoted as B_i . The bid of the cloud customer $j \in B_i$ in time interval $i \in [1, N]$ for the TZ $k \in [0, 3]$ can be denoted as:

$$b_{i,j,k} = (v_{i,j}, k) \quad (1)$$

In (1), $v_{i,j}$ represents the value of the bid, i.e. the price that customer is willing to pay for VM in chosen TZ k with an appropriate security level. Also, cloud customers have no information on other customers' bids.

Cloud provider allocates the available VMs to cloud customers that value them the most. Customers with the winning bids can initiate VMs and pay the value of the VM's price per time interval.

Depending on the applied auction mechanism and the chosen TZ, VMs' prices differ. Therefore, VMs' prices in TZ0, TZ1, TZ2, and TZ3 in time interval i , $i \in [1, N]$, are denoted as $P_{i,0}$, $P_{i,1}$, $P_{i,2}$, and $P_{i,3}$, respectively. These prices are unknown to cloud customers. However, it is assumed that VMs' prices in the previous time interval, $P_{i-1,0}$, $P_{i-1,1}$, $P_{i-1,2}$, and $P_{i-1,3}$, are publicly available. The greatest VM's price is set for the TZ with the highest security level (TZ3), while the lowest VM's price is set for the TZ with no security mechanism implemented. Therefore, it applies $P_{i,0} < P_{i,1} < P_{i,2} < P_{i,3}$.

Based on these prices, cloud customers select bidding strategy and place a bid. In this paper, three possible bidding strategies are introduced, namely, task-related bidding strategy, greedy bidding strategy, and random bidding strategy.

2.2.1. Task-related bidding strategy

Under this bidding strategy, cloud customers submit bids for VMs in selected TZ whose values are close to the corresponding VMs' prices in the previous time interval. Therefore, submitted bids in time interval i for a given TZ take values:

$$b_{i,j,k}^t \in [P_{i-1,k} - \delta, P_{i-1,k} + \delta], i \in [1, N], j \in [1, |B_i|], k \in [0, 3] \quad (2)$$

δ denotes a small variation of the VM's price in corresponding TZ in the previous time interval. The probability of choosing this bidding strategy is denoted as q^t .

2.2.2. Greedy bidding strategy

Considering that cloud customers pay the value of the VM's price defined in the auction process, and not the value of their bid, customers can choose greedy bidding strategy to ensure winning in the auction process

and get the access to the targeted VM with the selected security level. Thus, customers place bids with greater values than the VM's price for chosen TZ in the previous time interval. Those bids can be expressed as follows:

$$b_{i,j,k}^H \in [P_{i-1,k+1} - \delta, P_{i-1,3} + \delta], i \in [1, N], j \in [1, |B_i|], k \in [0,3] \quad (3)$$

Again, δ denotes a small variation of the VM's price in corresponding TZ in the previous time interval. It is noteworthy that this bidding strategy matches the task-related bidding strategy for the tasks requiring the security mechanism with the highest intensity. The probability of choosing the greedy bidding strategy is denoted as q^H .

2.2.3. Random bidding strategy

Random bidding strategy assumes that cloud customers place bids with values that are randomly selected in the range of VMs' prices in the previous time interval. Since cloud customers are unaware of the bid values placed by other bidders, this bidding strategy might be considered as truthful. Bid values under this bidding strategy can be expressed as follows:

$$b_{i,j,k}^{III} \in [P_{i-1,0} - \delta, P_{i-1,3} + \delta], i \in [1, N], j \in [1, |B_i|], k \in [0,3] \quad (4)$$

Likewise previous bidding strategies, δ denotes a small variation of the VM's price in corresponding TZ in the previous time interval. The probability of choosing the random bidding strategy is denoted as q^{III} . It applies $q^I + q^H + q^{III} = 1$.

2.3. Auction mechanisms

Once bids are submitted for each TZ, the VMs' allocation is performed based on the set of winning bids, i.e. each cloud customer with winning bid can initiate VM with a required security level. Cloud customers payoffs differ depending on the applied auction mechanism. In this paper, Uniform price auction and Generalized Second-price auction are analyzed to obtain cloud provider's revenues in VMs' provisioning with several security levels

The set of winning bids for each TZ can be represented as follows:

$$W_{i,k} \in \{w_{i,1,k}, w_{i,2,k}, \dots, w_{i,n_{i,k},k}\}, i \in [1, N], k \in [0,3] \quad (5)$$

In (5), $w_{i,1,k}$ represents the highest bid value for the VM in TZ $k \in [0,3]$ in time interval $i \in [1, N]$, $w_{i,2,k}$ represents the second-highest bid value, etc.

2.3.1. Uniform price auction

If Uniform price auction is applied, each winning bidder pays the same price equal to the lowest winning bid. Set of the winning customers' payoffs for TZ $k \in [0,3]$ in the time interval $i \in [1, N]$ under Uniform price auction can be represented as follows:

$$W_{i,k}^U \in \{w_{i,1,k}^U, w_{i,1,k}^U, w_{i,2,k}^U, \dots, w_{i,n_{i,k},k}^U\}, i \in [1, N], k \in [0,3] \quad (6)$$

Since all winning bidders pay the same price, it applies $w_{i,1,k}^U = w_{i,2,k}^U = \dots = w_{i,n_{i,k},k}^U = w_{i,n_{i,k},k}$. Cloud provider's revenue under Uniform price auction in time interval $i \in [1, N]$ can be expressed as:

$$R_i^U = \sum_{k=0}^3 \sum_{t=1}^{|W_{i,k}^U|} w_{i,t,k}^U, i \in [1, N] \quad (7)$$

2.3.2. Generalized Second-price auction

When Generalized Second-price auction is applied, the winning bidder pays the value of the next highest bid. Thus, set of winning customers' payoffs for TZ $k \in [0,3]$ in the time interval $i \in [1, N]$ under Generalized Second-price auction can be represented as follows:

$$W_{i,k}^G \in \{w_{i,1,k}^G, w_{i,2,k}^G, \dots, w_{i,n_{i,k},k}^G\}, i \in [1, N], k \in [0,3] \quad (8)$$

Considering the rules of Generalized Second-price auction, it applies $w_{i,1,k}^G = w_{i,2,k}$, $w_{i,2,k}^G = w_{i,3,k}$, ..., $w_{i,n_{i,k},k}^G = w_{i,n_{i,k}+1,k}$. Cloud provider's revenue under this auction mechanism in time interval $i \in [1, N]$ can be expressed as:

$$R_i^G = \sum_{k=0}^3 \sum_{t=1}^{|w_{i,t,k}^G|} w_{i,t,k}^G, i \in [1, N] \quad (9)$$

3. PERFORMANCE EVALUATION

To analyze the implementation of the two auction mechanisms in a cloud system with the possibility of malicious attacks, simulations in open source programming language Python 2.7 are performed in 50 iterations. Period of 30 days is simulated. Each day is divided into $N = 24$ time intervals. Time intervals 7-20 belong to the period of high traffic load (Mikavica & Kostić-Ljubisavljević 2018). The number of cloud customers that initiate requests for tasks' execution is modelled by Poisson distribution parameter $\lambda_h = 1.25$, and $\lambda_l = 0.75$, for the periods of high and low traffic load, respectively. There are 40 VMs, segmented into TZs, where each TZ comprises 10 VMs. The average number of cloud customers is 80. If a malicious attack occurs, the assumed probabilities that the applied security mechanism will protect the VM's availability are $p_a^l = 0.66$, $p_a^m = 0.75$, $p_a^h = 0.84$, for security mechanism with low, medium, and high intensity, respectively. Additionally, we assume that if a malicious attack occurs in the TZ0 (without any security mechanism implemented), the probability that the VM remains available is $p_a^0 = 0.5$. We observed situations when the probability of malicious attack at a VM takes the following values $\{0.05, 0.1, 0.2\}$. The initial VM's price for the TZ0 is chosen from publicly available data for Amazon EC2 spot instance *m5n.xlarge* in EU (Frankfurt) region and Windows operating system (Amazon EC2 Spot Pricing 2020) and equals 2.256 \$/h. Assumed initial VM's prices for low, medium, and high-security level are 2.820 \$/h, 3.525 \$/h, and 4.406 \$/h, respectively.

We observe four scenarios depending on the dominant bidding strategy. Scenarios 1, 2 and 3 analyze setting where cloud customers predominantly choose the task-related bidding strategy ($q^I = 0.50, q^{II} = 0.30, q^{III} = 0.20$), the greedy bidding strategy $q^I = 0.30, q^{II} = 0.50, q^{III} = 0.20$, and the random bidding strategy $q^I = 0.20, q^{II} = 0.30, q^{III} = 0.50$. The fourth scenario analyzes the setting where all bidding strategies are equally possible $q^I = q^{II} = q^{III} = 0.33$. The parameter depicting the variation of the VMs' prices in the previous time interval is set as $\delta = 0.2$.

Figure 2 shows the average revenue per interval of an hour duration in both low and high traffic load that the cloud provider achieves per VM in each TZ with the appropriate security level. A1 stands for the Uniform price auction, while A2 stands for the Generalized Second-price auction. L and H indicate low and high traffic load, respectively. The revenues slightly decrease with the greater attack probability, in all observed scenarios. Scenario 3 (each cloud customer defines the value of the bid randomly) assures the greatest revenues in both Uniform price auction and Generalized Second-price auction, regardless of network traffic load. Moreover, Generalized Second-price auction provides greater revenues in all observed scenarios, under all circumstances.

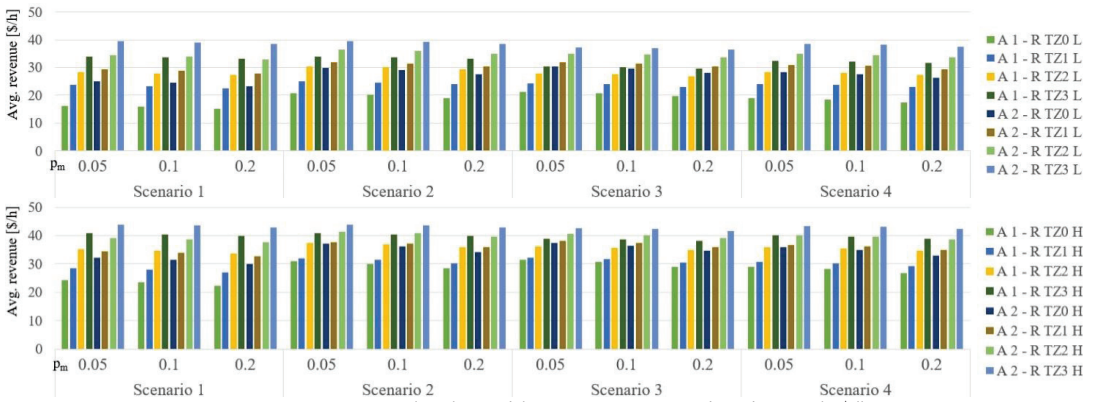


Figure 2: Average cloud provider's revenues per time interval [\$/h]

Table 1 shows average winning bids (expressed in \$) for all observed bidding strategies in the periods of low and high traffic load if the Uniform price auction and Generalized Second-price auction mechanisms are applied for pricing and resource allocation. Due to lack of space, only the case without malicious attacks is shown ($p_m = 0$). The results indicate that Generalized Second-price auction increases the values of winning bids on average. Therefore, Uniform price auction is more convenient from the cloud customers' perspective. Furthermore, the scenario with the dominant task-related bidding strategy provides the lowest winning bids in most cases. Notably, the dominant greedy bidding strategy (Scenario 2) is not recommended since it generates greater bids and customers' payoffs are increased. Moreover, the scenario where the majority of customers randomly chooses strategy (Scenario 3), is less inconvenient for customers compared to Scenario 2.

Table 1: Average winning bids [\$]

Auction	Scenario	low traffic load				high traffic load			
		TZ0	TZ1	TZ2	TZ3	TZ0	TZ1	TZ2	TZ3
Uniform price auction	1	1.700	2.448	2.907	3.475	2.482	2.908	3.555	4.110
	2	2.143	2.589	3.123	3.473	3.163	3.250	3.790	4.109
	3	2.210	2.513	2.852	3.098	3.225	3.287	3.669	3.930
	4	1.975	2.490	2.912	3.307	2.965	3.126	3.642	4.034
General. Second-price auction	1	2.609	3.035	3.521	4.038	3.319	3.502	3.961	4.423
	2	3.102	3.300	3.744	4.036	3.802	3.837	4.183	4.422
	3	3.158	3.294	3.596	3.815	3.845	3.870	4.108	4.305
	4	2.952	3.196	3.589	3.938	3.672	3.734	4.066	4.373

4. CONCLUSION

In this paper, the application of the two auction-based mechanisms, Uniform price auction and Generalized Second-price auction, for pricing and allocation of cloud resources, is addressed. The intensity of the applied security mechanism is introduced as a relevant parameter depicting the VM security level. Initiating a request for access to the VM, customers choose one of the three bidding strategies. Depending on the dominant bidding strategy, we observe several scenarios. Average winning bids and average revenues per VM are analyzed. The results show that Generalized Second-price auction achieves greater revenues, regardless of the chosen bidding strategy and regardless of the traffic load period, while Uniform price auction is more convenient from cloud customers' perspective. Furthermore, task-related bidding strategy is shown as the most convenient since it provides the lowest winning bids in the majority of cases. Higher intensity of the applied security mechanism generates higher cloud provider's revenues due to greater initial prices. However, higher VM's security level requires more CPU occupied and increases costs for the cloud provider. This also affects service performances and needs comprehensive analysis, which is the subject of future research.

Acknowledgement

This work was supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of Serbia [grant number TR 32025].

REFERENCES

- [1] Ahmad Khan, M. (2016). A Survey of Security Issues for Cloud Computing. *Journal of Network and Computer Applications*, 71, 11-29.
- [2] Amazon EC2 Spot Pricing, 2020. Available Online: Amazon EC2 Spot pricing, 2018. Available Online: <https://aws.amazon.com/ec2/spot/pricing/>
- [3] 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.
- [4] Mikavica, B., & Kostić-Ljubisavljević, A. (2020). Security Issues of Cloud Migration and Optical Networking in Future Internet. In M. Stojanović & S. Bostjančič Rakas (eds.), *Cyber Security of Industrial Control Systems in the Future Internet Environment* (pp. 91-106). IGI Global.
- [5] 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.



RASPOREĐIVANJE LUČKIH RADNIKA PRIMENOM GENETSKOG ALGORITMA

PORT WORKERS SCHEDULING BY A GENETIC ALGORITHM

IVANA VUKIĆEVIĆ BIŠEVAC¹, KATARINA VUKADINOVIĆ¹

¹ Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, i.vukicevic@sf.bg.ac.rs, k.vukadinovic@sf.bg.ac.rs

Rezime: U ovom radu opisan je problem raspoređivanja lučkih radnika koji upravljaju transportno pretovarnim sredstvima na zadatke. Za rešavanje opisanog problema razvijen je Genetski algoritam. Testiranjem je pokazano da se predložen algoritam može uspešno koristiti za rešavanje ovog problema.

Ključne reči: lučki radnici, dodeljivanje zadataka, genetski algoritam

Abstract: This paper describes the problem of scheduling of port workers who operate cargo handling equipment. A genetic algorithm has been developed to solve the described problem. Testing has shown that the proposed algorithm can be successfully used to solve this problem.

Keywords: port workers, task assignment, genetic algorithm

1. UVOD

Transportno pretovarnim (TP) sredstvima, kao što su obalne dizalice, mobilne kontejnerske dizalice, vozila koja se koriste za unutrašnji transport i dr., u lukama upravljaju radnici (Vukićević 2017). Iako su u lučkim terminalima mnoge operacije automatizovane, a broj lučkih radnika smanjen, troškovi lučkih radnika i dalje imaju veliko učešće (od 15%-75%) u ukupnim operativnim troškovima luka.

Zbog činjenice da u kratkom vremenu obezbeđuju rešenje blisko optimalnom, Genetski algoritmi su često korišćeni za rešavanje različitih optimizacionih problema sa kojima se suočavaju lučki operateri.

U radu je opisan problem raspoređivanja lučkih radnika koji upravljaju transportno pretovarnim sredstvima na zadatke. Za rešavanje opisanog problema razvijen je Genetski algoritam, GA. Testiranjem je pokazano da se predložen algoritam može uspešno koristiti za rešavanje ovog problema.

Posle uvodnih razmatranja, u drugom poglavlju prikazan je opis problema. U trećem poglavlju prikazana je metaheuristika GA razvijena za raspoređivanje lučkih radnika. Numerički primer i rezultati testiranja opisani su u četvrtom poglavlju. Zaključna razmatranja i pravci budućih istraživanja dati su u petom poglavlju.

2. OPIS PROBLEMA

Operativni plan rada lučkih resursa formira se periodično za različite vremenske periode na osnovu dostupnih informacija. Pre pristajanja brodova, a na osnovu plana pristajanja, potrebno je izvršiti alokaciju raspoloživih resursa tako da se obezbedi nesmetano pružanje usluge (UNCTAD 2016). Na osnovu, ili istovremeno sa dodeljivanjem operativne obale brodovima vrši se i dodeljivanje obalnih dizalica, a zatim se formira raspored rada ostalih TP sredstava.

Na osnovu operativnog rasporeda rada TP sredstava potrebno je formirati raspored rada radnika koji će upravljati ovim sredstvima. Ukoliko planski period, za koji se formira raspored, podelimo na kraće vremenske segmente tokom kojih možemo smatrati da je raspored fiksni, onda problem raspoređivanja radnika možemo definisati na sledeći način: Za svaki aktivni vremenski segment svakog TP sredstva odrediti radnika koji će upravljati ovim sredstvom. Broj radnika luke koji rade tokom planskog perioda je ograničen i rezultat je dugoročnog plana rada radnika. Da bi se obezbedilo kontinuirano pružanje usluge, luka ima na raspolaganju radnike koje može dodatno unajmiti, što za luku predstavlja dodatni trošak.

Kim i Park (2004) su prvi opisali i matematički modelirali ovaj problem kao problem zadovoljenja ograničenja, a za rešavanje su predložili više heurističkih algoritama.

Ključne pretpostavke na kojima je zasnovan proučavani problem su:

- Planski period je 24h.

- Zадaci koji se dodeljuju su upravljanje TP sredstvom u određenom jednočasovnom vremenskom segmentu.
- Radnik mora imati odgovarajući ili viši stepen obučenosti od onog koji je potreban za upravljanje dodeljenim TP sredstvom.
- Broj radnika luke je ograničen, dok je broj radnika koje luka može da unajmi neograničen.
- Maksimalni broj vremenskih segmenata između prvog i poslednjeg dodeljenog zadatka ograničen je na d_{max} .

U Tabeli 1. prikazan je mogući operativni raspored za 6 radnika i 5 TP sredstava (TPS).

Tabela 1: Primer operativnog rasporeda za 6 radnika i 5 TPS

		JEDNOČASOVNI VREMENSKI SEGMENTI																								
TPS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
1	4	4	1	1	1	1	2																			
2								2	2	2	2	2	2	5												
3													3	3	3	3	3	3	6	6	6					
4			4	4	4	4	5	5	5																	
5							4	4	4	4	5	5	5													

Sva ograničenja pod kojima se rešava problem raspoređivanja radnika možemo podeliti na tvrda (engl. hard constraints) i meka (engl. soft constraints) ograničenja. Tvrda ograničenja najčešće potiču iz zakonskih propisa i da bi rešenje bilo prihvatljivo, izvodljivo ova ograničenja moraju biti zadovoljena. U okviru pretpostavki definisana su tvrda ograničenja:

- Maksimalni broj vremenskih segmenata između prvog i poslednjeg dodeljenog zadatka ograničen je na d_{max} .
- Radnik mora imati odgovarajući ili viši stepen obučenosti od onog koji je potreban za upravljanje dodeljenim TP sredstvom ($s(i) \geq s_{tps}(k)$), gde su $s(i)$ stepen obučenosti radnika i , a $s_{tps}(k)$ stepen obučenosti potreban za obavljanje zadatka k .

Pored tvrdih ograničenja, lučki operateri pri raspoređivanju radnika mogu definisati brojne druge uslove koje bi trebalo zadovoljiti. Ovi uslovi se najčešće formulušu u vidu mekih ograničenja. Pri raspoređivanju radnika teži se da svi radnici budu približno jednako opterećeni tj. da im bude dodeljeno d_{avg} zadataka. Ovo ograničenje pripada grupi mekih ograničenja.

Unajmljivanje radnika za obavljanje zadataka koji nisu dodeljeni radnicima luke, predstavlja dodatni trošak za luku. Tako da je u radu korišćena kriterijumska funkcija kojom se minimizira broj unajmljenih radnika (Vukićević 2017). Pored toga za svako odstupanje broja dodeljenih zadataka od d_{avg} vršeno je penalizovanje kriterijumske funkcije. Za svakog radnika i za svako jedinično odstupanje kriterijumskoj funkciji je dodavana jedinica.

Za rešavanje opisanog problema u ovom radu predložen je GA.

3. GENETSKI ALGORITAM ZA RASPOREĐIVANJE LUČKIH RADNIKA

Genetski algoritam je algoritam pretraživanja koji simulira prirodni proces evolucije. Osnovne postavke za njegov razvoj dao je Holland (1975). GA započinje generisanjem početne populacije. Stvaraju se kodirane jedinke. Svaka jedinka predstavlja moguće rešenje. Zatim se vrši evaluacija jedinki na osnovu unapred zadatog kriterijuma tj. prilagođenosti (engl. fitness). Nakon generisanja početne populacije, dok se ne zadovolji uslov zaustavljanja izvršavaju se operatori Selekcije, Ukrštanja i Mutacije. Od prirode problema koji se rešava, pored prilagođenosti zavisi i način kodiranja koji će biti primenjen.

3.1. Kodiranje jedinki

Pre primene Genetskog algoritma potrebno je izvršiti kodiranje koje na najbolji način opisuje rešenje problema. Način kodiranja zavisi od problema koji se rešava i u mnogome utiče na kvalitet rešenja. Operativni raspored prikazan u Tabeli 1 predstavljen kao hromozom, ili jedinka prikazan je na Slici 1.

4	4	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	5	3	3	3	3	3	3	...	5	4	4	4	4	5	5	5
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----	---	---	---	---	---	---	---	---

Slika 1: Kodirano rešenje: jedinka ili hromozom

3.2. Generisanje početne populacije

Za generisanje početne populacije formulisan je heuristički algoritam, opisan u nastavku:

Notacija:

- i – indeks radnika;
- k – indeks zadatka;
- $f(i)$ – prvi (najraniji) zadatak dodeljen radniku i ;
- $l(i)$ – poslednji dodeljeni zadatak radniku i ;
- $t(k)$ – vremenski segment u kom se izvršava zadatak k

Algoritam za generisanje jedne jedinke početne populacije:

- Korak 1 Formiraj listu radnika tako što će na listi prvo biti radnici luke, a zatim radnici koje je moguće dodatno unajmiti
- Korak 2 Na slučajan način formiraj listu zadataka
- Korak 3 $i = 0, k = 0, f(i) = 24, l(i) = 0 \quad \forall i$
- Korak 4 $k = k + 1$
- Korak 5 $i = i + 1, first = \min\{f(i), t(k)\}, last = \max\{l(i), t(k)\}$
- Korak 6 Ako je $(s(i) \geq s_{ps}(k))$, $last - first + 1 \leq d_{max}$ i ako radniku nije već dodeljen zadatak u vremenskom segmentu $t(k)$ dodeliti zadatak k radniku i , u suprotnom vratiti se na Korak 5.
- Korak 7 Ako je $t(k) < f(i)$ onda je $f(i) = t(k)$, u suprotno ako je $t(k) < l(i)$ onda je $l(i) = t(k)$
- Korak 8 Ako su dodeljeni svi zadaci završiti algoritam, u suprotnom vratiti se na Korak 4.

Primenom genetskih operatora selekcije, ukrštanja i mutacije stvaraju se nove generacije.

3.3. Selekcija

Primenom operatora selekcije vrši se izbor jedinki za stvaranje novih generacija. Selekcijom se čuvaju dobri, a odbacuju loši geni. Za izbor jedinki korišćena je turnirska selekcija. Na slučajan način formira se unapred zadati broj grupa jedinki N_g . Svaka grupa ima N_c jedinki. Iz svakog skupa selektuje se po jedna jedinka koja ima najnižu vrednost kriterijumske funkcije.

3.4. Ukrštanje

Nakon izbora roditelja, na slučajan način se donosi odluka o ukrštanju. Generiše se slučajni broj čija se vrednost poredi sa unapred zadatom verovatnoćom ukrštanja P_c . Ako je generisani broj manji vrši se ukrštanje, u suprotnom se stvaraju potomci koji su kopija svojih roditelja.

U radu je primenjeno jednopoziciono ukrštanje. Za svaki par roditelja, na slučajan način određuje se pozicija za ukrštanje, a zatim se vrši razmena genetskog materijala nakon određene pozicije (Slika 2. i Slika 3.).

4	4	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	5	3	3	3	3	3	3	3	...	5	4	4	4	4	5	5	5
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----	---	---	---	---	---	---	---	---

4	4	4	4	4	4	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	6	...	5	5	3	3	3	5	5	5
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----	---	---	---	---	---	---	---	---

Slika 2: Roditelji i pozicija za razmenu genetskog materijala

4	4	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	5	1	2	2	2	2	2	6	...	5	5	3	3	3	5	5	5
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----	---	---	---	---	---	---	---	---

4	4	4	4	4	4	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	5	3	3	3	3	3	3	3	...	5	4	4	4	4	5	5	5
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----	---	---	---	---	---	---	---	---

Slika 3: Potomci nastali primenom jednopozicionog ukrštanja

3.5. Mutacija

Mutacija predstavlja slučajnu promenu gena koja se vrši sa malom verovatnoćom (najčešće od 0,005 do 0,01). Ukoliko je verovatnoća mutacije visoka GA se pretvara u pretragu na slučajan način, dok u suprotnom dolazi do preuranjene konvergencije ka lokalnom ekstremumu (Kratica 2000). Cilj mutacije je povratak genetskog materijala koji je kroz selekciju i ukrštanje trajno izgubljen. Na slučajan način bira se gen i zamenjuje mu se vrednost sa slučajno izabranom vrednošću iz opsega [1,n], gde je n ukupni broj radnika. Na Slikama 4. i 5. prikazana je mutacija.

4	4	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	5	3	3	3	3	3	3	3	...	5	4	4	4	4	5	5	5
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----	---	---	---	---	---	---	---	---

Slika 4: Originalna jedinka

4	4	1	1	1	1	2	2	2	2	3	2	2	2	5	3	3	3	3	3	3	3	...	5	4	4	4	4	5	5	5
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----	---	---	---	---	---	---	---	---

Slika 5: Jedinka nastala primenom genetskog operatora mutacije

Primenom operatora ukrštanja i mutacije mogu se dobiti potomci koji predstavljaju nedopustiva rešenja. U cilju prevazilaženja ovog problema vrši se penalizovanje jedinki koje predstavljaju nedopustiva rešenja. Na ovaj način je favorizovana selekcija dopustivih rešenja.

4. NUMERIČKI PRIMER I TESTIRANJE

U cilju testiranja predloženog Genetskog algoritma definisani su sledeći parametri GA: veličina populacije je 100 jedinki i ona je konstantna tokom generacija; kriterijum za zaustavljanje GA je maksimalni broj generacija - $N_{generacija} = 1000$; primenjena je elitistička strategija zamene generacija, u svaku sledeću generaciju prelazilo je 50 elitnih jedinki iz predhodne generacije; veličina turnira je 5 jedinki; verovatnoća ukrštanja je $P_c = 0,8$, a verovatnoća mutacije je $P_m = 0,01$.

Algoritam je kodiran na programskom jeziku Matlab, a testiranje je vršeno na računaru sa Intel-ovim procesorom 2,2 GHz koji ima 7,6 GB radne memorije. Za operativni raspored rada 10 TP sredstava prikazan u Tabeli 2. primenom razvijenog GA formiran je raspored rada radnika. Vrednosti ostalih parametara su: $d_{max} = 8$; $d_{avg} = 6$, a broj radnika luke je 10, sa sledećim stepenima obučenosti (3,3,3,3,3,2,2,1,1).

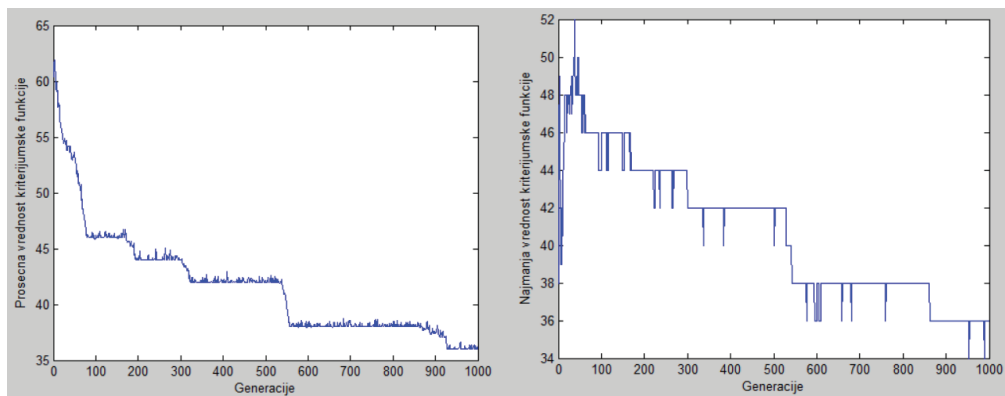
Tabela 2: Operativni raspored rada 10 TPS

		JEDNOČASOVNI VREMENSKI SEGMENTI																							
TPS	s_{tps}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	3	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
3	3	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1
5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
7	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
9	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
10	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1

U Tabeli 3. prikazano je najbolje dobijeno rešenje tj. raspored rada radnika za koji je vrednost kriterijumske funkcije 34. Ukupan broj angažovanih radnika je 16, 10 radnika luke i 6 dodatno unajmljenih radnika. Rešenje je pronađeno za 9,41s. Na Slici 6. prikazana je prosečna vrednost kriterijumske funkcije u svakoj generaciji.

Tabela 3: Raspored rada radnika

JEDNOČASOVNI VREMENSKI SEGMENTI																								
TPS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0	11	11	11	13	4	3	3	0	0	0	0	0	0	14	1	12	5	12	12	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	11	2	14	1	2	14	1	0	0	0	0	0	0	12	0	0
3	4	3	3	3	3	3	11	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	11	11	4	7	3	13	2	0	0	0	0	0	0	8	0	0	8	5	8	6
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	2	2	1	6	5	6	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	14	2	7	14	0	0	0	0	0	0	0	0
7	9	9	9	0	0	0	0	0	0	14	10	10	1	7	12	12	6	0	0	0	5	16	6	5
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	10	10	10	0	0	6	0	0	0	0	0
9	0	0	4	4	4	9	9	4	7	10	7	0	0	0	0	0	5	1	8	5	6	6	0	0
10	0	4	13	9	0	0	0	0	0	7	15	2	10	0	0	0	2	0	0	0	0	8	5	8



Slika 6: Prosečna i najmanja vrednost kriterijumske funkcije po generaciji

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu detaljno je opisan Genetski algoritam za rešavanje problema raspoređivanja radnika koji upravljaju TP sredstvima u lukama. Predloženi algoritam testiran je na hipotetičkom numeričkom primeru. Preliminarno testiranje je pokazalo da se predloženi algoritam može uspešno koristiti za rešavanje problema raspoređivanja radnika. Opisani problem je rešavan za planski period dužine 24h. Produžavanjem planskog perioda, problem raspoređivanja lučkih radnika značajno se usložnjava brojnim ograničenjima koja se odnose na vremenski raspored radnih i neradnih perioda. Testiranje predloženog algoritma na primerima realnih dimenzija, kao i rešavanje problema raspoređivanja radnika za duži planski period predstavljaju pravce budućih istraživanja.

ZAHVALNOST

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, kroz projekat TR 36002.

LITERATURA

- [1] Holland J.H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. The University of Michigan Press.
- [2] Kim, K. H. & Park, Y. M. (2004). A crane scheduling method for port container terminals. *European Journal of Operational Research*, 156(3), 752–768.
- [3] Kratica J. (2000). *Paralelizacija genetskih algoritama za rešavanje nekih NP-kompletnih problema*. Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Matematički fakultet, Beograd.
- [4] UNCTAD (2016). *Review of Maritime Transport*. Technical report, United Nations.
- [5] Vukićević I. & Vukadinović K. (2017). Novi matematički model problema dnevnog raspoređivanja radnika u lučkim kontejnerskim terminalima. *Zbornik radova SYM-OP-IS 2017: XLIV Simpozijum o operacionim istraživanjima*, Zlatibor, 25-28 septembar 2017, 289-294.



METODOLOŠKI OKVIR ZA ODREĐIVANJE INDEKSA BEZBEDNOSTI AVIO-KOMPANIJA

METHODOLOGICAL FRAMEWORK FOR DETERMINING THE AIRLINES SAFETY INDEX

SLAVICA DOŽIĆ, BRANKA DIMITRIJEVIĆ, MILICA KALIĆ

Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd,
s.dozic@sf.bg.ac.rs, b.dimitrijevic@sf.bg.ac.rs, m.kalic@sf.bg.ac.rs

Rezime: Bezbednost predstavlja jedan od ključnih faktora koji se postavlja kao imperativ u komercijalnom vazdušnom saobraćaju. U ovom radu je dat predlog kriterijuma i odgovarajućih potkriterijuma u cilju određivanja indeksa bezbednosti pomoću kojeg bi mogle da se porede avio-kompanije po bezbednosti, kao i predlog odgovarajućeg metodološkog okvira baziranog na primeni višekriterijumskog odlučivanja.

Ključne reči: bezbednost avio-kompanija, mere bezbednosti, višekriterijumsko odlučivanje.

Abstract: Safety is one of the key issues that is set as an imperative in commercial air transport. A set of criteria and suitable sub-criteria are proposed in this paper in order to determine safety index which could enable comparison of airlines in terms of safety. Moreover, an appropriate methodological framework based on the application of multi-criteria decision-making is proposed as well.

Keywords: Airline safety, Safety measures, Multi-criteria decision making.

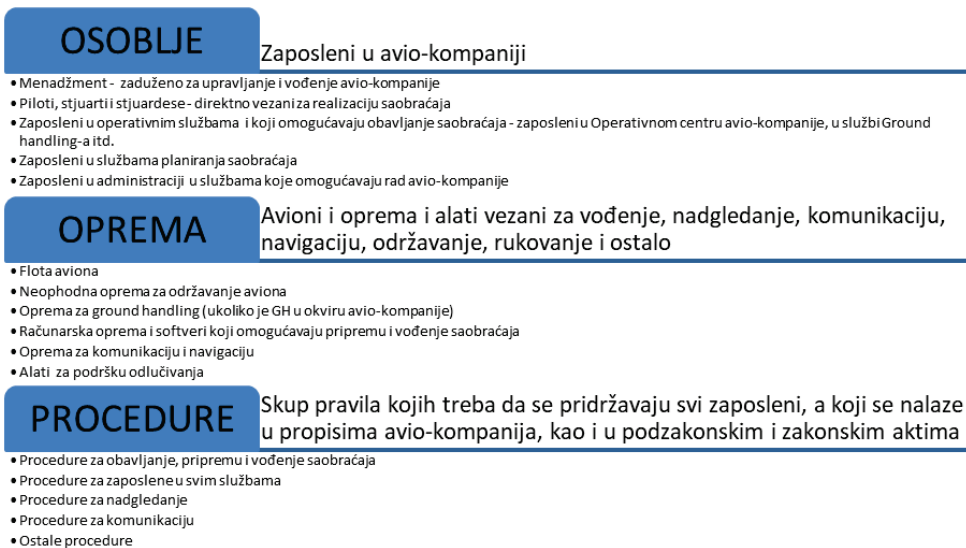
1. UVOD

Jedan od ključnih faktora koji se u komercijalnom vazdušnom saobraćaju postavlja kao imperativ, jeste bezbednost. Bilo da je reč o avio-kompanijama, aerodromima, kontroli letenja, proizvođačima aviona i odgovarajuće opreme, propisani nivo bezbednosti mora biti zadovoljen kao i odgovarajući standardi. Standardi mogu biti propisani na različitim nivoima (globalni, regionalni, nacionalni, kompanijski), iskazani kroz zakone, preporuke, propise i standarde i odnose se na sve učesnike u vazdušnom saobraćaju. Svi zakonski i podzakonski akti moraju biti usklađeni kako bi se obezbedilo bezbedno, sigurno, efikasno i održivo obavljanje saobraćaja na globalnom, regionalnom i nacionalnom nivou. Međunarodne standarde izdaju Međunarodna organizacija za civilno vazduhoplovstvo (ICAO – *International Civil Aviation Organization*) i Međunarodno udruženje avio-kompanija (IATA – *International Air Transport Association*). Države članice u okviru ICAO razvijaju Standarde i preporučenu praksu (SARP – *Standards and Recommended Practices*) koji pokrivaju sve aspekte vazduhoplovstva, uključujući bezbednost. Sa druge strane IATA je razvila program revizije operativne bezbednosti (IOSA – *IATA Operational Safety Audit*) koji se koristi za procenu operativnog upravljanja i sistema kontrole u avio-kompanijama. IOSA provere obuhvataju različite aspekte poslovanja avio-kompanija, i to: organizacija i upravljanje, letačke operacije, upravljanje saobraćajem (*operational control/flight dispatch*), održavanje, kabinske operacije, opsluga aviona, operacije vezane za robu, kao i obezbeđivanje (*security*). Kako bi se obezbedio ujednačen i visok nivo bezbednosti u oblasti civilnog vazduhoplovstva, formiraju se regionalne organizacije koje se bave usvajanjem zajedničkih bezbednosnih pravila i mera u skladu sa ICAO standardima i preporučenim praksama. Primer je EASA (*European Union Aviation Safety Agency*) – Evropska agencija za bezbednost u vazduhoplovstvu. Nacionalne regulatorne vlasti u svakoj državi objavljuju propise u aktima koje izdaju, pri čemu ti propisi moraju biti u skladu sa onima koji su propisani na regionalnom i međunarodnom nivou.

Bezbednost u avio-kompanijama se može posmatrati sa različitih aspekata, uzimajući u obzir različite faktore. Predmet ovog rada je razvoj metodološkog okvira za određivanje indeksa bezbednosti avio-kompanija, koji bi u daljem radu mogao biti korišćen za poređenje avio-kompanija sa aspekta bezbednosti. Prema tome, cilj je definisanje odgovarajućih aspekata – mera bezbednosti koje avio-kompanija može kontrolisati i kojima može upravljati, a na osnovu kojih je moguće pružiti osnovu za određivanje indeksa bezbednosti za rangiranje avio-kompanija. U radu je predložen novi, originalni pristup baziran na metodama višekriterijumskog odlučivanja (VKO).

2. PREGLED LITERATURE

Kada se razmatra bezbednost avio-kompanija moraju se uzeti u obzir tri njena segmenta, a to su osoblje, oprema i procedure (Netjasov, 2015, Slika 1). Ceo sistem bezbednosti avio-kompanije mora da funkcioniše tako da svaki segment u svom punom obimu zadovoljava sve kriterijume bezbednosti. U nastavku je dat pregled relevantnih radova koji su podeljeni u dve grupe: jedna koja se bavi različitim aspektima bezbednosti avio-kompanija i druga u kojoj su primenjene različite metode VKO u oblasti bezbednosti avio-kompanija.



Slika 1: Segmenti avio-kompanije po pitanju bezbednosti

2.1. Bezbednost avio-kompanija

Chen i Chen (2012) su se bavili procenom performansi kompanijskog SMS-a (*Safety Management System*) na osnovu mera i ocena eksperata iz oblasti vazduhoplovstva i rukovodstva avio-kompanije. Hsu i Liu (2012) su sprovedi istraživanje vezano za bezbednost u putničkoj kabini aviona, pa su anketirali kabinsko osoblje i zaposlene u odeljenju za bezbednost u jednoj avio-kompaniji na Tajvanu. Korišćen je 5M model, a posebno su se izdvojile varijable „obuka kabinskog osoblja“ i „*hardware design*“ kao izuzetno važne za bezbednost u putničkoj kabini. Majidi i ostali (2014) su istraživali percepciju putnika po pitanju bezbednosti u vazdušnom saobraćaju u Iranu imajući u vidu uticaj sankcija na iranske avio-kompanije. Yi Gao i ostali (2015) su se bavili bezbednosnom kulturom u avio-kompaniji tako što su sprovedi kvantitativno istraživanje sa blizu hiljadu ispitanika iz četiri različite grupe (piloti, kabinsko osoblje, inženjeri, zaposleni u zemaljskoj operativi avio-kompanije). Fleischer i ostali (2015) su proučavali kako putnici tumače i koriste informacije o bezbednosti avio-kompanija prilikom izbora leta uzimajući u obzir cenu, vreme trajanja putovanja, da li je let direktan ili let sa međusletanjem, avio-kompaniju koja obavlja let i rang što se tiče bezbednosti avio-kompanije (visoko bezbedna, srednje bezbedna, nisko bezbedna). Ispitanik dobija upitnik sa jedan blokom sa više kombinacija letova za izbor, tako da jedan ispitanik više puta vrši izbor leta, pri čemu 50% blokova sadrži informacije o bezbednosti. Fleischer i ostali (2015) su zaključili da kada putnici imaju informacije o bezbednosti avio-kompanije ne uzimaju u obzir celokupnu gradaciju bezbednosti, već razlikuju samo visoko bezbednu avio-kompaniju od ostalih (srednje i nisko bezbedne). Ciu i Li (2015) su uveli pojam efikasnosti bezbednosti civilnog vazduhoplovstva. Oni su predložili novi koncept za ocenu performansi bezbednosti avio-kompanija kroz efikasnost, koja je definisana kao sposobnost da se realizuju najbolje bezbednosne i poslovne performanse avio-kompanije. Jeeradist i ostali (2016) su u svom radu sprovedi opsežno istraživanje vezano za kvalitet usluge i bezbednost avio-kompanije, u kome su anketirani i putnici i zaposleni u avio-kompaniji, kako bi se analizirala percepcija ispitanika o kvalitetu usluge i bezbednosti. Razvijen je integrisani model kvaliteta usluge i bezbednosti avio-kompanije baziran na SERVQUAL, Kano i TRIZ metodologiji, a sve u cilju poboljšanja imidža posmatrane avio-kompanije. Bogdane i ostali (2019) su razvili sistem upravljanja rizicima na primeru aktivnosti i zaposlenih u odeljenju tehničkog održavanja u avio-

kompaniji. Oehling i Barry (2019) su istraživali mogućnost primene metode mašinskog učenja kako bi se iz velikog broja postojećih podataka o letovima generisalo novo, relevantno znanje o bezbednosti.

2.2. Primena VKO u proceni bezbednosti avio-kompanija

Kako bi se procenio nivo bezbednosti u avio-kompanijama, kao i njihovo međusobno poređenje, u akademskoj literaturi se koriste različiti pristupi VKO. Chang i Yeh (2004) su predložili pristup zasnovan na fazi višeatributnom odlučivanju kako bi odredili indeks bezbednosti avio-kompanija, koji bi dalje pomogao kompanijama da razumeju svoje slabosti i prednosti. Kada je reč o bezbednosti tradicionalnih avio-kompanija, složeni odnosi se mogu otkriti primenom metoda DEMATEL (*Decision making trial and evaluation laboratory*) i ANP (*Analytic Network Process*), a to se može koristiti za određivanje relativnih težina kriterijuma (Liou i ostali, 2007). Da bi se izgradio efikasan SMS Liou i ostali (2008) su koristili fazi logiku i DEMATEL, dok su Hsu i ostali (2010) koristili DEMATEL i ANP za procenu kritičnih komponenti SMS-a. Beauchamp-Akatova i Curran (2013) su predložili pristup za modeliranje upravljanja sistemskim rizicima kao i model zasnovan na analitičkom hijerarhijskom procesu (AHP) za simulaciju odluka o uvođenju inovacija u sistem vazdušnog saobraćaja. Barak i Dahooei (2018) su razvili fazi *Data envelopment analysis* (DEA) – fazi VKO metod (koji obuhvata šest VKO metoda) kako bi procenili bezbednost i rangirali avio-kompanije.

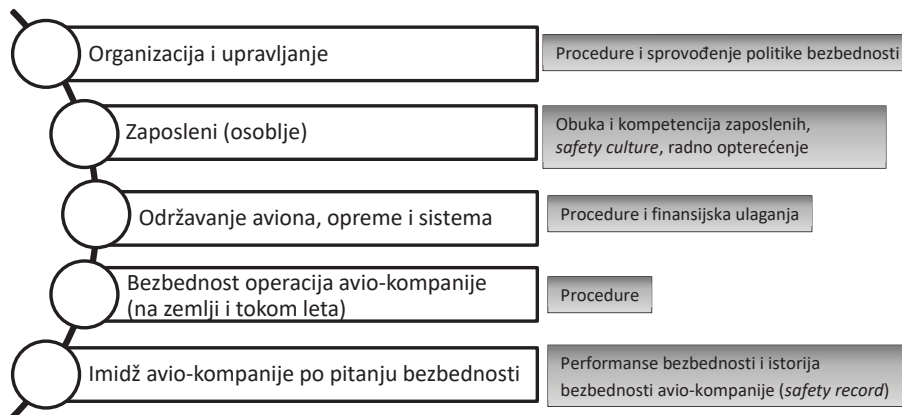
Kriterijumi koji su predloženi u navedenim radovima se razlikuju. Mogu se uočiti kriterijumi koji se odnose na upravljanje i organizaciju, politiku i strategiju bezbednosti, kompetentnost osoblja, kao i odgovarajuću obuku, nadgledanje i beleženje svih bezbednosnih pitanja, *safety culture*, kao i drugi. Takođe se primećuje da se najčešće razmatraju ljudski aspekti. *Safety culture* i dokumentacija u vezi sa svim aspektima (dokumentacija o obuci osoblja, evidencija o pitanjima bezbednosti, organizacijska dokumentacija itd.) su vrlo važni zbog činjenice da su glavni izvor podataka potrebnih za donošenje odgovarajućih odluka. Treba napomenuti da Chang i Yeh (2004) i Liou i ostali (2007) predlažu tri ista kriterijuma koja se odnose na upravljanje, eksploataciju u vazdušnom saobraćaju i održavanje, pri čemu se potkriterijumi neznatno razlikuju. Pored navedena tri, predložen je i četvrti kriterijum. Naime, Chang i Yeh (2004) su predložili planiranje koje sadrži dva potkriterijuma i to prosečnu starost flote i broj tipova aviona u floti, dok su Liou i ostali (2007) uveli stopu nezgoda koja se izražava kao broj nezgoda koje se dogode u avio-kompaniji na sto hiljada poletanja. Liou i ostali (2008) su dali podelu kriterijuma koja se razlikuje u odnosu na prethodne radove zato što obuhvata strategiju i politiku bezbednosti avio-kompanije, zatim implementaciju, ljudski faktor, kao i praćenje i povratne informacije. Na ovaj način su kroz odgovarajuće potkriterijume pokriveni aspekti bezbednosti od strategije, regulative, odgovarajućih organa, dokumentacije, opreme, prakse, komunikacije, *safety culture*, obuke, kompetencija do istraživanja i analize različitih događaja koji utiču na bezbednost i upravljanja bezbednosnim rizikom. U nekim radovima su razmatrani samo kriterijumi koji se odnose na bezbednost (Hsu i ostali, 2010), dok se u nekim pored bezbednosti u razmatranje uzima i okruženje (Beauchamp-Akatova i Curran, 2013) kao i finansijski aspekti i karakteristike zaposlenih (Barak i Dahooei, 2018).

3. PREDLOG KRITERIJUMA

Na osnovu raspoložive literature i pokazatelja na osnovu kojih nadležne institucije vrše proveru nivoa bezbednosti avio-kompanija, u ovom radu se predlažu sledeće grupe kriterijuma za procenu bezbednosti avio-kompanija: organizacija i upravljanje, zaposleni (osoblje), održavanje aviona opreme i sistema, bezbednost operacija avio-kompanije (na zemlji i tokom leta) i imidž avio-kompanije po pitanju bezbednosti (Slika 2). U okviru svake grupe kriterijuma mogu se definisati različiti potkriterijumi koji u zavisnosti od vrste podataka koju zahtevaju, mogu biti kako kvalitativni, tako i kvantitativni.

Kada su u pitanju organizacija i upravljanje, svakako treba uzeti u obzir razvijenost politike i strategije bezbednosti avio-kompanije (postojanje i usaglašenost plana razvoja politike bezbednosti sa međunarodnim propisima i sertifikacija), organizacionu strukturu (da li postoje odeljenja i/ili rukovodioci nadležni za bezbednost), upravljanje avio-kompanijom, kao i monitoring, evaluacija i učenje koji podrazumevaju da avio-kompanija svakodnevno prati, beleži i analizira događaje koji mogu potencijalno ugroziti bezbednost, odnosno da povratne informacije o tim događajima prosledi svima kojima mogu biti od značaja da bi na osnovu njih reagovali i učili. Svi ovi potkriterijumi su kvalitativnog tipa i mogu se opisati rečima (politika i strategija bezbednosti razvijena u manjoj ili većoj meri, organizaciona struktura u manjoj ili većoj meri odgovara potrebama avio-kompanije, rukovodstvo upravlja avio-kompanijom na odgovarajući ili manje odgovarajući način, manja ili veća posvećenost praćenju i analiziranju događaja koji mogu ugroziti bezbednost i preduzimanje odgovarajućih mera u cilju sprečavanja njihovog ponavljanja).

U pogledu zaposlenih u avio-kompaniji trebalo bi svakako razmotriti obrazovanje, obučenos t i kompetencije zaposlenih, kao i iskustvo koje može biti od izuzetne važnosti u pojedinim situacijama. Pored toga u ovu grupu kriterijuma svrstani su i nivo svesti o značaju aspekata bezbednosti i ponašanje u skladu sa tim, komunikacija i spremnost za učenje na greškama (*safety culture*). Takođe, radno opterećenje (količina i raspored radnih zadataka, rad tokom noći i promena vremenskih zona) zaposlenih u avio-kompanijama, koje se tokom godina uvećava, može biti uzrok zamora koji se svakako reflektuje i na bezbednost, pa je i ovaj aspekt problema uzet u obzir. Svi navedeni potkriterijumi mogu biti kvalitativni i/ili kvantitativni, odnosno mogu se opisati verbalno (na primer: obrazovanje je na odgovarajućem ili manje odgovarajućem nivou, obuka sprovedena u manjoj ili većoj meri u skladu sa propisima, iskustvo malo ili veliko) ili pak egzaktnim vrednostima (na primer: procenat zaposlenih koji ima odgovarajući stepen obrazovanja, procenat sprovođenja obuke u skladu sa propisima, iskustvo izraženo godinama radnog staža), u zavisnosti od raspoloživih podataka.



Slika 2: Grupe kriterijuma za procenu bezbednosti avio-kompanije

Grupa kriterijuma održavanje aviona, opreme i sistema podrazumeva sve procedure koje se odnose na održavanje, kao i odgovarajuća finansijska ulaganja. Iz razloga bezbednosti, služba održavanja redovno i periodično vrši tehničke preglede aviona i održavanje različite složenosti i trajanja, po ustaljenom planu (pre svakog leta, na kraju dana, po određenom vremenu koje je avion proveo u vazduhu, na svake dve godine i na svakih 6 do 10 godina). Oprema i sistemi takođe zahtevaju održavanje u skladu sa odgovarajućim propisima. Održavanje aviona, opreme i sistema može biti ocenjeno od strane zaposlenih. Starija oprema i sistemi zahtevaju više finansijskih sredstava za održavanje, a mogu biti nekompatibilni sa savremenim sistemima. Stoga su potrebna i periodična (manja ili veća) finansijska ulaganja u obnavljanje opreme i sistema.

Operativni aspekti bezbednosti avio-kompanije (letačke operacije, upravljanje saobraćajem (*operational control/flight dispatch*), kabinske operacije, opsluga aviona, operacije vezane za robu, kao i obezbeđivanje (*security*)) su važni iz razloga što na svakodnevnom nivou omogućavaju bezbedno obavljanje saobraćaja. U ovom slučaju treba oceniti primenu procedura na svaki od navedenih operativnih aspekata.

Imidž avio-kompanije po pitanju bezbednosti je još jedan od kriterijuma koje treba uzeti u obzir pri određivanju indeksa bezbednosti. Naime, svaki putnik percipira bezbednost subjektivno, a na osnovu njemu dostupnih informacija i može je oceniti kvantitativno ili kvalitativno. Takođe se može meriti na osnovu podataka iz *Safety record*-a ili podataka na osnovu javnog oglašavanja *Airline ratings.com*.

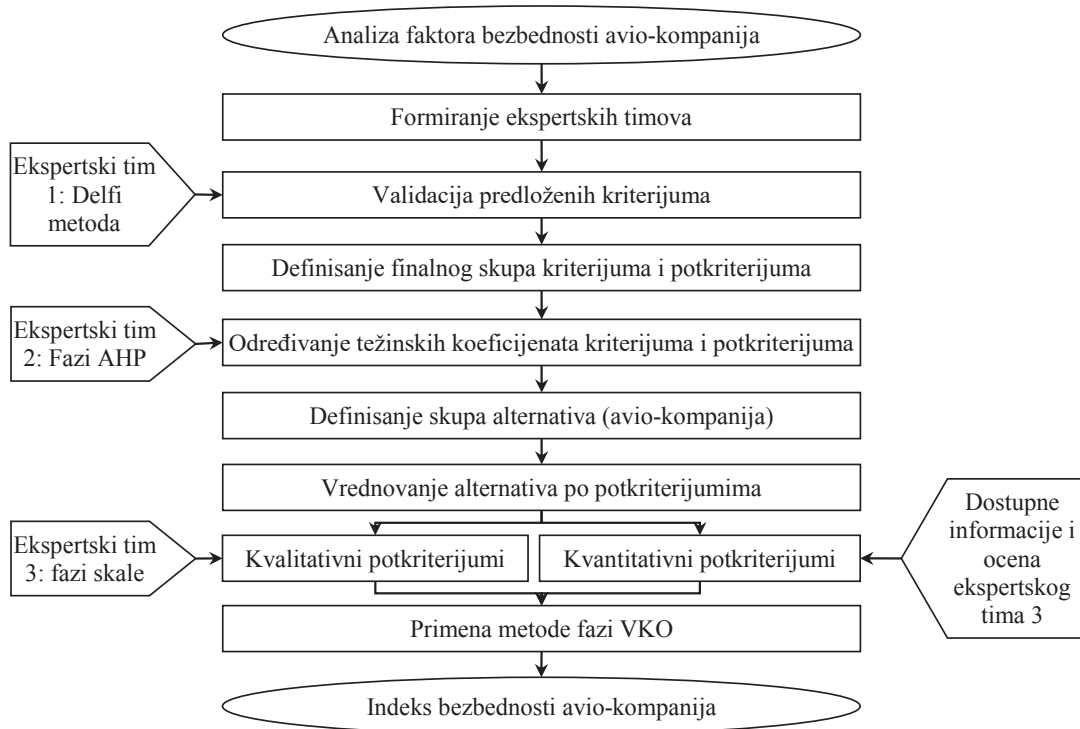
4. PREDLOG METODOLOŠKOG OKVIRA

U ovom poglavlju je predložen metodološki okvir baziran na grupnom donošenju odluka, višekriterijumskoj analizi i fazi logici (Slika 3) na osnovu koga će se odrediti pokazatelji (indeksi) bezbednosti avio-kompanija, a u budućem radu izvršiti komparativna analiza njihove bezbednosti.

Primećeno je da, iako postoji veliki broj radova u kojima su različiti višekriterijumski pristupi primenjeni na rešavanje problema u oblasti vazdušnog saobraćaja, zastupljenost grupnog donošenja odluka nije dovoljno prisutna (Dožić, 2019). Autori smatraju da je za sveobuhvatno i kvalitetno sagledavanje posmatranog problema neophodno učešće više različitih eksperata koji će biti birani tako da se među njima nađu predstavnici akademske zajednice, predstavnici avio-kompanija koji se bave bezbednošću, predstavnici civilnih vazduhoplovnih vlasti i predstavnici međunarodnih organizacija i udruženja. Eksperti će, u skladu sa

svojim kompetencijama, biti raspoređeni u različitim ekspertskim timovima (1, 2 i 3) i biti angažovani u praktično svim fazama definisanja posmatranog višekriterijumskog problema (Slika 3): validacija kriterijuma i potkriterijuma predstavljenih u prethodnom poglavlju uz definisanje skala na kojima će eksperti vrednovati alternative kroz Delfi metodu, određivanje težinskih koeficijenata kriterijuma i potkriterijuma, kao i vrednovanje alternativa po potkriterijumima kroz popunjavanje anketnih obrazaca sa preciznim uputstvima.

Fazi logika se često kombinuje sa različitim višekriterijumskim pristupima. Ovako intenzivna upotreba fazi logike mogla bi se objasniti činjenicom da stavove eksperata u VKO često karakteriše doza neizvesnosti, neodređenosti i subjektivnosti svojstvene ljudskom razmišljanju. Primena fazi logike u VKO naročito je prisutna u proceni važnosti kriterijuma, te je tako i u prikazanoj metodologiji predloženo da se težinski koeficijenti kriterijuma i potkriterijuma određuju fazi AHP metodom (Demirel i ostali, 2008), koja se dokazala kao veoma moćan alat, naširoko primenjivan u te svrhe. Imajući u vidu da su podaci u vazduhoplovstvu često nedostupni ili veoma skupi, kao i da sami kriterijumi mogu imati kvalitativnu prirodu, fazi logika nalazi primenu i u prevazilaženju nedostajućih podataka, odnosno vrednovanju alternativa po kvalitativnim kriterijumima. Upravo je takav slučaj i u predloženoj metodologiji, u okviru koje bi ekspertске ocene avio-kompanija po kvalitativnim kriterijumima iskazane lingvističkim deskriptorima bile predstavljene odgovarajućim fazi skalama. Imajući u vidu da je izbor metode VKO, između ostalog, uslovljen i ulaznim podacima (Dožić i Kalić, 2018), u ovom slučaju određivanje indeksa bezbednosti avio-kompanija će biti rezultat primene neke od metoda fazi VKO.



Slika 3: Metodološki okvir za određivanje indeksa bezbednosti avio-kompanija

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu razvijen je originalan metodološki okvir za ocenu indeksa bezbednosti avio-kompanija. Definirane su grupe kriterijuma i u okviru njih potkriterijumi, koji u zavisnosti od vrste podataka koju zahtevaju, mogu biti kako kvalitativni, tako i kvantitativni. U okviru predloženog metodološkog okvira planirane su različite ekspertске grupe koje sačinjavaju ljudi iz različitih segmenata sistema vazdušnog saobraćaja (avio-kompanije, civilne vazduhoplovne vlasti, akademska institucija), koje dalje utiču na formiranje gledišta i definisanje prioriteta. Upravo su različita gledišta potrebna za sveobuhvatno i ispravno donošenje odluka zato što obezbeđuju sagledavanje problema iz različitih perspektiva. Treba napomenuti da će izbor VKO metode/a za rešavanje ovog višekriterijumskog problema biti naknadno napravljen, jer je on

opredeljen ne samo problemom koji se rešava, prednostima i manama VKO metoda, već i raspoloživim podacima. Nedostatak, nepotpunost ili nepreciznost podataka, kao i subjektivizam prisutan u definisanju i rešavanju problema VKO najčešće se prevazilaze kombinovanjem VKO metoda sa drugim pristupima i tehnikama koji obezbeđuju njihovu veću fleksibilnost u pogledu tretiranja pomenutih izvora neodređenosti i neizvesnosti, a samim tim i primenljivosti dobijenih rezultata.

Što se tiče daljih istraživanja, ovaj rad predstavlja osnovu za komparativnu analizu bezbednosti avio-kompanija, pri čemu će deo koji se odnosi na ulazne podatke, biti od vitalne važnosti za dobijanje relevantnih rezultata i kvalitetnu primenu odabranih tehnika VKO.

LITERATURA

- [1] Barak, S., & Dahooei, J.H. (2018). A novel hybrid fuzzy DEA-Fuzzy MADM method for airlines safety evaluation. *Journal of Air Transport Management*, 73, 134-149.
- [2] Beauchamp-Akatova, E., & Curran, R. (2013). From initial risk assessments to system risk management. *Journal of Modelling in Management*, 8(3), 262-289.
- [3] Bogdane, R., Gorbacovs, O., Sestakovs, V., & Arandas, I. (2019). Development of a model for assessing the level of flight safety in an airline using concept of risk. *ICTE in Transportation and Logistics 2018 (ICTE 2018)*. *Procedia Computer Science* 149, 365–374.
- [4] Chang, Y.-H., & Yeh, C.-H. (2004). A new airline safety index. *Transportation Research B*, 38, 369-383.
- [5] Chen, C-F., & Chen, S-C. (2012). Scale development of safety management system evaluation for the airline industry. *Accident Analysis and Prevention*, 47, 177-181.
- [6] Cui, Q., & Li, Y. (2015). The change trend and influencing factors of civil aviation safety efficiency: The case of Chinese airline companies. *Safety Science*, 75, 56-63.
- [7] Demirel T., Demirel N.Ç., & Kahraman C. (2008). Fuzzy Analytic Hierarchy Process and its Application. In: Kahraman C. (eds) *Fuzzy Multi-Criteria Decision Making*. Springer Optimization and Its Applications, vol. 16. Springer, Boston, MA.
- [8] Dožić, S. (2019). Multi-criteria decision making methods: Application in the aviation industry. *Journal of Air Transport Management*, 79, 101683.
- [9] Dožić, S., & Kalić, M. (2018). Aircraft Type Selection Problem: Application of Different MCDM Methods. *Advanced Concepts, Methodologies and Technologies for Transportation And Logistics, Advances in Intelligent Systems 572*, Springer International Publishing AG Springer, 156-175.
- [10] Fleischer, A., Tchetchik, A., & Toledo, T. (2015). Does it pay to reveal safety information? The effect of safety information on flight choice. *Transportation Research Part C*, 56, 210-220.
- [11] Gao, Y., Bruce, P.J., & Rajendran, N. (2015). Safety climate of a commercial airline: A cross-sectional comparison of four occupational groups. *Journal of Air Transport Management*, 47, 162-171.
- [12] Hsu, Y.-L., Li, W.-C., & Chen, K.-W. (2010). Structuring critical success factors of airline safety management system using a hybrid model. *Transportation Research Part E*, 46, 222-235.
- [13] Hsu, Y-L. & Liu, T-C. (2012) Structuring risk factors related to airline cabin safety. *Journal of Air Transport Management*, 20, 54-56.
- [14] Jeeradist, T., Thawesaengskulthai, N., & Sangsuwan, T. (2016). Using TRIZ to enhance passengers' perceptions of an airline's image through service quality and safety. *Journal of Air Transport Management*, 53, 131-139.
- [15] Liou, J.J.H., Tzeng, G.-H., & Chang, H.-C. (2007). Airline safety measurement using a hybrid model. *Journal of Air Transport Management*, 13, 243-249.
- [16] Liou, J.J.H., Yen, L., & Tzeng, G.-H. (2008). Building an effective safety management system for airlines. *Journal of Air Transport Management*, 14, 20-26.
- [17] Netjasov, F. (2015) *Air Transport Safety: an Introduction*, Nova Science Publishers.
- [18] Majidi, A., Nedjat, S., Mohammadi, A., Jamshidi, E., & Majdzadeh, R. (2014). Impact of sanctions on Iranian airlines: How people in Iran feel about air travel safety? *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 10, 67-74.
- [19] Oehling, J., & Barry, D.J. (2019). Using machine learning methods in airline flight data monitoring to generate new operational safety knowledge from existing data. *Safety Science*, 114, 89-104.

Simulacija i stohastički modeli

Simulation and Stochastic Models



RAZVOJ I VALIDACIJA SIMULACIONOG MODELA AUTOBUSA NA ELEKTRO POGON

DEVELOPMENT AND VALIDATION OF E-BUS SIMULATION MODEL

MARKO STOKIĆ¹, MARKO ĐOGATOVIĆ²

Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, ¹m.stokic@sf.bg.ac.rs, ²m.djogatovic@sf.bg.ac.rs

Rezime: U ovom radu je razvijen simulacioni model autobusa na elektro pogon Higer KLQ6125GEV3 u softveru IGNITE vodeći računa o tehničko-eksploatacionim karakteristikama i profilu brzine ostvarenih u realnim uslovima eksploatacije. Cilj rada je validacija razmatranog modela na osnovu upoređivanja generisane snage sa elektro motora koja je snimljena u realnim uslovima eksploatacije sa generisanom snagom sa elektro motora dobijene simulacijom. Kroz više izvršenja simulacije sa različitim parametrima dobijen je model čiji je profil brzine gotovo identičan snimljenom profilu brzine u realnim uslovima eksploatacije, što je dalje rezultiralo vrlo velikim stepenom korelacije snimljene snage i snage dobijene u simulaciji. Na taj način dobijen je validirani model autobusa Higer KLQ6125GEV3 koji je moguće iskoristiti za ispitivanje tehničko-eksploatacionih karakteristika razmatranog autobusa i na drugim linijama javnog gradskog prevoza putnika sa ciljem određivanja pogodnosti njegove primene na njima.

Ključne reči: Simulacija, Validacija, Elektro autobus, IGNITE.

Abstract: In this paper, a simulation model of an electric bus Higer KLQ6125GEV3 is developed in IGNITE software taking into account technical-operational characteristics and drive cycle which is achieved during real operating conditions. Goal of this paper is a validation of the considered model based on the comparison of the generated power from the electric motor, which was recorded in real operating conditions with the generated power from the electric motor obtained in the simulation program. Through multiple simulations with different parameters, an almost identical drive cycle was obtained in the simulation compared to the recorded drive cycle in real operating conditions, which further resulted in very high degree of correlation between recorded power and power obtained in the simulation. In this way the simulation model of Higer KLQ6125GEV3 bus is validated and it can be used for examination of the technical-operational characteristics of the considered bus on other lines of public transport in order to determine the convenience of its application on them.

Keywords: Simulation, Validation, Electric bus, IGNITE

1. UVOD

Države širom sveta se sve više bore sa zagađenjem vazduha prouzrokovanim od strane drumskog transporta. Jedan od glavnih zagađivača su vozila javnog gradskog prevoza putnika. Kao potencijalno rešenje za smanjenje zagađenja jeste uvođenje vozila na alternativne pogone. U tom smislu, širom Evrope postoji praksa uvođenja autobusa na električni pogon. Danas, 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) (UITP 2017).

Mnogi gradovi vrše nabavku različitih vozila sa elektro pogonom u svrhu njihovog testiranja i ispitivanja pogodnosti njihove primene na različitim linijama javnog gradskog prevoza. S obzirom da ovakav vid testiranja primene elektro autobusa zahteva značajna finansijska ulaganja, kao i značajno vreme koje je potrebno izdvojiti za testiranje, a rezultati ne moraju biti pozitivni, neophodno je pronaći neko rešenje koje će dati dovoljno precizne rezultate, a koje će zahtevati značajno manja finansijska i vremenska ulaganja. U tom smislu, jedno od mogućih rešenja jeste korišćenje simulacionih modela koji će verodostojno opisivati ponašanje vozila u realnim uslovima eksploatacije.

U tu svrhu, u ovom radu korišćen je simulacioni softver IGNITE, kompanije Ricardo, u kom je modeliran autobus na elektro pogon Higer KLQ6125GEV3. Glavni cilj ovog rada jeste validacija modeliranog autobusa u simulacionom softveru u pogledu generisane snage u funkciji vremena i pređenog puta. Ovo bi omogućilo

ispitivanje pogodnosti primene ovog autobusa kroz simulacioni model i na ostalim linijama javnog gradskog prevoza putnika kako u Beogradu, tako i u ostalim gradovima u Republici Srbiji.

Metodologija rada je takva da su u drugom poglavlju date detaljne karakteristike samog autobusa i razmatrane trase na kojoj je ovaj autobus u eksploataciji. U trećem poglavlju prikazan je simulacioni model autobusa i objašnjen je postupak njegovog modeliranja, dok su u četvrtom poglavlju prikazani dobijeni rezultati profila brzine i generisane snage na elektro motorima u simulaciji, čije vrednosti su upoređene sa stvarnim vrednostima dobijenim u realnim uslovima eksploatacije. U poslednjem poglavlju data su zaključna razmatranja i pravci budućeg istraživanja.

2. DEFINISANJE KARAKTERISTIKA AUTOBUSA I TRASE

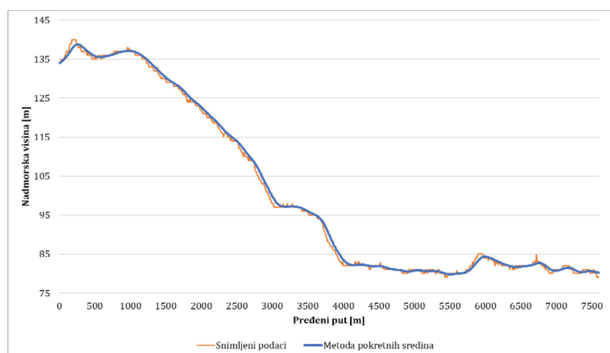
Kako bi simulacija bila uspešno realizovana, neophodno je da se definišu ključne eksploataciono-tehničke karakteristike autobusa Higer KLQ6125GEV3, kao i karakteristike same trase na kojoj je ovo vozilo u eksploataciji.

2.1. Definisane eksploataciono-tehničkih karakteristika autobusa

Pod tehničkim karakteristikama autobusa definisane su dimenzije vozila (dužina, širina i visina), masa vozila (sopstvena masa i trenutna masa vozila sa putnicima), njegovo težište, karakteristike motora (snaga i obrtni moment), sistem za prenos snage (transmisija), karakteristike pneumatika (obim pneumatika, koeficijent otpora kotrljanja), kapacitet superkondenzatora, karakteristike elektro motora, ostali potrošači električne energije u vozilu (npr. klima uređaj, sistem grejanja i sl.). Sve neophodne tehničke karakteristike autobusa potrebne za pravljenje simulacionog modela dobijene su pregledom naredne literature (Mišanović *et al.* 2018, Göhlich *et al.* 2018, RDW 2014). Sa druge strane, kao bitne eksploatacione karakteristike vozila mogu se izdvojiti trenutna brzina vozila u funkciji vremena iz čega proističe trenutno ubrzanje i usporenje vozila, opterećenje motora, potrošnja energije, kao i generisana energija za ostale potrošače. Sve eksploatacione karakteristike mogu biti utvrđene snimanjem ovih parametara u realnom vremenu u stvarnim uslovima eksploatacije uz pomoć adekvatne opreme.

2.2. Definisane karakteristika trase

U pogledu trase, za potrebe simulacije neophodno je da se definiše dužina trase, njeno opterećenje kao i uzdužni nagib trase (puta). Ovi parametri su dobijeni snimanjem u realnim uslovima eksploatacije pomoću uređaja proizvođača Garmin, model GPSMAP 62s. Konkretno, pomenuti uređaj evidentira trenutnu nadmorsku visinu i GPS koordinate sa frekvencijom od 1Hz na osnovu kojih je moguće odrediti uzdužni nagib puta. Određivanje nagiba puta izvršeno je pomoću kombinacije softvera IGNITE i metode pokretnih sredina, gde se pomenuti softver koristi za interpolaciju snimljenih tačaka nadmorskih visina u funkciji pređenog puta, nakon čega je na dobijene vrednosti primenjena metoda pokretnih sredina. Izgled snimljenog profila uzdužnog nagiba puta i uzdužnog nagiba puta nakon primene softvera i metode pokretnih sredina dat je na slici 1.



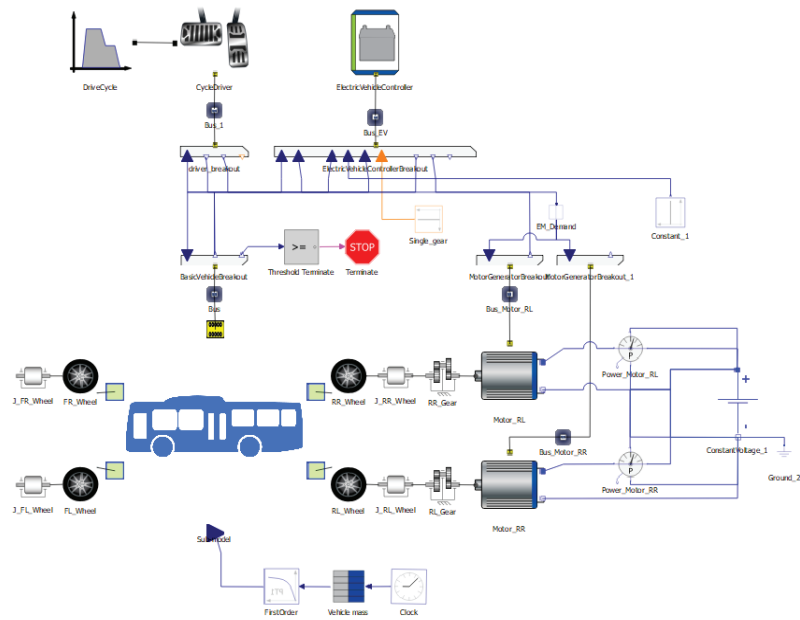
Slika 1. Izgled inicijalnog profila uzdužnog nagiba puta i uzdužnog nagiba puta nakon proračuna primenom metode pokretnih sredina

Nakon što su definisane neophodne eksploataciono-tehničke karakteristike autobusa Higer KLQ6125GEV3, kao i karakteristike same trase na kojoj je vršeno snimanje eksploataciono-tehničkih karakteristika pomenutog autobusa, moguće je pristupiti simulacionom modeliranju istog. U narednom

poglavlju biće dato objašnjenje na koji način je izvršena simulacija autobusa u simulacionom programu IGNITE.

3. SIMULACIONI MODEL AUTOBUSA NA ELEKTRO POGON

U ovom poglavlju dat je izgled celokupnog simulacionog modela autobusa Higer KLQ6125GEV3 koji je modeliran u softveru IGNITE (Slika 2). Pored toga, dato je detaljno objašnjenje najvažnijih komponenti od kojih se sastoji pomenuti simulacioni model.



Slika 2. Prikaz simulacionog modela autobusa HIGER KLQ6125GEV3 u softveru IGNITE

3.1. Modeliranje vozila

Prilikom modeliranja vozila neophodno je obratiti pažnju da se unesu realne vrednosti zahtevanih parametara. Neki od najvažnijih parametara koji utiču na eksploataciono-tehničke karakteristike vozila u simulaciji jesu masa vozila, broj osovin, udaljenost težišta od prednje i zadnje osovine vozila, visina težišta, maksimalna sila kočenja, opterećenje prednje i zadnje osovine, krutost sistema za oslanjanje, čeon površina vozila, koeficijent aerodinamičkog otpora itd. Pored navedenog, u okviru komponente koja oslikava vozilo potrebno je definisati i profil puta, odnosno njegov uzdužni nagib u funkciji predenog puta. Ovo je moguće izraziti tabelarno, ali s obzirom da simulacioni softver IGNITE podržava jezik za modeliranje Modelica, moguće je kreirati .m fajlove koji oslikavaju uzdužni nagib puta.

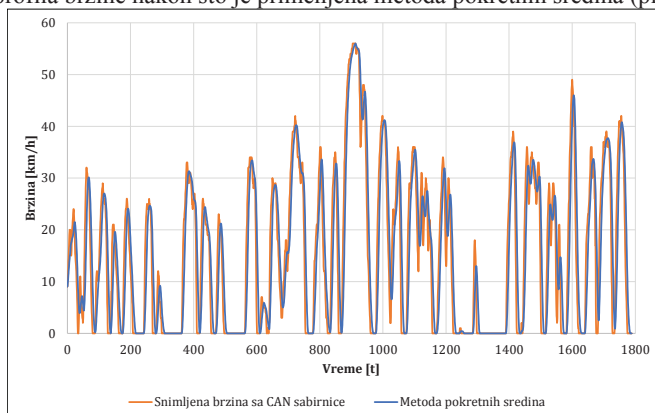
3.2. Modeliranje elektro motora

Na autobusu Higer KLQ6125GEV3 postoji 2 elektro motora proizvođača Siemens, model 1PV5135. Svaki od ovih motora ima 90 kW vršne i 60 kW nominalne snage, dok je obrtni moment motora 430 Nm. Kako bi se simulacija uspešno izvršila i kako bi se odredila trenutna potražnja za snagom na određenim deonicama puta neophodno je pravilno modelirati elektro motore. U tom smislu, potrebno je uneti momente inercije motora, maksimalne obrtne momente i maksimalnu snagu motora. Pored toga jako bitno je konstruisati mape efikasnosti ovih motora, koje je takođe moguće konstruisati uz pomoć pravljenja .m fajlova koji se potom importuju u simulacioni program IGNITE.

3.3. Modeliranje profila brzine

Jedan od najvažnijih, a možda i najvažniji deo prilikom modeliranja autobusa u simulacionom softveru IGNITE u cilju validacije modeliranog vozila jeste kreiranje profila brzine autobusa na posmatranoj trasi. Merenje, odnosno evidentiranje podataka u pogledu trenutne brzine prikupljano je sa CAN magistrale pomoću HBM QuantumX MX840A uređaja. Određivanje konačnog profila brzine vršeno je na sličan način kao i određivanje uzdužnog nagiba puta s obzirom da postoje određena odstupanja / greške prilikom

snimanja. U tom smislu, greške prilikom merenja bilo je potrebno ispraviti ili ublažiti primenom metode pokretnih sredina. Na slici 3 moguće je videti inicijalni izgled profila brzine koji je označen narandžastom bojom, kao i izgled profila brzine nakon što je primenjena metoda pokretnih sredina (plava boja).



Slika 3. Prikaz snimljenog profila brzine sa CAN sabirnice i profila brzine na kom je primenjena metoda pokretnih sredina

3.4. Modeliranje ponašanja vozača u simulaciji - „Simulacioni vozač“

U ovom potpoglavlju je detaljno objašnjena komponenta koja predstavlja vozača u simulaciji, odnosno regulator koji treba da uskladi simuliranu brzinu sa izmerenom brzinom autobusa. Ulaz u ovaj regulator predstavlja profil brzine koji je potrebno preslikati, dok su izlazi usporenje i ubrzanje.

Regulator funkcioniše na taj način da prati željeni profil brzine u funkciji vremena i u zavisnosti od trenutne brzine, odnosno unetog profila brzine, šalje signale sa vozila „simulacionom vozaču“ da li je potrebno da ubrza ili uspori, kao i u kolikoj meri (zahtev za ubrzanjem/usporenjem). Regulator koristi model otvorene sprege u kombinaciji sa modelom povratne sprege. Model otvorene sprege vrši dinamičko predviđanje kako bi se odredilo neophodno opterećenje motora u cilju praćenja zahtevanog profila brzine. Proporcionalno-integralni regulatori (jedan za zahtevano ubrzanje i jedan za zahtevano usporenje), pružaju detaljnu kontrolu na osnovu povratne sprege u odnosu na ulaznu vrednost profila brzine. Zahteve za ubrzanjem (a_0) i usporenjem (b_0) je moguće napisati na sledeći način (Ricardo 2019):

$$a_0 = C_f \cdot (C_a \cdot a_{trg}^+ + C_r \cdot \text{sgn}(v_{trg}) + C_v \cdot v_{trg} + C_d \cdot v_{trg}^2) - (C_p \cdot v_{err} + C_i \int_{t-\tau}^t v_{err}(x) dx) \quad (1)$$

$$b_0 = B_f \cdot (C_a \cdot a_{trg}^+ + C_r \cdot \text{sgn}(v_{trg}) + C_v \cdot v_{trg} + C_d \cdot v_{trg}^2) - (B_p \cdot v_{err} + B_i \int_{t-\tau}^t v_{err}(x) dx) \quad (2)$$

gde je:

$C_f; B_f$ - koeficijent otvorene sprege [1]	C_d - koeficijent aerodinamičkog otpora [s^2/m^2]
C_a - koeficijent ubrzanja [s^2/m]	$C_p; B_p$ - proporcionalni koeficijent [s/m]
a_{trg}^+ - predstojeće ubrzanje [m/s^2]	v_{err} - odstupanje od željene brzine [m/s]
C_r - koeficijent otpora kotrljanja [1]	$C_i; B_i$ - integralni koeficijent [1/m]
v_{trg} - željena brzina [m/s]	$\int_{t-\tau}^t v_{err}(x) dx$ - integral odstupanja od željene brzine
C_v - koeficijent otpora brzine [s/m]	τ - granica integrala odstupanja od željene brzine

Nakon što su definisani zahtevi za ubrzanjem, odnosno usporenjem, potrebno je odrediti da li posmatrano vozilo poseduje zahtevanu vučnu silu na pogonskim točkovima kako bi svi otpori mogli da budu savladani. Pogonska sila na točkovima mora da bude veća ili jednaka sumi otpora kotrljanja, uspona, vazduha, ubrzanja i ukoliko se radi o transportnom sastavu, u proračun se uvodi i otpor na poteznici.

Nakon definisanja i modeliranja svih prethodno navedenih komponenti (blokova) koje čine simulacioni model bilo je potrebno izvršiti njihovo međusobno povezivanje. Verifikacija modela je sprovedena kroz proveru da li su upotrebljeni blokovi povezani u skladu sa postavkama simulacionog modela, uz pretpostavku da su komponente (blokovi) simulacionog programa IGNITE prethodno verifikovani od strane

kompanije Ricardo. Pošto je uspešno izvršena verifikacija modela moguće je pristupiti sledećoj proceduri koja podrazumeva validaciju modela, odnosno proceduri utvrđivanja da li simulacioni model adekvatno predstavlja stvarni sistem.

Prilikom podešavanja koeficijenata potrebno je obratiti pažnju da sam sistem oslikava realno ponašanje vozača. U tom smislu, bukvalno preslikavanje profila brzine ne opisuje realno ponašanje vozača i nije poželjno. Sa druge strane, prilikom validacije vozila, kao što je to slučaj u ovom radu, potrebno je što približnije projektovati profil brzine kao što je bio u realnim uslovima tokom snimanja (Ricardo, 2019).

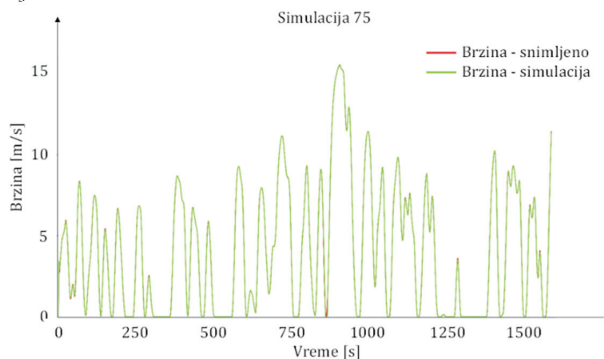
4. VALIDACIJA SIMULACIONOG MODELA

Kako bi se uspešno validirao simulacioni model u pogledu generisane snage, neophodno je odrediti gotovo istovetan profil brzine. U tom smislu, u nastavku je objašnjen proces definisanja vrednosti parametara koji utiču na opisivanje profila brzine u simulaciji. Usklađivanje snimljenog profila brzine i profila brzine u simulaciji vršeno je kroz dve iteracije. U prvoj iteraciji izvršeno je usaglašavanje modela otvorene sprege, odnosno njegovih parametara. U tom smislu, vršeno je 20 simulacija sa različitim vrednostima koje definišu kontrolu otvorene sprege u simulacionom modelu, nakon čega je vrednovano poklapanje profila brzine u simulaciji i snimljenog profila brzine. Korelacija razmatranih profila brzine vršena je uz pomoć Pirsonovog koeficijenta korelacije, kao i uz pomoć određivanja apsolutne i relativne greške.

S obzirom da samo podešavanje modela otvorene sprege nije dovoljno da se postigne dovoljno dobro poklapanje profila brzine u simulaciji sa snimljenim profilom brzine, u nastavku je pristupljeno podešavanju vrednosti parametara koji kontrolišu ubrzanje, odnosno usporenje. Vrednosti parametara koje su usvojene za definisanje modela otvorene sprege u simulaciji su vrednosti koje su dale najbolje rezultate, odnosno imaju najbolju korelaciju sa željenim profilom brzine.

U drugoj iteraciji definisane su različite vrednosti integralnog koeficijenta (C_i), proporcionalnog koeficijenta (C_p) i koeficijenta otvorene sprege (C_f) za svaku od 75 izvršenih simulacija. Nakon definisanja pomenutih parametara, kao i u prethodnim simulacijama izvršeno je vrednovanje poklapanja dobijenog profila brzine u simulaciji sa stvarnim profilom brzine. U tom smislu, i u ovom slučaju vrednovanje korelacije razmatranih profila brzine vršeno je uz pomoć Pirsonovog koeficijenta korelacije, kao i uz pomoć proračuna apsolutne i relativne greške dobijenih rezultata.

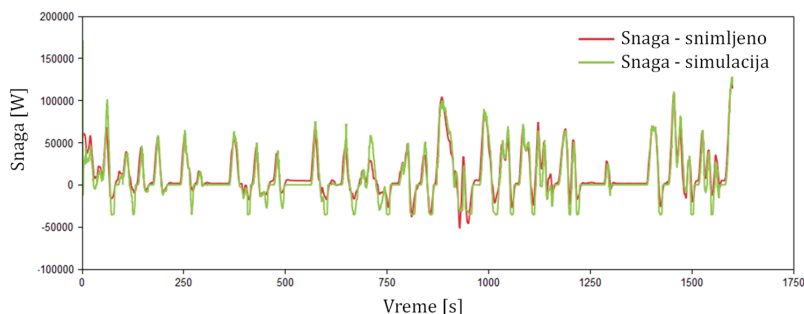
Na osnovu dobijenih rezultata kroz 75 simulacija može se primetiti da je najbolje poklapanje dobijeno u simulaciji gde su vrednosti parametara $C_i = C_p = C_f = B_i = B_p = B_f = 1$, odnosno u ovom slučaju snimljeni profil brzine i profil brzine u simulaciji imaju najmanje odstupanje, odnosno najveći koeficijent korelacije ($R^2 = 0,9997$). Pored toga, dobijeni profil brzine u ovoj simulaciji ima i najmanju prosečnu vrednost apsolutne greške, a relativna greška iznosi svega 4%. Poklapanje dobijenog profila brzine u simulaciji i stvarnog profila brzine dat je na slici 4. Sa slike 4 može se videti da je profil brzine u simulaciji gotovo u potpunosti istovetan željenom profilu brzine, uz vrlo mala, gotovo beznačajna, odstupanja. U tom smislu, na osnovu pomenutog profila brzine validiran je simulacioni model (autobus na elektro pogon Higer KLQ6125GEV3) u pogledu generisane snage na motorima koja je potrebna za savlađivanje svih otpora koji se javljaju na posmatranoj trasi.



Slika 4. Prikaz profila brzine koji imaju najbolju korelaciju

U nastavku, na slici 5 dat je prikaz korelacije generisane snage koja je snimljena u realnim uslovima eksploatacije i generisane snage koja je dobijena u simulacionom softveru. S obzirom da je na grafikonu snaga izražena u vatima (W), a da su odstupanja vrlo mala (stepen korelacije je 87,5%) može se reći da je model autobusa Higer KLQ6125GEV3 koji je modeliran u simulacionom softveru IGNITE verodostojan

pravom modelu autobusa. Može se primetiti da su možda i najveća odstupanja ekstremne vrednosti snimljene snage, ali se ovo može pripisati kako greškama prilikom merenja, tako i vrlo dinamičnoj promeni snage u funkciji vremena. Pored toga, još jednom je potrebno naglasiti da je snaga na grafikonu izražena u vatima, dok se u realnim uslovima eksploatacije snaga posmatra u kilovatima (kW) i smatra se za vrlo nestabilnu vrednosti, pa su u tom smislu ova odstupanja vrlo mala, gotovo zanemarljiva.



Slika 5. Prikaz korelacija generisane snage u realnim uslovima eksploatacije i generisana snaga dobijena u simulacionom modelu

5. ZAKLJUČAK

U radu je razvijen simulacioni model autobusa na elektro pogon Higer KLQ6125GEV3 u simulacionom softveru IGNITE, kompanije Ricardo. Definisane su karakteristike posmatranog autobusa, kao i karakteristike same trase na kojoj je ovo vozilo u eksploataciji. Cilj ovog rada je validacija modeliranog autobusa u pogledu generisane snage u funkciji vremena i pređenog puta, što je i ostvareno podešavanjem parametara komponenti simulacionog modela kroz skoro 100 izvršenja simulacije. Kao krajnji rezultat realizovan je verifikovani i validirani simulacioni model pomenutog autobusa, pri čemu je ostvaren koeficijent korelacije između profila brzine dobijenog simulacijom i snimljenog profila brzine od 99,97% sa relativnom greškom od 4%, dok je koeficijent korelacije između simulirane generisane snage i generisane snage u realnim uslovima eksploatacije 87,5%.

Kao pravce budućeg istraživanja moguće je izdvojiti detaljnije analiziranje komponenti vozila i određivanje vrednosti parametara koje ih definišu kako bi se dobila manja odstupanja u pogledu generisane snage. Nakon toga, sam model moguće je primeniti na nekim drugim linijama javnog gradskog prevoza da bi se odredilo kolika je angažovana snaga potrebna za njihovo savlađivanje. Dodatno, moguće je analizirati kumulativnu snagu na posmatranoj trasi u zavisnosti od različitog ponašanja vozača. U tom smislu, u simulaciji je moguće odrediti potencijalne uštede koje je moguće ostvariti prilikom primenjivanja određenih principa i tehnika eko-vožnje, kao što je na primer pravilo da je potrebno lagano ubrzavati i usporavati.

ZAHVALNICA

Autori izražavaju zahvalnost kompaniji Ricardo na pruženoj mogućnosti rada u simulacionom softveru IGNITE bez kog ovaj rad ne bi mogao da bude realizovan. Ovaj rad je delimično podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Vlade Republike Srbije, kroz projekte TR 36010 i TR 44004.

LITERATURA

- [1] Mišanović S., Miković Ž., Savković D., Krstić D., Krstić D., Stević S. (2018) Specificity of Exploitation and Maintenance of Electric Buses. U zborniku radova „Maintenance Forum 2018“, strane 119–127. Beograd, 2018.
- [2] RDW - Odeljenje za tehnologiju vozila. (2014). Odobrenje tipa za vozilo Higer E-Bus KLQ6125GEV3. Holandija
- [3] Ricardo. (2019). Priručnik za korišćenje softvera IGNITE.
- [4] UITP, the International Association of Public Transport. (2017). Zero Emission Urban Bus System - ZeEUS Report,
- [5] Göhlich, D., Fay, T.-A., Jefferies, D., Lauth, E., Kunith, A. & Zhang, X. (2018). Design of urban electric bus systems. Design Science, 4, doi:10.1017/dsj.2018.10

Softver za OI

OR Software



MATEMATIČKA OPTIMIZACIJA U OKRUŽENJU PROGRAMSKOG JEZIKA LUA

MATHEMATICAL OPTIMIZATION IN LUA PROGRAMMING LANGUAGE ENVIRONMENT

MILAN STANOJEVIĆ¹, BOGDANA STANOJEVIĆ²

¹ University of Belgrade – Faculty of Organisational Sciences, milan.stanojevic@fon.bg.ac.rs

² Mathematical Institute of the Serbian Academy of Sciences and Arts, bgdnpop@mi.sanu.ac.rs

Rezime: Cilj nam je da promoviramo Lua (Lua) kao naučni programski jezik. Njene osobine, kao što su dinamički tipovi, jednostavnost, izražajnost, brzina i proširivost, su savršena kombinacija za efikasno naučno okruženje. Ukratko razmatramo osobine koje obezbeđuju dobre performanse programskog jezika Lua i upoređujemo relativne performanse nekoliko programskih jezika koji bi se mogli koristiti u slične svrhe. Takođe, prikazujemo naš API (Application Programming Interface) za korišćenje AMPL-a unutar Lua i prilažemo nekoliko listinga radi prikaza korišćenja API-a za dodeljivanje vrednosti parametarima, definisanje objekata vezanih za AMPL modele i pozive funkcija koje funkcionišu slično nekim AMPL komandama.

Cljučne reči: Programski jezik Lua, AMPL, API.

Abstract: We aim to promote Lua as a scientific programming language. Its features, like dynamic typing, simplicity, expressiveness, speed and extensibility make a perfect combination for efficient scientific framework. We briefly discuss the features that assures a good performance to Lua programming language, and illustrate the relative performances of several programming languages that could be used for similar purposes. Also, we present our API for using AMPL within Lua, and include several listings to describe the usage of the API to set parameters, define objects related to AMPL models, and function calls that operate similarly to some AMPL commands.

Keywords: Lua programming language, AMPL, API.

1. INTRODUCTION

In this paper we present the suitability of using AMPL (A Mathematical Programming Language) [1] within Lua programming language environment to solving mathematical optimization problems. We also present the interface we developed for a simple and efficient communication between AMPL and Lua.

AMPL is a mathematical modeling environment that uses an algebraic language of the same name having the syntax very similar to the specific mathematical notation that is common in the optimization problems. AMPL uses a miscellany of declarative and imperative programming manners, and supports a wide variety of solvers that are either freeware, open source or commercial software. Among the optimization problems that can be solved using AMPL is worth to mention linear, quadratic, mixed-integer, non-linear, semi-definite, global optimization or constraint programming problems.

AMPL supports APIs for C/C++, C#, Python, Java, R, MatLab. An API (application programming interface) is an interface between a library that offers some functionality (AMPL in this case) and a programming language. API intermediates the communications between the involved software achieving simplicity in programming due to a higher level of abstraction.

The set of supported languages is reasonably chosen. AMPL's API for C/C++ is the most rich in features since AMPL itself is developed in C++. C# is a language of choice for Windows in .NET environment. AMPL's API for C# enables development of .NET based applications that use AMPL's modeling and optimization capabilities. For a long time Java has been considered the most used language, especially for client-server applications. Python, R and MatLab are commonly used in technical programming and scientific researches. Covering them by API enables the use of mathematical programming in engineering and science.

2. WHY LUA?

Lua is a small programming language (its interpreter is only 600 kB) originally designed in 1993 by Roberto Ierusalimsky, Waldemar Celes and Luiz Henrique de Figueiredo in Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro, Brazil. It is a multi-paradigm language since it is scripting, imperative (procedural, prototype-based, object-oriented) and functional language in the same time. Lua was implemented in ANSI C, and its official website is www.lua.org. The official book recommended for learning Lua programming language is [7].

Lua was created with the intention to be used as an embedded language, i.e. not as a stand-alone package, but as a library that can be linked to other applications. Lua is both extension and extensible language: it can be used as a library to extend an application; and also a program that uses Lua may register its own functions in Lua environment, thus adding new functionalities that cannot be programmed directly in Lua.

It is extremely fast for an interpreted language; it has many features of the modern programming languages like: first-class functions, closure, co-routines etc; and it is very easy to use it together with other programming languages, especially with C/C++. Lua is simple and yet powerful. Instead of incorporating features within the language, Lua provides meta-mechanisms for implementing the needed features.

Besides basic types like numbers, strings and boolean, the only implemented compound type is the table (i.e. the associated array or dictionary from other languages), that is defined as a collection of (*index, value*) pairs. The particularity of the table is that the index and value can both be of any type. Tables are implemented as highly optimized hash tables. In order to enable higher abstraction, Lua introduces the concept of metatables. The metatable is a powerful mechanism that allows to any table to be a metatable to another table. Even more, a table can be metatable to itself. A metatable can provide information about how to handle the elements of its table in a variety of contexts. These few facts assures simplicity, flexibility and power to the language.

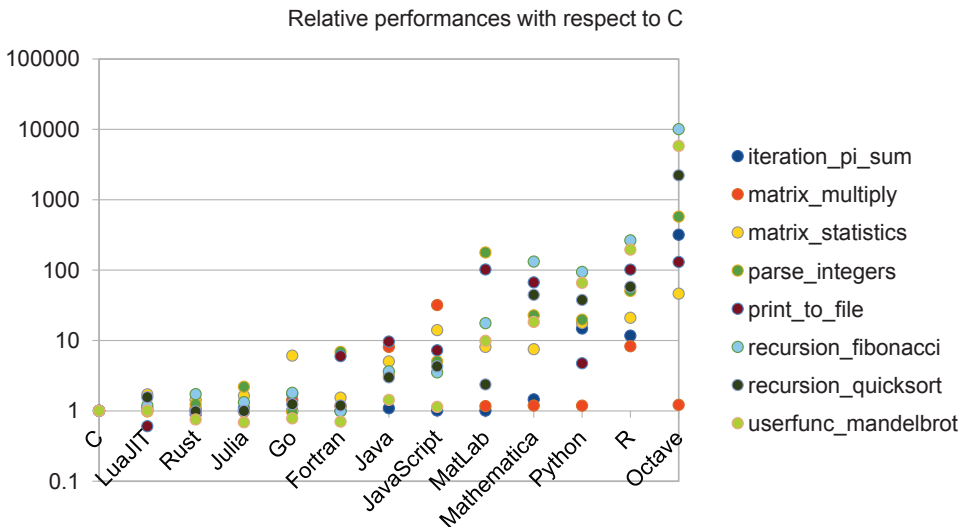


Figure 1: Julia micro-benchmark results in a logarithmic scale to compare the performances of several programming languages. Details can be found at [2]

Lua itself is a very fast interpreted language. For even higher speed, there is a Lua interpreter with integrated just-in-time compiler (LuaJIT) which succeeds to outperform modern languages such as Rust and Go in some benchmarks. Figure 1 shows the results of running the same algorithms implemented in different programming languages. The experiment was made to promote Julia and show its performance against other programming language. Details about specific implementations and their characteristics, as well as the numerical results can be found in [2]. We adopted their numerical results and reconfigured the graphic representation: the performances of LuaJIT are shown on the second position, right after C that was used as a reference, i.e. for all languages, the running time of each algorithm was divided by the running time of the C language.

Some performances of Lua against Python can be found in [3]. A wide variety of problems and the fastest implementations in Lua and Python 3 of the algorithms that solve them were included on the site referred in

[3]. Table 1 reports the results of benchmarks we obtained using their implementations. We run Python 3, Lua 5.3 and LuaJIT on our computer. Figure 2 shows the graphic representation of the relative performances of Lua 5.3 and Python 3 with respect to LuaJIT based on the numerical results presented in Table 1.

Table 1: Comparison of time (sec.) performances of Python 3, Lua 5.3 and LuaJIT

Problem	Python3	Lua 5.3	LuaJIT
n-body	455.207	210.533	10.794
fasta	46.843	26.774	8.057
mandelbrot	162.951	121.427	7.929
spectral-norm	98.147	93.33	2.304
binary-tree	40.784	45.543	13.747
k-nucleotide	53.496	140.01	35.712
fannkuch-redux	272.92	727.213	59.662
reverse-complement	1.908	9.65	3.662

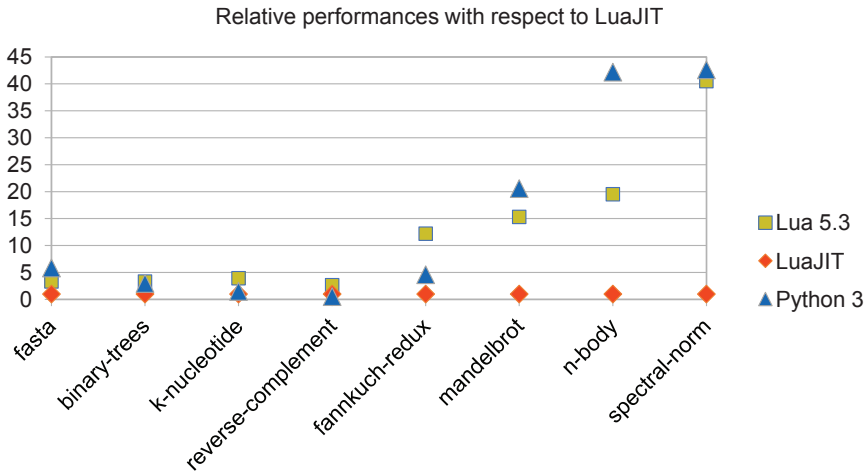


Figure 2: Graphic comparison of time performances of Python 3, Lua 5.3 and LuaJIT

LuaJIT performed better than both Lua 5.3 and Python 3 for all tests with only one exception. Python 3 succeeded to outperform LuaJIT for *reverse-complement* benchmark due to the wise use of co-routines for reading in the 500 MB input file.

The usefulness of Lua in implementing algorithms within scientific computing can be concluded from the recent literature (see for instance Ono et al. [8] who describe a modular visualization framework for large-scale data sets that uses Lua as scripting language).

Cacho et al. [6] developed a Lua-based aspect-oriented programming infrastructure by creating an aspect class used to define aspects that are dynamically weaved by a meta-object protocol.

Scientific programming needs numerical routines with high performances built in easy to use interpreted languages. Til recently, such features had been exclusive for environments from Matlab® family (also Mathematica®, Octave, SciLab etc.). Several years ago, Python 3 joined them by utilizing a lot of high performance numerical libraries (NumPy, SciPy etc.). Torch [4] and NumLua [5] are the main Lua-based frameworks written for scientific programming that incorporate those features into Lua language. Our API for using AMPL with Lua (presented in the next section) aims to extend Lua’s performances toward mathematical optimization.

3. OUR API FOR USING AMPL WITHIN LUA

Our idea was to create a wrapper of the AMPL's C++ API version but to adjust it to the Lua way of thinking. To achieve these goals, we developed a dynamic library *ampllua* written also in C++ that can be loaded in Lua (5.1 and newer) code.

The main purpose of our API is to provide the procedural portion of modeling in optimization processes. The mathematical problem remains written in AMPL but data manipulation for both preparing and afterwards analytic is done in Lua.

All entities from the model can be accessed from Lua directly, in Lua fashion. The input values can be read in many ways, combining AMPL's native .dat files and assignments in Lua language.

Line by line, Figure 3 shows how *ampllua* interface is imported, AMPL module is loaded, mathematical model written in AMPL is read, desired solver is chosen, and some indexes are set.

```

local ampl = require("ampllua")
local m = ampl.new()
m:read("diet.mod")
m:setOption('solver', 'cplex')
local foods = {'BEEF', 'CHK', 'FISH', 'HAM', 'MCH', 'MTL', 'SPG', 'TUR'}
local nutrients = {'A', 'C', 'B1', 'B2', 'NA', 'CAL'}

```

Figure 3: Loading AMPL module, reading a mathematical model, and setting some indexes

Figures 4 and 5 present one way to assign values to the coefficients in the objective function and constraints in Lua way. Examples for both vector and matrix coefficients are given.

<pre> local costs = { BEEF = 3.59, CHK = 2.59, FISH = 2.29, HAM = 2.89, MCH = 1.89, MTL = 1.99, SPG = 1.99, TUR = 2.49} </pre>	<pre> local fmin = { BEEF = 2, CHK = 2, FISH = 2, HAM = 2, MCH = 2, MTL = 2, SPG = 2, TUR = 2} </pre>	<pre> local fmax = { BEEF = 10, CHK = 10, FISH = 10, HAM = 10, MCH = 10, MTL = 10, SPG = 10, TUR = 10} </pre>
--	---	---

Figure 4: Setting the objective coefficients

<pre> local nmin = { A = 700, C = 700, B1 = 700, B2 = 700, NA = 0, CAL = 16000} </pre>	<pre> local nmax = { A = 20000, C = 20000, B1 = 20000, B2 = 20000, NA = 50000, CAL = 24000} </pre>
<pre> local amounts = { A = {BEEF= 60, CHK= 8, FISH= 8, HAM= 40, MCH= 15, MTL= 70, SPG= 25, TUR= 60}, C = {BEEF= 20, CHK= 0, FISH= 10, HAM= 40, MCH= 35, MTL= 30, SPG= 50, TUR= 20}, B1 = {BEEF= 10, CHK= 20, FISH= 15, HAM= 35, MCH= 15, MTL= 15, SPG= 25, TUR= 15}, B2 = {BEEF= 15, CHK= 20, FISH= 10, HAM= 10, MCH= 15, MTL= 15, SPG= 15, TUR= 10}, NA = {BEEF=928, CHK=2180, FISH=945, HAM=278, MCH=1182, MTL=896, SPG=1329, TUR=1397}, CAL = {BEEF=295, CHK= 770, FISH=440, HAM=430, MCH= 315, MTL=400, SPG= 379, TUR= 450} </pre>	

Figure 5: Setting the constraint coefficients

After setting the problem's coefficients, Figure 6 shows the instructions to solve the model, print the optimal objective value, and release the AMPL object data.

```

m:solve()
print(string.format("Objective: %.14f", m.total_cost:val()))
m:close()

```

Figure 6: Solving the instance, printing the objective value, and releasing the object data

Figure 7 shows an alternative way to assign values to the coefficients of the model. First five lines are the same as in Figure 3. Comparing to Figure 4, the vector and matrix coefficients get values more Lua like, i.e. directly, without involving explicitly their indexes. As in Figure 6, it follows the instructions to solve the model; display the optimal objective value, and the optimal values of the decision variables; and release the AMPL object.

Figure 8 shows how the values of the coefficients are read from the AMPL .dat file, the instance is solved and the optimal values of the objective and decision variables are displayed.

```

local foods = {'BEEF', 'CHK', 'FISH', 'HAM', 'MCH', 'MTL', 'SPG', 'TUR'}
local costs = {3.59, 2.59, 2.29, 2.89, 1.89, 1.99, 1.99, 2.49}
local fmin = {2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2}
local fmax = {10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10}
local nutrients = {'A', 'C', 'B1', 'B2', 'NA', 'CAL'}
local nmin = {700, 700, 700, 700, 0, 16000}
local nmax = {20000, 20000, 20000, 20000, 50000, 24000}
local amnts = {
  { 60, 8, 8, 40, 15, 70, 25, 60},
  { 20, 0, 10, 40, 35, 30, 50, 20},
  { 10, 20, 15, 35, 15, 15, 25, 15},
  { 15, 20, 10, 10, 15, 15, 15, 10},
  {928, 2180, 945, 278, 1182, 896, 1329, 1397},
  {295, 770, 440, 430, 315, 400, 379, 450}}

m.FOOD.val = foods
m.cost.arr = {foods, costs}
m.f_min.arr = {foods, fmin}
m.f_max.arr = {foods, fmax}
m.NUTR.val = nutrients
m.n_min.arr = {nutrients, nmin}
m.n_max.arr = {nutrients, nmax}
m.amt.arr = {nutrients, foods, amnts}

-- also can be done by:
-- m.FOOD:set(foods)
-- m.cost:setFromArray(foods, costs)
-- m.f_min:setFromArray(foods, fmin)
-- m.f_max:setFromArray(foods, fmax)
-- m.NUTR:set(nutrients)
-- m.n_min:setFromArray(nutrients, nmin)
-- m.n_max:setFromArray(nutrients, nmax)
-- m.amt:setFromArray(nutrients, foods, amnts)

```

Figure 7: Alternative way to define input data for the same instance

```

AMPL = require("ampllua")
model = AMPL.new()
model:setOption("solver", "cplex")
model:read("diet.mod")
model:readData("diet.dat")
model:solve()
obj = model.total_cost
io.write(string.format("The value of the objective function is %f.\n", obj:val()))
var = model.Buy
print("The values of the decision variables are:\n")
print(var:val())
model:close()

```

Figure 8: The calls of AMPL functions to solve the instance defined in the AMPL .dat and .mod files

To compare the two different ways of reading input data (via .dat file and Lua-like way), and also to compare the performance of Lua versus Python 3 in solving the same instance, we report the running times in milliseconds in Table 2.

Table 2: Our Lua-API's performances for the given instance

Performance	Python and .dat file	Lua and .dat file	Lua and Lua-like data input
Time (ms)	88	42	38

4. CONCLUSION

By this paper we aimed to promote Lua as a scientific programming language. We believe that its features, like dynamic typing, simplicity, expressiveness, speed and extensibility make a perfect combination for efficient scientific framework.

In the beginning we briefly discussed the features that assures a good performance to Lua programming language, and illustrated the relative performances of several programming languages that could be used for similar purposes.

Further on, we presented our API for using AMPL within Lua. The API succeeds to extend Lua's usability toward mathematical programming and optimization. We included several listings to illustrate the usage of the API to set parameters, define objects related to AMPL models, or function calls that operate similarly to some AMPL commands.

Our software is intended to be distributed under some of the open source licenses. However, in order to use it, one must have an active AMPL license [1]. AMPL and some solvers it distributed with are commercial software and its owner offers a wide range of licenses from those which are free for educational purposes to (six-digits \$) expensive multi socket server based versions.

We will continue to extend Lua language with libraries for mathematical programming and optimization. The next step will be API for open source solvers and modeling environments like *lp_solve* and GMPL.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was 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 Organisational Sciences of the University of Belgrade.

REFERENCES

- [1] AMPL – Streamlined modeling for real optimization (<https://ampl.com/>)
- [2] Julia Mikro-Benchmarks. Retrieved from <https://julialang.org/benchmarks/>
- [3] The Computer Language Benchmarks Game, Lua versus Python 3 fastest programs. Retrieved from <https://benchmarksgame-team.pages.debian.net/benchmarksgame/fastest/lua-python3.html>
- [4] Torch – A scientific computing framework for LuaJIT (<http://torch.ch/>)
- [5] Numeric Lua (<http://luaforge.net/projects/numlua/>)
- [6] Cacho, N., Batista, T. & Fernandes, F. (2005) A Lua-based AOP infrastructure, Journal of the Brazilian Computer Society, 11, 7 - 20.
- [7] Ierusalimsky, Roberto (2016). Programming in Lua, Lua.org.
- [8] Kenji Ono, Jorji Nonaka, Tomohiro Kawanabe, Masahiro Fujita, Kentaro Oku & Kazuma Hatta, (2020). HIVE: A cross-platform, modular visualization framework for large-scale data sets, Future Generation Computer Systems, 112, 875 - 883.



MATHEURISTICS BASED ON VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH

TATJANA DAVIDOVIĆ¹, LUKA MATIJEVIĆ¹¹ Mathematical Institute of the Serbian Academy of Science and Arts, Kneza Mihaila 36, 11000 Belgrade, Serbia, {tanjad, luka}@mi.sanu.ac.rs

Abstract: *Matheuristics represent heuristic optimization methods based on hybridizing exact solvers with metaheuristics. Usually, the exact solvers work on Mathematical Programming (more precisely Mixed Integer Linear Programming, MILP) formulation of the considered problem. Metaheuristic principles are used to define subproblems (e.g., by fixing values for a subset of variables) and exact solver is then invoked to determine values for the remaining variables. The main goal of this paper is to promote three matheuristics that explore Variable Neighborhood Search (VNS) as metaheuristic part. These are Variable Neighborhood Branching (VNB), Variable Neighborhood Decomposition Search for 0-1 MIP problems (VNDS-MIP), and Variable Intensity Neighborhood Search (VINS).*

Keywords: *Optimization problems, Mixed integer programs, Exact solvers, Metaheuristics, Hybrid methods*

1. INTRODUCTION

Matheuristics [7] become very popular in the last decade. Workshops devoted to the development and application of these general-purpose model-based optimization techniques are organized biannually since 2008 (<https://mh2018.sciencesconf.org/>). The generality of these methods means that matheuristics do not use *a priori* knowledge about the problem being optimized and that enables their application to the various range of problems. Matheuristics are actually heuristic methods obtained by hybridizing metaheuristics and exact solvers. The main idea behind this hybridization is to use metaheuristic rules for fixing values of some binary variables and creating subproblems for exact solvers. Sometimes, they can even be considered as the exact method, i.e., given enough resources (unlimited memory and running time) they can provide optimal solution.

In the recent literature, neighborhood based metaheuristics are usually combined with mathematical programming optimization techniques to design effective matheuristics. We review three state-of-the-art matheuristics based on Variable Neighborhood Search (VNS) [1, 3, 10]: Variable Neighborhood Branching (VNB) [4], Variable Neighborhood Decomposition Search for 0-1 MIP problems (VNDS-MIP) [6], and Variable Intensity Neighborhood Search (VINS) [5]. In order to describe these algorithms, we first introduce some notation and definitions.

Matheuristics rely on Mixed Integer Linear Programming, MILP formulation and usually operate exclusively on binary variables as they can take only two possible values, zero and one. On the other hand, it is straightforward to reformulate a model containing integer variables into a model with binary variables having an additional index.

In order to introduce neighborhood structures in the space of binary variables, we need to define the distance between two solutions $x = (x_1, \dots, x_n)$ and $x' = (x'_1, \dots, x'_n)$. Hamming distance is obvious choice, i.e.,

$$\delta(x, x') = \sum_i |x_i - x'_i|, \quad (1)$$

where i refers to the subset of binary variables. If the original MIP is denoted by P , let $LP(P)$ represent its linear relaxation (obtained when in P the integer requirements on variables are released. The solution of $LP(P)$ is usually denoted by y . The distance (1) could be generalized to $\delta(x, y)$, where $|x_i - y_i|$ can take any value from the interval $[0, 1]$. $(P|C)$ is used to mark the subproblem of P obtained by adding the set of constraints C , while $P(k, x) = (P | \delta(x, x') \leq k)$, for $k = 1, 2, \dots$ denotes the solution subspace of P containing all the solutions whose distance from a given solution x is at most k . $P(k, x)$ could be used to define neighborhoods:

$$\mathcal{N}_k(x) = \{x' \in X | \delta(x, x') \leq k\}. \quad (2)$$

More precisely, neighborhood $\mathcal{N}_k(x)$ contains all the solutions differing from x in the values of at most k binary variables. It is easy to see that $\mathcal{N}_k(x) \subset \mathcal{N}_{k+1}(x)$, and therefore, if neighborhood $\mathcal{N}_{k+1}(x)$ is completely explored, it is not necessary to search in neighborhood $\mathcal{N}_k(x)$.

An alternative way to define neighborhoods is using variable states. Each binary variable can be in one of the two possible states: fixed and relaxed. The fixed state means that the exact MIP solver is not allowed to change

its value during the optimization process. On the other hand, we want the optimizer to find the best value of the variables in relaxed state. Neighborhood structures are then defined with respect to the indices and number of relaxed variables. Local search in the space of binary variables is realized by invoking exact solver on a subproblem ($P|C$) obtained by adding the set of neighborhood defining constraints C to the original problem P . The exact solver is allowed to run for a given time limit to avoid long executions in the cases when the defined neighborhoods are too large. The decision about the next step is then made based on the return status of the exact solver and is specific for each particular matheuristic.

All matheuristic methods described in this paper (VNB, VNDS-MIP, VINS) apply VNS rules for creating initial solutions and subproblems and CPLEX exact solver as a Local Search procedure to improve the current best solution. The paper is organized as follows. After the introduction, three sections to follow are devoted to the description of selected matheuristics. The paper concludes with Section 5.

2. VARIABLE NEIGHBORHOOD BRANCHING

Variable neighborhood branching (VNB) is proposed in [4]. The input parameters for VNB are 0-1 MIP problem P , VNS parameters k_{min} , k_{step} , k_{max} , maximum allowed CPU time T_{max} , and the time for subproblems t_{lim} . The pseudo-code of VNB is illustrated by Alg. 1. VNB adds constraints to the original problem P and generates subproblems explored in both Local Search (LS) and Shaking (SH) phase. The initial solution is obtained as the first feasible solution found by CPLEX. It becomes also the current best solution. Instead of standard LS, VNB performs search through multiple neighborhoods, i.e., Variable Neighborhood Descent (VND) [3]. Neighborhoods are defined by adding constraints (2) based on Hamming distance (1) to the original model. The value for k is updated properly with respect to the CPLEX return status. Actually, VNB uses two indices to count neighborhoods, k and k_1 . Index k counts neighborhoods in VND, while in Shaking k_1 is used.

The diversification in VNB (Shaking) is performed by invoking CPLEX to find the first feasible solution within the disk defined by radii k_1 and $k_1 + k_{step}$. If it is necessary, the disk size is increased until a feasible solution is found. VND is realized by executing CPLEX on the defined subproblems until the pre-specified time limit t_{lim} is reached. Subproblems are controlled by the value for the current neighborhood index k . At the beginning of VND, $k = 1$ is set. If CPLEX proves that no feasible solution exists in the current neighborhood k , the value for k is increased by 1. In the case when in $\mathcal{N}_k(x)$ CPLEX finds an optimal solution or better feasible solution, an improvement is recorded and k is reset to 1. Finally, if no feasible solution is found within a t_{lim} time limit, VND procedure is terminated and the control is given to VNB. Move or Not step is realized in the standard way.

It should be noted here that the maximum number of neighborhoods in VND is not specified. Of course, it is pointless for k or k_1 to take values larger than the number of binary variables in P . In such a case, VNB acts as an exact algorithm as CPLEX is executed on the whole problem P . Another remark related to Alg. 1 is that Shaking and Local Search (VND) steps are reversed. This is due to the fact that the first feasible solution is considered as a result of Shaking in the whole search space.

3. VARIABLE NEIGHBORHOOD DECOMPOSITION SEARCH

Variable Neighborhood Decomposition Search (VNDS) was proposed in [2] to deal with hard optimization problems. It is a two-level optimization scheme based on VNS and on decomposition of the original problem into subproblems. Once the subproblems are solved, the solution of the whole problem is obtained by combining corresponding parts. VNDS for 0-1 MIPs appeared in [6]. It applies VNDS scheme on the set of binary variables to decompose the original problem. At each step, the original problem P is decomposed into two parts: in the first part, the variable values are fixed and this part should remain unchanged; the second part consists of relaxed variables whose values are to be determined by the exact MIP solver within the given time limit.

The first step of VNDS-MIP is to find an integer feasible solution x of the considered optimization problem P and an optimal solution y of $LP(P)$. The current best solution x_{best} is initialized by x . Using generalized definition for the distance $\delta(x, y)$, binary variables are sorted in a non-decreasing order with respect to $|x_i - y_i|$. More precisely, if $p = |\mathcal{B}|$ (\mathcal{B} being the set of binary variables) and $\delta_j = |x_j - y_j|$, $j \in \mathcal{B}$, then x_j , $j = 1, 2, \dots, p$ are ordered such that $\delta_1 \leq \delta_2 \leq \dots \leq \delta_p$. Subproblems in VNDS-MIP are generated by changing states of binary variables, i.e., by fixing values for a subset of ordered binary variables to their values in the current best solution x_{best} . The variables to be fixed are the ones with values closest to their linear relaxation counterparts (see Fig. 1). The remaining variables are considered relaxed, and their number defines the size of the subproblem (neighborhood) to be solved by CPLEX within the given CPU time limit. In Fig. 1, variables on the left side (including shaded part) are fixed, while the remaining variables (towards the right side of the figure) are relaxed.

Algorithm 1 Pseudo-code for VNB

```

procedure VNB( $P, T_{max}, t_{lim}, k_{min}, k_{max}, k_{step}$ )
   $IntSolLim \leftarrow 1; TL \leftarrow T_{max}$ 
   $status \leftarrow MIPSolve(P, TL, IntSolLim, x)$ 
  if ( $status = no\_feasible$ ) then
    Print("The problem cannot be solved within the given time limit.")
    Exit
  else
     $x_{best} \leftarrow x; f_{best} \leftarrow f(x); x' \leftarrow x; f' \leftarrow f(x)$ 
  end if
   $t \leftarrow 0$ 
  while ( $t < T_{max}$ ) do
     $cont \leftarrow True; k \leftarrow 1; k_1 \leftarrow k_{min}; IntSolLim \leftarrow MaxSol$ 
    while ( $cont \wedge t < T_{max}$ ) do
       $TL \leftarrow \min\{t_{lim}, T_{max} - t\}$ 
       $AddConstraint(d(x', x) \leq k)$ 
       $status \leftarrow MIPSolve(P[C, TL, IntSolLim, x'])$ 
       $RemoveConstraint(d(x', x) \leq k)$ 
      switch ( $status$ ) do
        case  $no\_feasible$  :
           $cont \leftarrow False$ 
        case  $opt\_sol$  :
           $AddConstraint(d(x', x) \geq k + 1)$ 
           $x' \leftarrow x'; f' \leftarrow f(x'); k \leftarrow 1$ 
        case  $feasible\_sol$  :
           $AddConstraint(d(x', x) \geq 1)$ 
           $x' \leftarrow x'; f' \leftarrow f(x'); k \leftarrow 1$ 
        case  $infeasible$  :
           $k \leftarrow k + 1$ 
      end switch
       $t \leftarrow GetUserTime()$ 
    end while
    if ( $f' < f_{best}$ ) then
       $x_{best} \leftarrow x'; f_{best} \leftarrow f(x'); k_1 \leftarrow 1$ 
    else
       $k_1 \leftarrow k_1 + k_{step};$  if ( $k_1 > k_{max}$ ) then  $k_1 \leftarrow k_{min}$ 
    end if
     $cont \leftarrow True; k_1 \leftarrow k_{min}; IntSolLim \leftarrow 1$ 
    while ( $cont \wedge t < T_{max}$ ) do
       $TL \leftarrow T_{max} - t$ 
       $AddConstraint(k_1 \leq d(x_{best}, x) \leq k_1 + k_{step})$ 
       $status \leftarrow MIPSolve(P[C, TL, IntSolLim, x'])$ 
      if ( $status = infeasible \vee status = no\_feasible$ ) then
         $k_1 = k_1 + k_{step}$ 
      else
         $cont \leftarrow False$ 
      end if
       $RemoveConstraint(k_1 \leq d(x_{best}, x) \leq k_1 + k_{step})$ 
       $t \leftarrow GetUserTime()$ 
    end while
  end while
  return ( $x_{best}, f_{best}$ )
end procedure

```

▷ Main VNB loop
 ▷ VND
 ▷ // Move or Not
 ▷ // Shaking

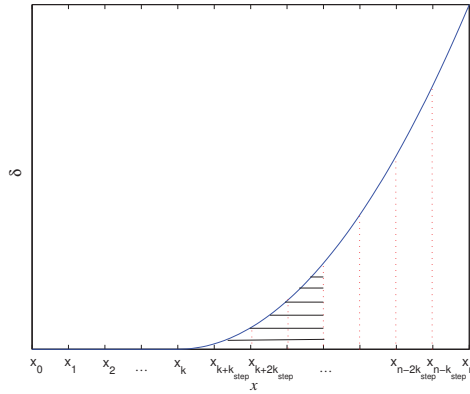


Figure 1 Illustration of subproblem generation in VNDS-MIP (Figure is provided by Dr. Jasmina Lazić)

After the binary variables are sorted, $q = |\{j \in \mathcal{B}, s.t. \delta_j = 0\}|$ is determined and it is used to calculate values for k_{min} , k_{max} , and k_{step} as it is shown in Alg. 2. Then the appropriate subsets of variables are fixed/released and time-limited CPLEX is invoked to solve the obtained subproblem. If a new best solution is obtained, an attempt of further improvement is made by applying VND (the same one used in VNB) to the x_{best} , otherwise, the subproblem is increased by properly changing neighborhood size for searching. In the case when the subproblem involves all variables with positive distance from the linear relaxation counterparts ($k + k_{step} > k_{max}$), the search is extended (half by half) to the remaining binary variables. If all binary variables were already relaxed during the search (which actually means that the whole problem was considered as a subproblem and treated by CPLEX), the execution of VNDS-MIP ends (flag `execute` is set to `False`). This means that either CPLEX was able to solve the original problem P (optimal solution has been found) or the maximum time limit was reached and the best feasible solution is reported to user. As VNDS-MIP is able to prove the optimality, given enough time and memory, we can consider it as an exact solution method.

4. VARIABLE INTENSITY NEIGHBORHOOD SEARCH

VINS [5] is inspired by the VNDS-MIP matheuristic [6] and Variable Intensity Local Search (VILS), a hybrid heuristic developed for multi-resource generalized assignment problem [9]. It generalizes the idea of fixing and relaxing subsets of binary variables in such a way that, contrary to VNDS-MIP which uses a single pattern, VINS exploits different patterns as it is the case in VILS.

As in VNDS-MIP, VINS solves the linear relaxation of the MIP first, and then finds the first feasible solution. The corresponding solutions are marked by y and x , respectively. Having these two sets of variable values, the distances between x and y based on the generalized form of Eq. (1) are calculated and the variables are sorted in the non-decreasing order according to these distance values. In VNDS-MIP, variables having similar values in x and y were considered to offer less space for improvement, however, this may not be true. Therefore, 10 different patterns (referred to as neighborhoods) for generating subproblems are defined in VINS as follows.

- N1: $\alpha\%$ of the worst variables are released;
- N2: variable set is divided into 10 bins and $\alpha/10\%$ worst variables are released in each bin;
- N3: starting at random position $\alpha\%$ variables are released;
- N4: at 10 random positions, $\alpha/10\%$ variables are released;
- N5: $\alpha\%$ of the best variables are released;
- N6: in 10 equal bins $\alpha/10\%$ best variables are released;
- N7: $\alpha/2\%$ of best and $\alpha/2\%$ of worst variables are released;
- N8: in 10 equal bins the same pattern as in N7 is applied;
- N9: random $\alpha\%$ variables are released;
- N10: in 10 equal bins, random $\alpha/10\%$ variables are released.

Terms "the best" and "the worst" are used here to mark variables with the lowest and the biggest distance between the values in current best solution and in the linear relaxation solution, respectively. The value of parameter α defines the neighborhood size, i.e., the percentage of variables that will be released and given to

Algorithm 2 Pseudo-code for VNDS-MIP

```

procedure VNDS-MIP( $P, T_{max}, t_{lim}$ )
   $IntSolLim \leftarrow 1; TL \leftarrow T_{max}$ 
   $lpstat \leftarrow LPSolve(P, TL, y)$ 
   $status \leftarrow MIPSolve(P, TL, IntSolLim, x)$ 
  if ( $status = no\_feasible$ ) then
    Print("The problem cannot be solved within the given time limit.")
    Exit
  else
     $x_{best} \leftarrow x; f_{best} \leftarrow f(x); x' \leftarrow x; f' \leftarrow f(x); p \leftarrow \mathcal{B}$ 
  end if
   $t \leftarrow 0; execute \leftarrow True$ 
  while ( $execute \wedge t < T_{max}$ ) do ▷ Main VNDS-MIP loop
    Calculate( $\delta$ );  $x \leftarrow Sort(x_{best}, y); q \leftarrow \{j \in \mathcal{B}, s.t. \delta_j = 0\}$ 
     $k_{max} \leftarrow p - q; k_{min} \leftarrow k_{max}/10; k_{step} \leftarrow k_{min}; k \leftarrow k_{min}$ 
     $cont \leftarrow True; IntSolLim \leftarrow MaxSol$ 
    while ( $cont \wedge t < T_{max}$ ) do ▷ Local Search
       $TL \leftarrow \min\{t_{lim}, T_{max} - t\}; improved \leftarrow True$ 
      FixAndRelease( $P, k$ )
      AddConstraint( $f(x), L, f_{best}$ )
       $status \leftarrow MIPSolve(P|C, TL, IntSolLim, x')$ 
      ReleaseAll( $P|C$ )
      if ( $status = no\_feasible \vee status = infeasible$ ) then
         $improved \leftarrow False$ 
      end if
      if ( $improved$ ) then ▷ Move or Not
        VND( $P, T_{max}, t_{lim}, k, x', f'$ )
         $x_{best} \leftarrow x'; f_{best} \leftarrow f(x'); k \leftarrow k_{min}; cont \leftarrow False$ 
      else
        if ( $k + k_{step} > k_{max}$ ) then  $k_{step} \leftarrow \max\{\lfloor k/2 \rfloor, 1\}$ 
        if ( $k \leq p$ ) then
           $k \leftarrow k + k_{step}$ 
        else
           $execute \leftarrow False$ 
        end if
      end if
       $t \leftarrow GetUserTime()$ 
    end while
  end while
  return ( $x_{best}, f_{best}$ )
end procedure

```

time-limited CPLEX solver for improving. In addition to changing neighborhood types, VINS allows changes in the size of neighborhoods. As the search advances, the size of neighborhoods α increases, as well as the corresponding time t_{lim} to limit CPLEX engagement in the resulting subproblems. Therefore, with respect to VNDS-MIP, VINS has two new input parameters: an array of neighborhood sizes *alphas* and the corresponding array of times for subproblems *time_limits*.

The proposed VINS does not explore the "first improvement" VNS strategy that is adopted in VNB and VNDS-MIP. Instead of moving to N1 of the smallest size upon each improvement of the current best solution, the neighborhoods are searched in round robin fashion, starting from N1 till N10, in each of the available sizes. In the case an improvement is made, the current best solution is updated, the corresponding constraint limiting the objective function value is added to the model, the variables are re-sorted by the distance between values in current best solution and the linear relaxation solution, and the search continues in the next neighborhood of the same size. The size never decreases as it is the case in other two methods. When all neighborhoods are explored, the size is increased and the search continues in N1. If there is enough time and all sizes are explored, CPLEX is invoked to additionally improve the current best solution acting on the whole problem P . The proposed procedure is illustrated by Alg. 3.

The Linux versions of all methods are available at the Mathematical Institute of the Serbian Academy of Sciences and Arts and can be provided by the authors upon a request. For all of them, data about the problem to be solved should be provided in a form of .lp file which can be generated automatically in most of the exact solvers (CPLEX, Gurobi, etc.). The three described methods are compared for the first time in [5] on the miplib3 instances and on the container ships routing problem from [8]. Recently, a new comparison on allocating of passenger ferry fleet in maritime transport problem is reported in [11].

5. CONCLUSION

In order to promote three matheuristic methods based on Variable Neighborhood Search principles and developed by Serbian researches we presented their brief description. Successful applications confirming their usefulness can be found in numerous papers from the relevant literature and we mentioned the most recent few.

Algorithm 3 VINS

```
procedure VINS( $P, T_{max}, \alpha, time\_limits$ )
   $IntSolLim \leftarrow 1; TL \leftarrow T_{max}$ 
   $lpstat \leftarrow LPSolve(P, TL, y)$ 
   $status \leftarrow MIPSolve(P, TL, IntSolLim, x)$ 
  if ( $status = no\_feasible$ ) then
    Print("The problem cannot be solved within the given time limit.")
    Exit
  else
     $x_{best} \leftarrow x; f_{best} \leftarrow f(x_{best})$ 
  end if
   $t \leftarrow 0; cont \leftarrow True$ 
   $N \leftarrow N1$ 
   $\alpha \leftarrow Alpha1$ 
   $TL \leftarrow TimeLimit1$ 
   $IntSolLim \leftarrow \infty$ 
   $x \leftarrow Sort(x_{best}, y)$ 
  while ( $cont \wedge t < T_{max}$ ) do
     $TL \leftarrow \min\{t_{lim}, T_{max} - t\}$  ▷ Main VINS loop
     $FixAndRelease(N, \alpha)$ 
     $status \leftarrow MIPSolve(P|C, TL, IntSolLim, x)$ 
     $improvement \leftarrow Improved(x)$ 
    if ( $improvement$ ) then ▷ Checking for Improvement
       $x_{best} \leftarrow x; f_{best} \leftarrow f(x)$ 
       $AddConstraint(f(x), L, f_{best})$ 
       $x \leftarrow Sort(x_{best}, y)$ 
    end if
     $N \leftarrow NextNeighborhood$  ▷ Move Step
     $t \leftarrow GetUserTime()$ 
    if ( $N = null$ ) then
       $N \leftarrow N1$ 
       $\alpha \leftarrow NextAlpha$ 
       $t_{lim} \leftarrow NextTimeLimit$ 
      if ( $\alpha = null$ ) then ▷ Final improvement of the whole problem
         $TL \leftarrow \min\{t_{lim}, T_{max} - t\}$ 
         $status \leftarrow MIPSolve(P, TL, IntSolLim, x)$ 
         $cont \leftarrow False$ 
      end if
    end if
  end while
  return ( $x_{best}, f_{best}$ )
end procedure
```

Acknowledgement

This work has been supported by Serbian Ministry of Education, Science and Technological Development through the Mathematical Institute of Serbian Academy of Sciences and Arts.

REFERENCES

- [1] Hansen, P., Mladenović, N., Brimberg, J., Moreno Pérez, J.A. (2019). Variable neighborhood search. In: Handbook of metaheuristics (57–97). Cham: Springer.
- [2] Hansen, P., Mladenović, N., Perez-Britos, D. (2001). Variable Neighborhood Decomposition Search. Journal of Heuristics, 7(4), 335–350.
- [3] Hansen, P., Mladenović, N., Todosijević, R., Hanafi, S. (2017). Variable neighborhood search: basics and variants. EURO Journal on Computational Optimization, 5(3), 423–454.
- [4] Hansen, P., Mladenović, N., Urošević, D. (2006). Variable neighbourhood search and local branching. Comput. Oper. Res. 33(10), 3034–3045.
- [5] Jovanović, P., Davidović, T., Lazić, J., Mitrović Minić, S. (2015). The variable intensity neighborhood search for 0-1 MIP. In: Proc. 42nd Symposium on Operations Research, SYM-OP-IS 2015, (229–232). Srebrno jezero, Serbia.
- [6] Lazić, J., Hanafi, S., Mladenović, N., Urošević, D. (2010). Variable neighbourhood decomposition search for 0–1 mixed integer programs. Comput. Oper. Res. 37(6), 1055–1067.
- [7] Maniezzo, V., Stützle, T., Voss, S. (eds.) (2009). Matheuristics: hybridizing metaheuristics and mathematical programming, vol. 10. New York: Springer.
- [8] Maraš, V., Lazić, J., Davidović, T., Mladenović, N. (2013). Routing of barge container ships using MIP heuristics. Applied Soft Computing, 13(8), 3515–3528.
- [9] Mitrović-Minić, S., Punnen, A.P. (2009). Local search intensified: Very large-scale variable neighborhood search for the multi-resource generalized assignment problem. Discrete Optimization, 6(4), 370–377.
- [10] Mladenović, N., Hansen, P. (1997). Variable neighborhood search. Comput. & OR, 24(11), 1097–1100.
- [11] Škurić, M., Maraš, V., Davidović, T., Radonjić, A. (2020). Optimal allocating and sizing of passenger ferry fleet in maritime transport. Research in Transportation Economics, (accepted).

Statistické modely

Statistical Models



MEĐULJUDSKI ODNOSI SA KOLEGAMA IZ STUDIJSKE GRUPE KAO PREDIKTOR PONAŠANJA I AKTIVNOSTI NA NASTAVI

INTERPERSONAL RELATIONSHIPS WITH STUDY GROUP PEERS AS A PREDICTOR OF BEHAVIOUR AND PARTICIPATION IN CLASS

MILICA MARIČIĆ¹, VELJKO JEREMIĆ¹, MARINA DOBROTA¹

¹ Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, Beograd, milica.maricic@fon.bg.ac.rs, veljko.jeremic@fon.bg.ac.rs, marina.dobrota@fon.bg.ac.rs

Rezime: Istraživanja o uključenosti studenata u nastavni proces se fokusiraju na merenje nivoa njihove aktivnosti i otkrivanje obrazaca ponašanja. Međutim, koncept se može proširiti tako da uključuje i obrasce ponašanja sa kolegama van nastavnog procesa. U cilju istraživanja oblika ponašanja studenata na nastavi i van nastave i njihovog međusobnog odnosa, sprovedeno je istraživanje na Fakultetu organizacionih nauka Univerziteta u Beogradu. Dobijeni rezultati pokazuju da odnos studenata sa kolegama utiče na njihovo mišljenje o međuljudskim odnosima u grupi i utiče na njihovu spremnost da budu aktivni na nastavi. Izmerena spremnost za aktivnost na nastavi pozitivno utiče na motivaciju studenata za javni nastup.

Ključne reči: Analiza podataka u obrazovanju, Visokoškolsko obrazovanje, Modelovanje strukturnih jednačina, Aktivnost na nastavi

Abstract: Research on student engagement focuses on the level of student activity and patterns of student behaviour during lectures. However, the concept can also be extended to including out of class engagement with colleagues. To explore the students' behaviour in class and out of class, and its relations, we conducted a survey at the Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade. The obtained results show that the students' relationship with colleagues impacts his/her opinion on the group interpersonal relationships and impacts his/her willingness to be active in class. The measured willingness to be active in class has a positive impact on the students' motivation to have a public appearance.

Keywords: Educational data mining, Higher education, Structural Equation Modelling, Student engagement

1. INTRODUCTION

The classroom is seen as a complex environment made of multiple interpersonal relations (Frisby & Martin, 2010). Student-student interactions should be assessed as they might have an effect on learning process and student activity in class (Nuthall, 2004). Multiple researchers, such as McKinney et al. (2006), showed that positive classroom experience leads to favourable academic outcomes such as higher grades and higher level of comprehension.

Creating and maintaining a sense of community and belonging for students has been associated with multiple benefits. Some of them include academic success, academic motivation, empathy towards classmates, and affinity for school/university (Schaps & Lewis, 1997). Therefore, it is in the interest of lecturers and faculty representatives to better understand the mechanisms of interrelationships within the study groups. Namely, it would be beneficial for both students, lecturers, and university if the interrelationships could be enhanced thus enhancing the learning effectiveness and finally, the overall student satisfaction.

The area of research that emerged so as to provide solutions and insights is *classroom connectedness*. A connected classroom environment is, according to Dwyer et al. (2004), a supportive and cooperative communication environment. The idea of the concept is to put focus on the interactions between students and interactions between students and lecturers. The assumption is that the higher the classroom connectedness is, the more free and relaxed the students are to express themselves (Frisby & Martin, 2010).

This research paper aims to add to the current literature on the topic of student-student relationship and how does the relationship with classmates impact the willingness to participate in class discussions. To do so, we created a questionnaire and disseminated it to on students of the Faculty of Organizational Sciences,

University of Belgrade.

The paper is organized as follows: the second Section features a brief overview on conceptual models on the issue and the proposed research methodology. Section 3 sees the presentation of the proposed SEM model. The obtained results are presented and elaborated in Section 4, while the concluding remarks and the future directions of the study are given in the final chapter.

2. THE PROPOSED RESEARCH METHODOLOGY

As the research methodology, we opted for the Structural equation modelling (SEM). The SEM analysis lies on the principles of factor analysis and linear regression or path analysis (Stein, Morris, & Nock, 2012). Firstly, it reduces the dimensionality of the observed phenomenon, and secondly, it provides information on the relationship between the created latent variables.

So far, SEM has been used with great success to explore the impact of factors on student-student relations and on willingness to be active in discussions. Xerri et al. (2018) explored the relationship between perceived workload, student-student relationships, teacher-student relationships, and sense of purpose using SEM. Kember and Leung (2006) analysed the relation between teaching, teacher-student relationship, student-student-relationship, and perceived workload. In a similar study, the same authors explored the mutual effects of teacher-student relation, teaching, student-student relation, working together, and intellect using SEM (Kember & Leung, 2011).

Led by the good examples of the above-listed articles, we used the SEM analysis to evaluate our proposed conceptual model which is presented in detail in the following Section.

3. THE PROPOSED CONCEPTUAL MODEL

Our proposed conceptual model consists of four constructs: *Relationship*, *Opinion*, *Willingness to be active*, and *Public appearance*.

The first construct in our proposed model is *Relationship*. The goal of this construct is to measure and quantify the relationship students have with their colleagues from the study group. To measure *Relationship* we used the scales proposed by Gremler and Gwinner (2000) and Frisby and Martin (2010).

The second construct in our proposed model is *Opinion* which aims to measure the classroom climate and the opinion of the students on their colleagues from the study group. We used the modified scale initially proposed by Dwyer et al. (2004). Our first assumption is that the relationship between students in the study group has an impact on the overall opinion on the interrelationship within the study group. The first hypothesis can be formulated as:

H₁: Students' relationship with colleagues has an impact on their opinion on the interrelationship within the study group

Next, we wanted to focus on the factors which impact the students' choice to engage in the learning dialogue. To measure the willingness to talk in class we used the modified scale proposed by Menzel and Carrell (1999). Our second assumption is that the relationship between students in the study group has an impact on their willingness to be active. It is presumed that if students have good relationship with colleagues and feel relaxed and free to speak out, they will engage more in the learning dialogue. The second hypothesis is:

H₂: Students' relationship with colleagues has an impact on their willingness to be active in class

The final construct we aimed to measure and include in our model is *Public appearance*. This construct had the goal of quantifying the importance of factors which can motivate a student for and against public appearance. To measure the construct we employed the scale used by Neer (1987). Our third assumption is that the relationship between students in the study group has an impact on their motivation to be publicly active. It is presumed that if students have good relationship with colleagues and feel relaxed and free to speak out, they will engage more in the public appearance. The third hypothesis is:

H₃: Students' relationship with colleagues has an impact on their motivation for public appearance

Our next assumption is that the opinion on the interrelationship within the study group has an impact on the students' willingness to be active. It is presumed that if students have good opinion on colleagues and do not think the colleagues will be judging, they will engage more in the learning dialogue. The hypothesis is:

H₄: Students' opinion on the interrelationship within the study group has an impact on their willingness to be active

The following hypothesis assumes that the opinion on the interrelationship within the study group has an impact on the students' motivation to have a public appearance. Similarly, it is presumed that if students have good opinion on colleagues and do not think the colleagues will be judging, they will engage more in the open, public debates and express their opinion. The hypothesis is:

H₅: Students' opinion on the interrelationship within the study group has an impact on their motivation for public appearance

The final hypothesis assumes that the level of willingness to be active has an impact on the students' motivation to have a public appearance. We presumed that if students are willing to be active they will engage more in the open, public debates and express their opinion. The hypothesis is:

H₆: Students' willingness to be active has an impact on their motivation for public appearance

The proposed model is presented in Fig.1 while the structure and the exact questions used in the questionnaire are presented in Section 4.

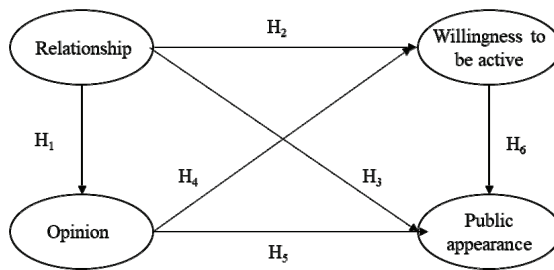


Figure 1 The suggested conceptual model

4. RESEARCH DESIGN AND RESULTS

To accept or reject the formulated six hypothesis we created a questionnaire and distributed it anonymously at the Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade, Belgrade, Serbia. The respondents were undergraduate students on the final, fourth year of studies. The survey took place in late April 2019.

4.1. Sample characteristics

After conducting the survey, we had 145 filled questionnaires. We had 58 male (40.0% of the sample), and 87 female respondents (60.0%). There is a slight disproportion in the gender of the respondents. The average age of the respondents is 23.738 with the standard deviation of 1.130. The median is 23.000 meaning that we captured the students from a single generation. The mean average grade is 7.897 with the standard deviation of 0.586. The median is 7.900 meaning that half of respondents has the average grade above 7.90 indicating that we captured the students with higher grades. This is confirmed additionally by the fact that 94 of them (64.8%) has the national scholarship, compared to 51 (35.2%) of those who are self-financed students.

4.2. Questionnaire design

The conducted survey consisted of five sections. The first section consisted on basic demographic questions such as gender, age, year of study, average grade and how the studies are financed. The second section aimed at measuring the respondents' relationship with the colleagues from his/her study group. It consists from the following questions (Q1-Q5): I enjoy interacting with colleagues from my study group, I get along well with colleagues from my study group, I feel that there is a connection between colleagues from my study group and me, I really care about colleagues from my study group, and My colleagues have shown that they care about me.

The following section had a goal of measuring the opinion on the colleagues from his/her study group. It consisted from the following questions (Q6-Q14): My classmates share stories and experiences with each other, My classmates are friends with each other, My classmates are kind to one another, My group colleagues praise each other, My classmates are worried about each other, My classmates smile at each other, My classmates talk to each other even after class, My group colleagues support each other, and My classmates work with each other.

The fourth section had the goal of measuring the importance of factors which impact the students' willingness to be active and express their opinion and attitude towards a subject being discussed. It consisted from the following questions (Q15-Q24) You will express your opinion in class when: there is a small group of classmates in class, when the professor requests a response from the group, when the topic is interesting, when my views differ from those of my colleagues, when I'm sitting in the back rows of a classroom, when I have already mastered the material that is being processed in class, when most of the colleagues present want to express their opinion, when participating in classes is rewarded with additional points, when there is a heated debate and conflicts of opinion, and when I have a hunch about the topic being discussed.

The last section attempts to identify the factors which impact the students' attitude towards public appearance. It consisted from the following questions (Q25-Q34) Do you recognize yourself in the following situations related to public appearance: During class, I worry that the professor will ask me to express my opinion, If I have a question I want to hear the answer to, I usually wait for someone else to ask it, I do not like to express my opinion publicly in class, as I feel that I do not have as much to say as most other colleagues, I usually do not ask for a word and express my opinion only if the teacher calls me out, I have difficulty organizing my thoughts when I need to say or present something to colleagues, I enjoy taking on a leadership role during the class discussion, I often hesitate to engage in discussion in class because other colleagues seem to be more competent to discuss the topic, I do not like to answer the questions posed by the teacher even when I know the correct answer, I like to participate in the discussion because I feel I can convince other colleagues of my views, and I always avoid engaging in discussion in class. All questions were measured on a four-point Likert scale.

4.3. Gender differences

Prior to conducting the SEM analysis, we strived to explore gender differences in student behaviour. To conduct the analysis, we used the Mann-Whitney test.

Observation of the scale *Relationship* showed no statistically significant differences. The mean values for female respondents range from 2.55 (Q₅) to 3.21 (Q₂), while for male respondents the mean values range from 2.48 (Q₃) to 3.09 (Q₂). This result indicates that male and female students have both solid relationships with colleagues from study group, but that they are not very enthusiastic regarding them.

Observation of the scale *Opinion* showed there are statistically significant differences for two questions: Q₁₁ and Q₁₂. Female students think that classmates smile at each other more than male students (mean_f=3.16, mean_m=2.93, MW=-2.298, p<0.05). Also, female students agree more that colleagues talk to each other even after class more than male students (mean_f=3.33, mean_m=3.10, MW=-2.388, p<0.05). The mean values for female respondents range from 2.39 (Q₁₀) to 3.33 (Q₁₂), while for male respondents the mean values range from 2.28 (Q₁₀) to 3.19 (Q₈).

No gender differences have been found for the scale *Willingness to be active* indicating that male and female students have the same motivation to be active in class. The mean values for female respondents range from 2.29 (Q₁₄) to 3.29 (Q₁₇), while for male respondents the mean values range from 2.26 (Q₂₁) to 3.43 (Q₁₇).

Finally, again, no gender differences have been detected for the scale *Public appearance*. The mean values for female respondents range from 1.95 (Q₃₀) to 2.93 (Q₂₉), while for male respondents the mean values range from 1.95 (Q₃₀) to 2.82 (Q₂₉).

4.4. Results of the SEM analysis

As a standard pre-test to the SEM analysis we observed the internal consistency of the proposed scales using the Cronbach's alpha (Cronbach, 1951). Cronbach's alpha ranges from 0 to 1, where 1 signalises complete consistency while 0 indicates complete inconsistency. In our case (Table 1), Cronbach's alpha is: 0.880 (*Relationship*), 0.830 (*Opinion*), 0.835 (Willingness to be active), and 0.857 (*Public appearance*). The suggested threshold is 0.7 (Tavakol & Dennick, 2011). A conclusion can be made that all the proposed constructs are coherent, so that we can proceed with the SEM analysis.

Table 1: Cronbach's alpha for each construct

	Relationship	Opinion	Willingness to be active	Public appearance
No. of items	5	9	10	10
Cronbach's alpha	0.880	0.830	0.835	0.857

The next step in the research was the application of the SEM analysis. Overall fit of the initial model was marginally acceptable. The chi-square/df ratio (942.114, df=521, 1.808, p=0.000) is below the suggested threshold (i.e. 3.0; (Kline, 1998)). The root mean square error of approximation (RMSEA) was 0.075, which was less than the upper threshold of 0.10 (Browne & Cudeck, 1993). Comparative Fit Index (CFI 0.779) and Tucker-Lewis Index (TLI, 0.762) were below the 0.90 threshold. The presented initial results showed that the model fit was below acceptable and that it had to be modified. To correct the model we used modification indices and removed insignificant paths. No variables were removed, as all of them remained statistically significant within constructs.

The chi-square/df ratio of the final model (680.124, df=504, 1.349, p=.000) is below the suggested threshold of 3 (Kline, 1998). The measured RMSEA is 0.049, which is also below the threshold of 0.10 (Browne & Cudeck, 1993). Also, the confidence interval for the RMSEA is from 0.039 to 0.058 indicating the upper confidence interval of the RMSEA is well below the 0.08 threshold. Tucker-Lewis Index (TLI, 0.897) and Comparative Fit Index (CFI, 0.908) are above or well close to the recommended 0.90 threshold. We can conclude that the modified model has a good and satisfactory fit. Three out of six hypothesis, H₁, H₂, and H₆, were confirmed as the paths were significant. The results indicate that *Relationship* has a statistically significant impact on *Opinion* and *Willingness to be active*, whereas the impact on *Opinion* is higher with a coefficient of 0.657, compared to 0.307 on *Willingness to be active*.

The squared multiple correlation coefficients of the constructs *Opinion*, *Willingness to be active* and *Public appearance* are 0.431, 0.094 and 0.051 (Table 2). This indicates that 43.1% of *Opinion* on colleagues can be explained through the relationship with them. On the other hand, only 9.4% and 5.1% of *Willingness to be active* and *Public appearance* can be explained through predictors. Such a low squared multiple correlation coefficient indicates that there are other factors which have impact on them that should be taken into account. All models are statistically significant. The values of all regression coefficient are positive and statistically significant.

Table 2: Obtained models

Outcome	Determinant(s)	Standardized regression coefficient
Opinion (R ² =0.431)	Relationship	0.657*
Willingness to be active (R ² =0.094)	Relationship	0.307*
Public appearance (R ² =0.051)	Willingness to be active	0.226*

Note: * p<0.01

5. DISCUSSION AND CONCLUSION

Sollitto et al (2013) performed a thorough literature review and stated that students who perceive a greater sense of connectedness within the classroom are more prone to be considerate of their classmates, are willing to participate and express themselves in class, report greater levels of communication, and reduce their levels of communication apprehension. Due to multiple benefits of increased classroom connectedness it became a developing area of research.

The main contribution of the research is the novel conceptual model for exploring student-student relations and their willingness to be active in class and publicly speak in class. Our research was two-fold: to observe gender differences on the attitude towards student-student relationship and towards public appearance and active engagement and to create a conceptual model which will encapsulate the effect of student-student relations on the willingness to be active in class.

Firstly, the results showed that there are no statistically significant differences between genders when it comes to the attitude towards relationship with classmates, willingness to be active and motivation for public appearance. However, gender differences have been observed in the construct *Opinion*. Namely, female students proved to think that classmates are more friendly, more smiling, and more talkative after class. Such a result is in concordance with the research of Aukett et al. (1988).

The results indicate that the better relationship the student has with colleagues, the better opinion on the interrelationship within the study group he/she has. The same factor has a medium strong impact on the willingness to be active in class. Indicating, maybe, that if the student is relaxed with colleagues and feeling

secure, he/she will be more inclined to participate in group discussions. The impact of willingness to be active on public appearance is low, but positive. So, if students are willing to be active they are more probable to express their opinion publicly.

There are several future directions of the study. One direction of the study could be towards conducting the same survey on a larger scale thus including students of different years of study or even conducting the survey on several faculties within the University of Belgrade. The second direction of the study could be related to the modification of the initial model by including other constructs such as attitude towards the subject, level of previous knowledge on the topic, and attitude towards the lecturer.

We hope that the conducted research for exploring the factors that impact student-student relations and their willingness to be active in class provides new insights on this topic of interest and will initiate further research on the topic.

REFERENCE

- [1] Aukett, R., Ritchie, J., & Mill, K. (1988). Gender differences in friendship patterns. *Sex Roles*, 19(1–2), 57–66.
- [2] Browne, M. W., & Cudeck, R. (1993). Alternative ways of assessing model fit. In K. A. Bollen & J. S. Long (Eds.), *Testing structural equation models* (pp. 136–162). Newbury Park, CA: Sage.
- [3] Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297–334.
- [4] Dwyer, K. K., Bingham, S. G., Carlson, R. E., Prisbell, M., Cruz, A. M., & Fus, D. A. (2004). Communication and connectedness in the classroom: Development of the connected classroom climate inventory. *Communication Research Reports*, 21(3), 264–272.
- [5] Frisby, B. N., & Martin, M. M. (2010). Instructor–Student and Student–Student Rapport in the Classroom. *Communication Education*, 59(2), 146–164.
- [6] Gremler, D. D., & Gwinner, K. P. (2000). Customer–Employee Rapport in Service Relationships. *Journal of Service Research*, 3(1), 82–104.
- [7] Kember, D., & Leung, D. Y. P. (2006). Characterising a teaching and learning environment conducive to making demands on students while not making their workload excessive. *Studies in Higher Education*, 31(2), 185–198.
- [8] Kember, D., & Leung, D. Y. P. (2011). Disciplinary Differences in Student Ratings of Teaching Quality. *Research in Higher Education*, 52(3), 278–299.
- [9] Kline, R. B. (1998). Software Review: Software Programs for Structural Equation Modeling: Amos, EQS, and LISREL. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 16(4), 343–364.
- [10] McKinney, J. P., McKinney, K. G., Franiuk, R., & Schweitzer, J. (2006). The College Classroom as a Community: Impact on Student Attitudes and Learning. *College Teaching*, 54(3), 281–284.
- [11] Menzel, K. E., & Carrell, L. J. (1999). The impact of gender and immediacy on willingness to talk and perceived learning. *Communication Education*, 48(1), 31–40.
- [12] Neer, M. R. (1987). The development of an instrument to measure classroom apprehension. *Communication Education*, 36(2), 154–166.
- [13] Nuthall, G. (2004). Relating Classroom Teaching to Student Learning: A Critical Analysis of Why Research Has Failed to Bridge the Theory-Practice Gap. *Harvard Educational Review*, 74(3), 273–306.
- [14] Schaps, E., & Lewis, C. (1997). Building classroom communities. *Thrust for Educational Leadership*, 27(1), 14–18.
- [15] Sollitto, M., Johnson, Z. D., & Myers, S. A. (2013). Students' Perceptions of College Classroom Connectedness, Assimilation, and Peer Relationships. *Communication Education*, 62(3), 318–331.
- [16] Stein, C. M., Morris, N. J., & Nock, N. L. (2012). Structural Equation Modeling. In R. Elston, J. Satagopan, & S. Shuying (Eds.), *Statistical Human Genetics* (pp. 495–512).
- [17] Tavakol, M., & Dennick, R. (2011). Making sense of Cronbach's alpha. *International Journal of Medical Education*, 2, 53–55.
- [18] Xerri, M. J., Radford, K., & Shacklock, K. (2018). Student engagement in academic activities: a social support perspective. *Higher Education*, 75(4), 589–605.



POTENCIJALNA PRISTRASNOST PRI OCENJIVANJU PARAMETARA – TAMNA STRANA NEDOSTAJUĆIH PODATAKA

POTENTIAL BIAS IN PARAMETER ESTIMATIONS - DARK SIDE OF MISSING DATA

VLADIMIR VASIĆ¹

¹ Univerzitet u Beogradu – Ekonomski fakultet, Beograd, vladimir.vasic@ekof.bg.ac.rs

Rezime: Ukoliko u setu podataka koji se modelira, postoji prisustvo nedostajućih podataka, velika je verovatnoća da će ocenjeni parametri modela imati osobinu pristrasnosti. Da bi se takva situacija izbegla, potrebno je problem nedostajućih podataka, tretirati na ispravan način. To je ujedno i namera ovog rada, da pokaže, da se ispravnim tretiranjem problema nedostajućih podataka, može izbeći pristrasnost pri ocenjivanju nepoznatih parametara modela.

Ključne reči: Nedostajući podaci, Statistika veličina efekta, Podaci nedostaju potpuno slučajno, Podaci nedostaju slučajno.

Abstract: If there is a presence of missing data in the data set being modeled, it is very likely that the estimated model parameters will have a bias property. In order to avoid such a situation, it is necessary to treat the problem of missing data in the correct way. It is also the intention of this paper to show that by properly treating the problem of missing data, bias can be avoided in estimating unknown model parameters.

Keywords: Missing data, Effect size statistics, Data missing completely at random, Data missing at random.

1. UVOD

U savremenom poslovanju preduzeća, sve je veća mogućnost za prikupljanje i skladištenje velike količine poslovnih podataka. Dati podaci, ako se modeliraju na ispravan način, mogu mnogo korisnih informacija da proizvedu. Iz tog razloga, u savremenom poslovanju, sve više se obrađuju i modeliraju prikupljeni poslovni podaci. Ova istraživačka delatnost je gotovo neophodna kod svih savremenih preduzeća.

Problem koji nastaje kod obrade i modeliranja velike količine podataka je taj, što se prikupljeni podaci ne mogu odmah modelirati, već je potrebno prvo pripremiti podatke za modeliranje. Ova prva faza tretiranja podataka je veoma zahtevna i traži dosta statističkog znanja. Iz tog razloga, mnogi istraživači jednostavno, ili preskoče ovu najvažniju fazu modeliranja podataka, ili je urade na jednostavan način. Time naravno, prave nenadoknadivu štetu kod podataka, koju u kasnijim fazama obrade podataka, nije moguće ispraviti. Zato ukoliko želimo da ogromne količine prikupljenih podataka, modeliramo na ispravan način, i da na osnovu toga dobijemo tačne, precizne i korisne informacije; potrebno je sa puno pažnje i strpljenja prići prvoj fazi obrade podataka, a to je priprema podataka za modeliranje.

Kod pripreme podataka za modeliranje, ima mnogo zahtevnih koraka, kao što su: uočavanje i procesuiranje ekstremnih vrednosti, detektovanje i procesuiranje anomalija kod podataka, tretiranje nedostajućih podataka, razmatranje da li su promenljive koje se modeliraju merene na odgovarajućim mernim skalama, kao i potreba za promenom istih, kao i potreba za reskaliranjem posmatranih promenljivih, itd.

U ovom radu osvrnućemo se samo na korak tretiranja nedostajućih podataka u fazi pripreme podataka za modelovanje, i ukazati, ukoliko se ovaj korak ne procesuirao na ispravan način, onda u fazi modeliranja podataka imali bi pristrasne ocene parametara modela, a to je ono, što nikako ne želimo. Znači, bolje i da nemamo nikakav model, nego da za donošenje raznih poslovnih odluka, koristimo kvantitativni model koji ima pristrasne ocene parametara.

2. PROBLEMATIKA NEDOSTAJUĆIH PODATAKA

Prikupljanjem velike količine podataka iz internog okruženja preduzeća, velika je mogućnost prisustva nedostajućih podataka. Takođe, ukoliko preduzeće želi da anketira potencijalne kupce (i/ili klijente) svojih proizvoda (i/ili usluga), takođe će se desiti situacija, da postoji prisustvo neodgovora. Naime, ukoliko

preduzeće ima nameru da prikupi iskrene odgovore, u vezi preferencija i/ili afiniteta potencijalnih kupaca, veoma je važno da dozvoli klijentu da slobodno odgovori na postavljeno pitanje; kao i da mu dozvoli da na neko pitanje neodgovori, ukoliko je to namera potencijalnog kupca. Svako insistiranje na davanje odgovora na neko pitanje, na koje potencijalni kupac ne želi; nije nikako preporučljivo, jer bi time dobili neiskren odgovor.

Prikaz 1: Koraci u postupku rešavanja problema nedostajućih podataka

Nulti korak: Početak rešavanja problema nedostajućih podataka.

Prvi korak: Da li kod posmatranih promenljivih, tj. u analiziranom setu podataka, postoji prisustvo nedostajućih podataka?

- Ukoliko je odgovor DA idite na drugi korak.
- Ukoliko je odgovor NE idite na poslednji korak.

Drugi korak: Ispitati, da li podaci nedostaju na potpuno slučajan način?

- Ukoliko je odgovor POZITIVAN idite na treći korak.
- Ukoliko je odgovor NEGATIVAN idite na četvrti korak.

Treći korak: Problem nedostajućih podataka, možete rešiti, bilo primenom tradicionalnih tehnika (brisanjem opservacija koje sadrže nedostajuće podatke; ili umetanjem aritmetičke sredine posmatrane promenljive na mesto nedostajućih podataka), bilo primenom modernih tehnika (EM algoritam, ili metod višestrukog umetanja).

- Zatim idite na poslednji korak.

Četvrti korak: Da li pri kvantitativnom modelovanju koristimo nadgledani ili nenadgledani statistički model?

- Ukoliko je odgovor NADGLEDANI idite na peti korak.
- Ukoliko je odgovor NENADGLEDANI idite na osmi korak.

Peti korak: Ispitati, da li je neraspoloživost podataka kod prediktor promenljivih uzorkovana vrednostima target promenljive?

- Ukoliko je odgovor POZITIVAN idite na šesti korak.
- Ukoliko je odgovor NEGATIVAN, idite na sedmi korak.

Šesti korak: Podaci koji su neraspoloživi, nedostaju na ne-slučajan način. Iz tog razloga, dalja analiza podataka se zaustavlja, i ide se na poslednji korak.

Sedmi korak: Podaci koji su neraspoloživi, nedostaju na slučajan način, pa se problem nedostajućih podataka, jedino može rešiti primenom modernih tehnika (EM algoritam ili metod višestrukog umetanja).

- Zatim idite na poslednji korak.

Osmi korak: Ispitati, da li neraspoloživost podataka kod bilo koje promenljive zavisi od vrednosti sopstvenih podataka, ili od vrednosti podataka ostalih promenljivih, koje se analiziraju?

- Ukoliko je odgovor "OD SOPSTVENIH VREDNOSTI" idite na šesti korak.
- Ukoliko je odgovor "OD VREDNOSTI OSTALIH PROMENLJIVIH" idite na

sedmi korak.

Poslednji korak: Rešavanje problema nedostajućih podataka je završeno.

Istraživači, obično ukoliko kod analizirane promenljive, nedostaje do 5% podataka, problem neraspoloživosti, rešavaju na taj način, tako što opservacije sa nedostajućim podacima, isključe iz dalje analize. Ovakvim postupkom, kao prvo, ukoliko podaci nedostaju na slučajan način (sedmi korak iz prikaza 1) dobijaju se pristrasne ocene nepoznatih parametara modela; a kao drugo, ukoliko podaci nedostaju na potpuno slučajan način (treći korak iz prikaza 1) dobiće se nepristrasne ocene nepoznatih parametara modela, ali uz moguće prisustvo gubljenja velike količine podataka.

Naime, analizirajmo ukupnu raspoloživost podataka kod posmatranog seta podataka, i to primenom formule (1) koja sledi:

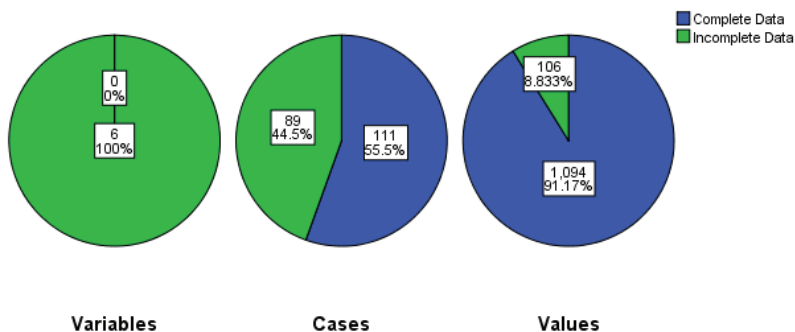
$$E = 1 - \sum_{i=1}^k (1 - m_i) = 1 - \sum_{i=1}^k (1 - m) = 1 - (1 - m)^k \quad (1)$$

gde E označava ukupnu raspoloživost kod posmatranog seta podataka; m_i označava procenat neodgovora kod i -te promenljive; m takođe označava procenat neodgovora kod i -te promenljive; dok k označava broj razmatranih promenljivih kod kojih je prisutan problem nedostajućih podataka.

Ukoliko na primer, analiziramo set podataka od 13 promenljivih, i ako kod svake nedostaje 5% podataka, onda primenom formule (1) minimalna ukupna raspoloživost biće 51% od početnog analiziranog seta

podataka. Taj procenat, složićete se, je veoma visok, i dovodi gotovo do isključivanja polovine prikupljenih opservacija.

Takođe, u četvrtom poglavlju ovog rada, kada se bude analizirao realni set poslovnih podataka (koji se sastoji od samo 6 promenljivih) da ukoliko se problem nedostajućih podataka rešava brisanjem nekompletnih opservacija, da će se 44.5% opservacija isključiti iz dalje analize (drugi grafikon "pita" na slici 1).



Slika 1: Sažeti prikaz nedostajućih podataka u odnosu na promenljive, opservacije i vrednosti

Za pravilno rešavanje problema nedostajućih podataka, važno je utvrditi na koji način nedostaju podaci (Little & Rubin, 2002). Inače, podaci mogu nedostajati na potpuno slučajan način, zatim na slučajan način, kao i na neslučajan način. Uz poznavanje te činjenice, moguće je ocene nepoznatih parametara statističkog modela, oceniti nepristrasno.

Samo utvrđivanje, nije jednostavno, i dato je postupkom, koji je izložen u prikazu 1. Sam postupak, kreće od utvrđivanja, da li podaci nedostaju potpuno slučajno, i to se utvrđuje *MCAR* testom *Roderick Little* (IBM, 2017a) koji se može predstaviti izrazom:

$$\chi^2_{MCAR} = \sum_{\substack{\text{obrazci} \\ \text{nekompletnosti}}} (\# \text{ opservacija u obrascu nekompletnosti}) \cdot D^2 \quad (2)$$

gde D^2 predstavlja *Mahalanobis*-ovo odstojanje vektora aritmetičkih sredina promenljivih datog jedinstvenog obrasca nekompletnosti podataka, od vektora aritmetičkih sredina promenljivih na osnovu svih raspoloživih podataka. Detalje o ovom testu možete pogledati kod Vasić (2018). Izračunavanje statistike D^2 , kao i stepena slobode za statistiku testa (datu prethodnim izrazom (2)), možete pogledati kod Vasić (2019a).

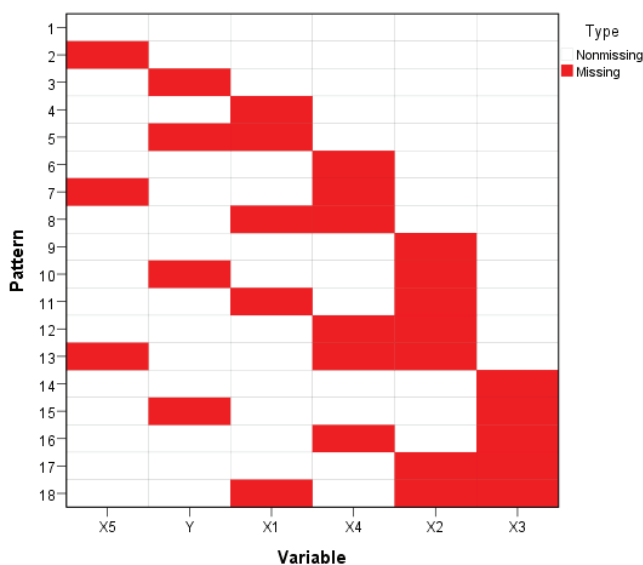
Takođe, kada u četvrtom poglavlju ovog rada bude primena nad realnim setom podataka, uočiće se da kod njega postoji ukupno 18 jedinstvenih obrazaca nekompletnosti, koji su predstavljeni slikom 2.

Ukoliko podaci ne nedostaju na potpuno slučajan način, ide se (kao što je predstavljeno prikazom 1), da se utvrdi, da li onda nedostaju na slučajan način, ili na neslučajan način. Ponavljamo još jednom, da samo ako utvrdimo tačno na koji način nedostaju podaci, moguće je kreirati ocene za nepoznate parametre statističkog modela, koje neće biti pristrasne. To je ujedno i tematika poglavlja koji sledi.

3. STATISTIKA VELIČINA EFEKTA

Ukoliko podaci ne nedostaju na potpuno slučajan način, a statistički model je nadgledani, onda se višestrukom primenom *t*-testa dva nezavisna uzorka (Tabachnick & Fidell, 2014) može utvrditi na koji način nedostaju podaci. Međutim, više istraživača, kao i Enders (2010) ukazali su na nedostatke *t*-testa u ovoj situaciji. Jedna od njih bi bila, da će dva nezavisna uzorka biti veoma nebalansirana (u smislu što npr. raspoloživih podataka može biti 95%, a nedostajućih podataka 5%). Zatim ako u setu podataka koje analiziramo ima više promenljivih, onda će i biti, više testiranja *t*-testom; što povlači da se izračunata *p*-vrednost u testu više ne može koristiti, već se treba smanjiti (npr. *Bonferroni*-jevom korekcijom).

Iz prethodno navedenog, predlaže se u ovom radu, da se umesto *t*-testa, upotrebi statistika veličine efekta $\tilde{\omega}^2$. Donekle sličan pristup, može se naći i kod Enders (2010), s'tim, što on, kada je u pitanju *t*-test dva nezavisna uzorka, upotrebljava statistiku veličine efekta (u oznaci *d*) koja nije baš i najprimerenija (Sheskin, 2011). U svakom slučaju, mnogo je bolje, kod ove problematike (zbog ukazanih nedostataka) upotrebljavati praktičnu, umesto statističke značajnosti.



Slika 2: Prikaz svih jedinstvenih obrazaca nekompletnosti

Pre primene predložene statistike veličine efekta, potrebno je kreirati promenljive indikatore neraspoloživosti. Naime, ukoliko neka promenljiva (u oznaci X_i , $i = 1, \dots, K$) ima nedostajuće podatke, za nju formiramo promenljivu indikator neraspoloživosti (u oznaci M_i) koja uzima vrednost 1 ukoliko dati podatak je neraspoloživ, i vrednost 0 ukoliko je dati podatak raspoloživ. Dati indikator neraspoloživosti (u okviru seta podataka sa više promenljivih), se može predstaviti u obliku

$$M_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{ukoliko je vrednost } j \text{ - ot neraspoloživa za promenljivu } X_i \\ 1, & \text{ukoliko je vrednost } j \text{ - ot raspoloživa za promenljivu } X_i \end{cases}, \quad i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, K. \quad (3)$$

Nakon formiranja indikatora neraspoloživosti, moguće je izračunati predloženu statistiku veličina efekta, upotrebom sledećeg obrasca (Sheskin, 2011):

$$\tilde{\omega}^2 = \frac{t^2 - 1}{t^2 + n_1 + n_2 - 1} \quad (4)$$

gde n_1 predstavlja veličinu poduzorka koji se odnosi na raspoložive podatke, a n_2 predstavlja veličinu poduzorka koji se odnosi na neraspoložive podatke. t^2 predstavlja dobijenu vrednost t -testa. Formula za datu statistiku veličine efekta, može se predstaviti i na drugi način, što je prikazano kod Sakai (2018). Intezitet statistike veličina efekta, dat je sledećim obrascem (Cohen, 1988):

$$\text{intezitet statistike veličina efekta} = \begin{cases} \text{mali, za } 0.0099 < \tilde{\omega}^2 \leq 0.0588 \\ \text{srednji, za } 0.0588 < \tilde{\omega}^2 \leq 0.1379 \\ \text{veliki, za } \tilde{\omega}^2 > 0.1379 \end{cases} \quad (5)$$

4. PRIMENA

Podaci koji se analiziraju, prikupljeni su iz jedne ankete, koje je u maju 2019. godine, sproveda jedna inostrana banka u Novom Sadu. Svim (potencijalnim) klijentima banke koji su se raspitivali za uslove dobijanja *cash* kredita kod zaposlenog osoblja u poslovnicu, ponuđena im je jedna anonimna veoma kratka anketa u vezi proizvoda *cash* kredit. Naime, analitičari sektora "upravljanje odnosu sa klijentima" imali su nameru da ispitaju na koji period otplate *cash* kredita su najviše zainteresovani (potencijalni) klijenti banke. Takođe ih je interesovalo da li na broj meseci otplate keš kredita, možda utiču osnovne socio-ekonomske karakteristike (potencijalnih) klijenata.

Više detalja o ovom istraživanju, kao i svrsi same ankete, dato je kod Vasić (2019b). Ukratko u pitanju je jedan nadgledani statistički model, kod koga je zavisna (target) promenljiva "Odgovarajući period otplate keš

kredita" (u oznaci Y), dok su pet objašnjavajućih (prediktor) promenljivih dati kao: "Starost (u godinama)" (u oznaci X₁), "Godine stanovanja na sadašnjoj adresi" (u oznaci X₂), "Ukupna primanja domaćinstva (u 000 RSD)" koja su logaritamski transformisana (u oznaci X₃). Zatim "Godine zaposlenja kod sadašnjeg poslodavca" (u oznaci X₄) i "Broj članova domaćinstva" (u oznaci X₅).

Tabela 1: Statistike testa

	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
promenljiva indikator neraspoloživosti u odnosu na koju se kreiraju dva nezavisna uzorka						
M_X₁						
t	0	.	1.1	0.2	0	-0.1
n₁	187	193	166	157	172	189
n₂	6	0	5	6	6	7
$\tilde{\omega}^2$	-0.0052		0.0012	-0.0059	-0.0056	-0.0051
promenljiva indikator neraspoloživosti u odnosu na koju se kreiraju dva nezavisna uzorka						
M_X₂						
t	-0.9	-1.4	.	1.4	-0.2	0.9
n₁	165	166	171	139	151	168
n₂	28	27	0	24	27	28
$\tilde{\omega}^2$	-0.0010	0.0049		0.0059	-0.0054	-0.0010
promenljiva indikator neraspoloživosti u odnosu na koju se kreiraju dva nezavisna uzorka						
M_X₃						
t	-1.3	-2.9	-0.6	.	-1.6	-0.5
n₁	157	157	139	163	143	159
n₂	36	36	32	0	35	37
$\tilde{\omega}^2$	0.0036	0.0370	-0.0038		0.0087	-0.0038
promenljiva indikator neraspoloživosti u odnosu na koju se kreiraju dva nezavisna uzorka						
M_X₄						
t	0.1	1	-0.4	0.4	.	-1.6
n₁	171	172	151	143	178	176
n₂	22	21	20	20	0	20
$\tilde{\omega}^2$	-0.0052	0.0000	-0.0049	-0.0052		0.0079
promenljiva indikator neraspoloživosti u odnosu na koju se kreiraju dva nezavisna uzorka						
M_X₅						
t	-1.6	-1	-4.1	-2.6	-0.8	.
n₁	189	189	168	159	176	196
n₂	4	4	3	4	2	0
$\tilde{\omega}^2$	0.0080	0.0000	0.0846	0.0341	-0.0020	

Veličina uzorka je bila oko 200 ispitanika, i naravno, neki ispitanici nisu odgovorili na neka pitanja iz ankete. Sažeti prikaz nedostajućih podataka dat je slikom 1. Kod nje možemo primetiti, da je u anketi bilo 6 pitanja (što predstavlja promenljive u setu podataka), i da kod svih promenljivih, nema kompletne raspoloživosti (prva "pita" grafikon na slici 1). Zatim, da ukupno nedostaje 8.8% podataka (treća "pita" grafikon na slici 1).

Kao što ukazuje postupak rešavanja nedostajućih podataka (dat prikazom 1), prvo proveravamo, da li podaci nedostaju potpuno slučajno, primenom formule (2). Za primenu date formule, potrebno je da odredimo ukupan broj jedinstvenih obrazaca nekompletnosti, što se može uočiti na slici 2. Dalje, primenom formule (2) rezultat testa je: $Chi-Square = 95.465$, $DF = 72$, $Sig. = 0.034$, tako da odbacujemo tvrdnju da podaci nedostaju potpuno slučajno. Ovde se dolazi do važnog zaključka, da ukoliko se nedostajući podaci budu rešavali na tradicionalni način, ocene parametara nadgledanog statističkog modela (koji se misli upotrebiti) bile bi pristrasne!

Nakon prethodnog utvrđivanja, na osnovu postupka (datog prikazom 1) prelazimo, na utvrđivanje, da li podaci koji nedostaju, nedostaju na slučajan, ili na neslučajan način. Za te potrebe, upotrebiće se formula (4) kao i pravilo odlučivanja, dato izrazom (5). Kompletno testiranje prikazano je tabelom 1, koja ukazuje da

podaci nedostaju slučajno, jer kao što je objašnjeno u prikazu 1, nema povezanosti između zavisne (target, u oznaci Y) promenljive i nedostajućih podataka kod nezavisnih (prediktor) promenljivih. Da bi se data tvrdnja uočila, potrebno je posmatrati prvu kolonu Y u tabeli 1, i kod nje analizirati vrednosti statistike $\tilde{\omega}^2$. Kao što se može uočiti sve vrednosti statistike $\tilde{\omega}^2$ su manje ili jednake od 0.0099 po apsolutnoj vrednosti. Takođe, zašto podaci u ovome primeru ne nedostaju potpuno slučajno (naravno pokazano je primenom izraza (2)), vidi se i u tabeli 1, jer postoji povezanost nedostatka podataka kod nekih prediktor promenljivih, od drugih prediktor promenljivih. Konkretno kod promenljive X_1 i indikatora M_{X_3} , vrednost statistike veličina efekta $\tilde{\omega}^2$ iznosi 0.0370, što označava postojanje uticaja. Takođe, još na dva mesta, između promenljive X_2 i indikatora M_{X_5} , vrednost statistike veličina efekta $\tilde{\omega}^2$ iznosi 0.0846, što označava postojanje uticaja; kao i kod promenljive X_3 i indikatora M_{X_5} , vrednost statistike veličina efekta $\tilde{\omega}^2$ iznosi 0.0341, što opet označava postojanje uticaja.

Znači, podaci koji nedostaju u ovom primeru, nedostaju slučajno, što dalje znači, da ako želimo da u nadgledanom statističkom modelu, ocene parametara budu nepristrasne, onda problem nedostajućih podataka trebamo rešavati modernim pristupom, a to je ili upotreba EM algoritma ili upotreba metode višestrukog umetanja.

Napomenimo da su izračunavanja vršena upotrebom sintakse statističkog programa *IBM SPSS Statistics 25* (IBM, 2017b).

5. ZAKLJUČAK

U radu su postupno predstavljene su dve stvari. Prva, detaljan postupak rešavanja problematike nedostajućih podataka (koje je dato prikazom 1), i druga, način utvrđivanja da li podaci nedostaju slučajno, kada je u pitanju nadgledani statistički model (koji upotrebljava neprekidne promenljive).

Prikaz postupka rešavanja nedostajućih podataka, još nije sistematizovan na ovakav sveobuhvatan način. Takođe, problem utvrđivanja da li u nadgledanom statističkom modelu podaci nedostaju na slučajan način, je modeliran, ali kao što je ukazano, dosadašnji predlozi i načini rešavanja, imaju određene manjkavosti.

LITERATURA

- [1] Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2 ed.). New York: Psychology Press.
- [2] Enders, C. (2010). *Applied Missing Data Analysis*. New York: The Guilford Press.
- [3] IBM (2017a). *IBM SPSS Statistics Algorithms*. Armonk: IBM Corporation.
- [4] IBM (2017b). *IBM SPSS Statistics 25 Command Syntax Reference*. Armonk: IBM Corporation.
- [5] Little, R. & Rubin, D. (2002). *Statistical Analysis with Missing Data* (2 ed.). Chichester: Wiley.
- [6] Sakai, T. (2018). *Laboratory Experiments in Information Retrieval - Sample Sizes, Effect Sizes, and Statistical Power*. Singapore: Springer.
- [7] Sheskin, D. (2011). *Handbook of Parametric and Nonparametric Statistical Procedures* (5 ed.). Boca Raton: CRC Press.
- [8] Tabachnick, B. & Fidell, L. (2014). *Using Multivariate Statistics* (6 ed.). Harlow: Pearson.
- [9] Vasić, V. (2018). Rešavanje problema multivarijacionih nedostajućih anketnih podataka primenom EM algoritma. *Ekonomске ideje i praksa*, broj 30, str.35-49. Beograd: Ekonomski fakultet.
- [10] Vasić, V. (2019a). Algoritam izgradnje klasifikacionog modela u prisustvu nekompletnih podataka. *YUINFO 2019 – Zbornik radova*. str. 155-160. Beograd: Društvo za informacione sisteme i računarske mreže.
- [11] Vasić, V. (2019b). Determining the types of missing data under supervised statistical models. *5th International Researchers, Statisticians and Young Statisticians Congress – Congress Book*. pp. 285-292. Kusadasi, Turkey.

Teorija igara

Game Theory



DUOPOLY SPATIAL MODEL WITH A LIMITED QUANTITY OF OFFERED PRODUCTS

ZUZANA ČIČKOVÁ¹, PATRÍCIA HOLZEROVÁ²

¹ University of Economics in Bratislava - Faculty of Business Informatics, Bratislava, zuzana.cickova@euba.sk

² University of Economics in Bratislava - Faculty of Business Informatics, Bratislava, patricia.holzerova@euba.sk

Abstract: *Spatial games are specific field of game theory, focused on imperfect competition from a spatial perspective and analysing behaviour of subjects on the market, competing to attract their customers and trying to find the best location for their branch. This paper focuses on models of spatial competition, where the spatial game is described by a graph, whose nodes represent the locations of customers and potential locations of the players, the aim of which is to maximize their market share. The offer of both players consists of homogeneous products, the price of which may vary. Both, the price of the product, together with the transport costs, represent cost functions of the customers, on the basis of which they decide which of the players to move to. In the model, we consider different levels of demand in individual nodes and limited number of products offered by both players.*

Keywords: *Game theory, spatial competition, duopoly.*

1. INTRODUCTION

The choice of the company's location is one of the basic corporate strategies that affect its future in the market. The goal of choosing a location is to find the most convenient place for the company's business. It can be stated that the environment in which the company is located determines its future success. There are several reasons and approaches to deciding on a location. However, in this work we focus on the selection of the most advantageous location in terms of accessibility to customers and their consumer behavior.

The goal of every management should be to know their customer enough to be able to reach him with their products. It is the knowledge of the consumer that is an essential part of a successful operation in the market. Here, the consumer theory itself plays a role, which deals with his way of decision-making and economic behavior in the market, which also determines the overall demand.

The questions of location within game theory are undoubtedly interesting and studied. The beginnings of spatial analysis go back to Cournot's work (Cournot, 1838), who developed a model with competing companies and Bertrand (1883), who based his approach on a model with competitive prices. In 1924, Fetter (1924) formulated a law on market areas, where he considered prices and transport costs for each manufacturing company before deciding to buy goods from one of them. As a result, the threshold for market share between these companies is defined by the location of those consumers, for whom the total purchase price is indifferent to one of the companies or another. This work had a significant impact on the theory of network competition, but was not as important as the subsequent work of Hotelling (1929). Hotelling has created a linear market in which competing companies sell a homogeneous product, where consumers are evenly distributed in space of linear market and demand is inelastic, which means that each consumer receives only one unit of goods. The product is homogeneous in both companies and therefore differs in the first stage only in location and the second stage in price. Further extensions of this approach can be found in (Gabszwick and Thisse, 1986), where authors point out the flaw of the Hotelling model. The authors state that it is not possible to have a balance if companies are close to each other. The result of the modified model is a model whose solution is the existence of equilibrium anywhere in the market.

In paper (Kim and Serfes, 2006) authors came up with an extended location model, based on the principle of Hotelling's minimal differentiation, in which they take into account the possibility that consumers can buy more than one type of goods. More specifically, they may purchase from several manufacturers, while they can purchase maximum of one unit of the goods offered from one producer. As the authors note, the model is applicable to a number of types of markets. Other important works with extensions of the original idea of spatial competition can be considered (Hamoudi.a Risseño, 2012) and (Hamoudi and Bustamante, 2011).

In this paper, we describe a model of a duopoly in space, which is characterized by a graph. It will be based on the article (Lopez and Čičková, 2018), which considerations we will expand by considering

different demand in individual nodes of the graph and limited supply on the side of producers. The assumption of a limited supply appears realistic in the market for certain specific goods or specific time period, for example in case of sales. Limited offers can be linked to strategy of producers to motivate customers to purchase the offered goods. Such products can customers perceive as scarce and be more willing and motivated to make a purchase (Wilkinson and Klaes, 2017). In our example, customers choose one of the two producers based on their costs, which include both the price of the goods and the transport costs they have to bear during transport to the selected company.

2. SPATIAL DUOPOLY MODEL WITH LIMITED SUPPLY

Let $V = \{1, 2, \dots, n\}$, $n \in \mathbb{Z}^+$, be a set of customers and let there be a graph $G = (V, H)$, where V represents nodes of the graph and $H \subset V \times V$ represents a set of edges $h_{ij} = (v_i, v_j)$ from node v_i to node v_j , while each oriented edge h_{ij} has assigned a real number $o(h_{ij})$, referred to as valuation or value h_{ij} . Spatial game was formulated in the so-called full-valued graph $\bar{G} = (V, \bar{H})$ with the same set of nodes as graph G , where \bar{H} is the set of edges between each pair of nodes v_i and v_j , where their valuation is equal to the minimum price between nodes v_i and v_j in the original graph, $i, j \in V$. It can often be assumed that $o(h_{ij}) = d_{ij}$ where d_{ij} represents minimum distance (shortest path length) between nodes v_i and v_j , then matrix $\mathbf{D}_{n \times n} = (d_{ij})$ is the matrix of shortest distances between nodes v_i and v_j .

We assume, that there are two companies (players) $P = \{1, 2\}$, offering homogeneous product (goods or service) and having possibility to realize service in one of the nodes, while we do not consider the costs of building a service point. That means, in any element of the set $V = \{1, 2, \dots, n\}$, which is also location of customers. Although both players offer identical product in unlimited quantities, the price of the products can be different. $p^{(1)}$ will be the price of player 1 and $p^{(2)}$ will be the price of player 2. If we do not consider any capacity restrictions, each customer can buy product of any company. We assume that the customers always make a purchase, but they take into account the total cost of purchasing the product, consisting of the price of the product and transport costs to selected company. Transport costs are expressed as t per unit of distance, so we assume that the customer has to pay the product price and transport costs to each company

($n_{ij}^{(1)}$ and $n_{ij}^{(2)}$). For player 1 cost matrix can be defined as:

$$\mathbf{N}^1 = \{n_{ij}^{(1)}\}, i, j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

with its elements:

$$n_{ij}^{(1)} = t * d_{ij} + p^1 \quad (2)$$

Analogically, for player 2 we can define cost matrix:

$$\mathbf{N}^2 = \{n_{ij}^{(2)}\}, i, j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

with its elements

$$n_{ij}^{(2)} = t * d_{ij} + p^2 \quad (4)$$

Based on the cost functions and the following assumptions, we can state following:

- If player 1 places his branch at the j – node, he gets customer from the i – node only if $n_{ij}^{(1)} < n_{ij}^{(2)}$, $i, j = 1, 2 \dots n$.
- In case that $n_{ij}^{(1)} = n_{ij}^{(2)}$, players share the demand equally (we assume 50% probability that the customer chooses service from player 1 (player 2))
- Otherwise, the customer from i –node will be served by player 2.

It is obvious that a player's interest in a specific node is generally conditioned by a „size“ of demand of this node, while in the terms of this criterion, some nodes are more interesting for the player than others. The size of the demand can be then related to population. Now we will form spatial game considering demand of individual nodes. The demand will be represented by vector $\mathbf{g} = (g_i), i \in V$. At the same time, we consider limits on the supply side. The maximum offered quantity of products of the player 1 will be k_1 and maximum offered quantity of the player 2 k_2 . The consumer demand will be divided between players according to following rules: The consumer seeks to minimize his costs. However, if the capacity of a given player is not sufficient, he must, despite higher costs, move to player 2. We assume complete information on both the supply and demand side, which means that customer knows whether his service will be carried out (or what part of it) when deciding and the player knows how much demand in which node to serve.

The payoff matrix of the player 1 ($\mathbf{A} = (a_{ij}), i, j = 1, 2, \dots, n$) and the payoff matrix of the player 2 ($\mathbf{B} = (b_{ij}), i, j = 1, 2, \dots, n$) can be written in the form of the following pseudocode:

```

LET  $V = \{1, 2, \dots, n\}$ ,  $\mathbf{D}_{n \times n} = (d_{ij}), t, p^{(1)}, p^{(2)}, \mathbf{g}_n = (g_i), k_1, k_2$ 
LOOP ( $i, j \in V$ ) DO
 $n_{ij}^{(1)} = t * d_{ij} + p^{(1)}$ ;
 $n_{ij}^{(2)} = t * d_{ij} + p^{(2)}$ ;
 $a_{ij} = 0$ ;
 $b_{ij} = 0$ ;

LOOP ( $k, i, j = 1, 2, \dots, n$ ) DO
IF  $n_{ki}^{(1)} < n_{kj}^{(2)}$  and  $a_{ij} + g_k \leq k_1$  DO  $a_{ij} = a_{ij} + g_k$ ;
ELSEIF  $n_{ki}^{(1)} < n_{kj}^{(2)}$  and  $a_{ij} + g_k > k_1$  and
 $b_{ji} + a_{ij} + g_k - k_1 \leq k_2$  DO  $b_{ji} = b_{ji} + a_{ij} + g_k - k_1, a_{ij} = k_1$ ;
ELSEIF  $n_{ki}^{(1)} < n_{kj}^{(2)}$  and  $a_{ij} + g_k > k_1$  and  $b_{ji} + a_{ij} + g_k - k_1 > k_2$  DO  $a_{ij} = k_1; b_{ji} = k_2$ ;
ELSEIF  $n_{ki}^{(1)} = n_{kj}^{(2)}$  and  $a_{ij} + 0,5g_k \leq k_1$  and  $b_{ji} = b_{ji} + 0,5g_k \leq k_2$  DO
 $a_{ij} = a_{ij} + 0,5g_k; b_{ji} = b_{ji} + 0,5g_k$ ;
ELSEIF  $n_{ki}^{(1)} = n_{kj}^{(2)}$  and  $a_{ij} + 0,5g_k > k_1$  and  $b_{ji} = b_{ji} + 0,5g_k > k_2$  DO  $a_{ij} = k_1; b_{ji} = k_2$ ;
ELSEIF  $n_{ki}^{(1)} = n_{kj}^{(2)}$  and and  $b_{ji} + a_{ij} + g_k - k_1 \leq k_2$  DO  $b_{ji} = b_{ji} + a_{ij} + g_k - k_1, a_{ij} = k_1$ ;
ELSEIF  $n_{ki}^{(1)} = n_{kj}^{(2)}$  and  $a_{ij} + 0,5g_k > k_1$  and  $b_{ji} + a_{ij} + g_k - k_1 > k_2$  DO  $a_{ij} = k_1; b_{ji} = k_2$ ;
ELSEIF  $n_{ki}^{(1)} = n_{kj}^{(2)}$  and  $b_{ji} + 0,5g_k > k_2$  and
 $a_{ij} + b_{ji} + g_k - k_2 \leq k_1$  DO  $a_{ij} = a_{ij} + b_{ji} + g_k - k_2; b_{ji} = k_2$ ;
ELSEIF  $n_{ki}^{(1)} = n_{kj}^{(2)}$  and  $b_{ji} + 0,5g_k > k_2$  and  $a_{ij} + b_{ji} + g_k - k_2 > k_1$  DO  $a_{ij} = k_1; b_{ji} = k_2$ ;
ELSEIF  $n_{ki}^{(1)} > n_{kj}^{(2)}$  and  $b_{ji} + g_k \leq k_2$  DO  $b_{ji} = b_{ji} + g_k$ ;
ELSEIF  $n_{ki}^{(1)} > n_{kj}^{(2)}$  and  $b_{ji} + g_k > k_2$  and
 $a_{ij} + b_{ji} + g_k - k_2 \leq k_1$  DO  $a_{ij} = a_{ij} + b_{ji} + g_k - k_2; b_{ji} = k_2$ ;
ELSEIF  $n_{ki}^{(1)} > n_{kj}^{(2)}$  and  $a_{ij} + g_k > k_1$  and  $a_{ij} + b_{ji} + g_k - k_2 > k_1$  DO  $a_{ij} = k_1; b_{ji} = k_2$ ;
ENDIF
END

```

When solving a given game, the total capacity on the supply side must be considered. If the whole demand of the nodes can be satisfied, this means that $k_1 + k_2 \geq \sum_{i \in V} g_i$, it is a game with a constant sum. However, if the whole demand cannot be satisfied, that means if $k_1 + k_2 < \sum_{i \in V} g_i$, the non-cooperative game does not have a clear solution (each point is an equivalent equilibrium solution), because under the given conditions any node is equally advantageous for players.

The goal is to find the solution of the game - the equilibrium point - in pure strategies. If the equilibrium point is represented by pure strategies, it corresponds to the saddle point matrix **A**. Such strategies then represent the best way to make decisions in the matrix game. If such a point does not exist, we are looking for a solution in mixed strategies. We obtain mixed strategies using mathematical models, while in constant sum games the solution can be obtained using linear programming (Čičková et al., 2019). The status is then defined as equilibrium if the system has a tendency to remain in such state under certain conditions. Only such set of strategies can be considered as a satisfactory result, if any effort to unilaterally violation automatically leads to damage to a player attempting to do so.

3. ILLUSTRATIVE EXAMPLE

We consider graph with five nodes $V = \{1,2,\dots,5\}$, while each of them also represents the locations of potential customers of players. At the same time, we assume the form of a duopolistic market, where the players represent two firms – firm 1 and firm 2, each of which has the opportunity to implement service in the graph nodes. Companies offer a homogeneous product, but product prices vary. Player 1 offers a product for price $p^{(1)} = 3$ and player 2 offers product for a price $p^{(2)} = 3,6$. The matrix of shortest distances $D = \{d_{ij}\}, i, j = 1, 2, \dots, 5$ between all nodes is known:

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 6 & 7 & 9 & 10 \\ 6 & 0 & 12 & 15 & 14 \\ 7 & 12 & 0 & 11 & 17 \\ 9 & 15 & 11 & 0 & 19 \\ 10 & 14 & 17 & 19 & 0 \end{bmatrix}$$

and unit transport costs are $t = 0,3$.

Let us suppose that the demand of individual nodes is given by a vector $g = (100,80,20,120,150)^T$. Let the player 1 know that his maximum capacity is 300 units (k_1) and player 2 can satisfy 200 units of demand (k_2).

Based on equations (2) and (4), the elements of cost matrices for both players can be calculated. The cost matrices are then as follows:

$$N^{(1)} = \begin{bmatrix} 3 & 4.8 & 5.1 & 5.7 & 6 \\ 4.8 & 3 & 6.6 & 7.5 & 7.2 \\ 5.1 & 6.6 & 3 & 6.3 & 8.1 \\ 5.7 & 7.5 & 6.3 & 3 & 8.7 \\ 6 & 7.2 & 8.1 & 8.7 & 3 \end{bmatrix} \quad N^{(2)} = \begin{bmatrix} 3.6 & 5.4 & 5.7 & 6.3 & 6.6 \\ 5.4 & 3.6 & 7.2 & 8.1 & 7.8 \\ 5.7 & 7.2 & 3.6 & 6.9 & 8.7 \\ 6.3 & 8.1 & 6.9 & 3.6 & 9.3 \\ 6.6 & 7.8 & 8.7 & 9.3 & 3.6 \end{bmatrix}$$

Based on the pseudocode above we can calculate elements of the payment matrices for player 1 (**A**) and for player 2 (**B**)¹:

$$A = \begin{bmatrix} 300 & 300 & 300 & 300 & 300 \\ 270 & 300 & 300 & 300 & 300 \\ 270 & 270 & 300 & 300 & 300 \\ 270 & 270 & 295 & 300 & 300 \\ 270 & 270 & 270 & 300 & 300 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 170 & 200 & 200 & 200 & 200 \\ 170 & 170 & 200 & 200 & 200 \\ 170 & 170 & 170 & 175 & 200 \\ 170 & 170 & 170 & 170 & 170 \\ 170 & 170 & 170 & 170 & 170 \end{bmatrix}$$

where, for example, element a_{11} is equal to 300 because from the cost matrices it is obvious, that in case of realization of service of both players in node 1 is the purchase of player 1 more advantageous for all nodes, thus player 1 makes a sale at its capacity level (300). The remaining demand of 170 will satisfy player 2 ($b_{11} = 170$). Element a_{53} is set to 270 because in case player 1 realizes service in node 5 and player 2 in node 3, a comparison of the fifth column of the matrix $N^{(1)}$ and third column of the matrix $N^{(2)}$ shows that purchase from player 1 is more advantageous only in node 5, from which player gains 150 units of the

¹ The entire calculation procedure was performed using GAMS software and is available on request from the authors.

demand, for node 2, the purchase from both players is equally advantageous and the player gets 40 units of the demand. For the rest of the nodes it is more advantageous to buy from player 2. Player 2 should serve 280 units of the demand, but his capacity is enough to operate only 200 units ($b_{35} = 200$), so another 80 units are moved to player 1.

Since $k_1 + k_2 \geq \sum_{i \in V} g_i$, it is a game with constant sum. The goal is to find the equilibrium point. In case of existence of equilibrium in pure strategies, it corresponds with the saddle point of the matrix A. Using a max-min principle we are able to identify the equilibrium (marked). The equilibrium solution is clear: for player 1 $\mathbf{x}^{(0)} = (1,0,0,0,0)^T$ and for player 2 $\mathbf{y}^{(0)} = (1,0,0,0,0)^T$. It means that both players should realize service in the node 1. The player thus serves 300 units of the demand (out of 470) and player 2 serves 170 units of demand (470-300).

Now we suppose that the demand of the first node decrease to 20 (ceteris paribus). The payment matrices of the players are then as follows:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 300 & 300 & 300 & 270 & 240 \\ 190 & 300 & 250 & 270 & 240 \\ 190 & 190 & 300 & 270 & 240 \\ 190 & 190 & 215 & 300 & 240 \\ 190 & 190 & 190 & 250 & 300 \end{bmatrix} \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 90 & 200 & 200 & 200 & 200 \\ 90 & 90 & 200 & 200 & 200 \\ 90 & 140 & 90 & 175 & 200 \\ 120 & 120 & 120 & 90 & 140 \\ 150 & 150 & 150 & 150 & 90 \end{bmatrix}$$

Obviously, the game has no solution in pure strategies and the solution must be sought in mixed strategies. Software GAMS (and its solver CPLEX) was used to solve the corresponding linear programming problem. Mixed strategy of player 1 is $\mathbf{x}^{(0)} = (0.65,0,0,0,0.35)^T$ and mixed strategy of player 2 is $\mathbf{y}^{(0)} = (0,0,0.35,0,0.65)^T$. The value of the game for player 1 is 261.18, that means he will serve 261.18 units of demand (out of 390) and player 2 will serve 128.82 units of the demand (out of 390). The interpretation of the mixed strategies is generally complicated. If players chose strategy with the highest probability, the solution would be to realize service in the node 1 (for player 1) and in the node 5 (for player 2). The player 1 would serve 240 units of the demand and player 2 would gain 150 units of the demand. If it was possible to change the service location (for example sales on daily basis), player 1 should realize 65% of the time of service in the node 1 and 35% in the node 2. Player 2 should realize approximately 35% of the service in the node 3 and 65% in the node 5. Thus, player 1 would serve on average 169.65 units of the demand in the node 1 and 91.53 in the node 5. Player 2 would gain 44.97 from the node 3 and 83.85 from the node 5.

4. CONCLUSION

In every competitive model, there is a situation where players compete to improve their position, gain more clients and more market share. This paper is focused on analysis of oligopolistic, specifically duopolistic, market in space and deals with modeling a situation where two competing companies offer an identical product, the price of which may differ. Players thus decide on their position with aim to maximize their profits, taking into account the share of total demand obtained. The size of the demand varies from node to node. In our model we are also considering a limited offer of individual players, mostly known in case of specific goods in the market or specific time period, just as period of sales. Duopolists compete to attract their customers, who are choosing one of the producers based on their total costs consisting of the price of the product and transport costs. The market is characterized by a graph whose nodes represent locations of players' potential customers and potential service location. This approach is illustrated by an example, resulting once in saddle point of matrix A and second time in mixed strategies indicating equilibrium solution for both of the players.

Acknowledgement

This work was supported by the project VEGA 1/0427/20 Multi-criteria models of game theory in economics and politology and by the project APVV SK-SRB-18-0009 Optimizing of logistics and transportation processes based on the use of battery operated vehicles and ICT solutions

REFERENCES

- [1] Bertrand, J. (1983). Review of Walras's *Théoriemathématique de la richesse sociale* and Cournot's *Recherches sur les principesmathématiques de la théorie des richesses*. In *Journal des Savants*, vol. 67, pp. 499-508.
- [2] Cournot, A. A. (1838). *Recherches sur les principesMathématiques de la théorie des richesses* (Researches on the Mathematical Principles of the Theory of Wealth). Paris: L'Universite Royale de France.
- [3] Čičková, Z., Figurová, D., Goga, M., Kucharčík, R., Sequeira Lopez, A., J., Pekár, J., Strešňáková, A. & Zagiba, M. (2019). *Vybrané aplikácie teórie hier*. Bratislava: Letra Edu, 182 s. [9,21 AH]. ISBN 978-80-89962-46-4.
- [4] Fetter, F. A. (1924). The Economic Law of Market Areas. In: *The Quarterly Journal of Economics*, 38(3), 520–529. <https://doi.org/10.2307/1882335>.
- [5] Gabszwick, J. & Thisse, J.F. (1986). On the Nature of Competition with Differentiated Products. In: *The Economic Journal*, 96(381), 160–172. <https://doi.org/10.2307/2233431>
- [6] Hamoudi, H. & Bustamante, M.S.M. (2011). Revisiting price Equilibrium Existence in the Linear-city Model of Spatial Competition. In: *Regional Science*, 90(1), 179–196. <https://doi.org/10.1111/j.1435-5957.2010.00308>.
- [7] Hamoudi, H. & Risueño, M. (2012). The Effects Of Zoning In Spatial Competition. In: *Journal of Regional Science*,52(2), 361-374 <https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.2011.00744>.
- [8] Hotelling, H. (1929). Stability in competition. *The Economic Journal*, Vol. 39, No. 153. p. 41-57. <https://doi.org/10.2307/2224214>.
- [9] SERFES, K., & KIM, H. (2006). A Location Model with Preference for Variety. *The Journal of Industrial Economics*, 54.4: 569-595. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6451.2006.00300.x>.
- [10] Sequeira Lopez, A., J. & Čičková, Z. (2018). Price Policy in Games in Spatial Competition. In *Quantitative Methods in Economics : Multiple Criteria Decision Making XIX*. International Scientific Conference. *Quantitative Methods in Economics : Multiple Criteria Decision Making XIX : Proceedings of the International Scientific Conference : 23rd May - 25th May 2018, Trenčianske Teplice, Slovakia. - Bratislava : Letra Edu, 2018. ISBN 978-80-89962-07-5, pp. 313-319.*
- [11] Wilkinson, N., & Klaes, M. (2017). *An introduction to behavioral economics*. Macmillan International Higher Education.



EVOLUCIONA DINAMIKA PONAŠANJA STANOVNIŠTVA TOKOM PANDEMIJE COVID-19

EVOLUTIONARY DYNAMICS OF POPULATION BEHAVIOR DURING THE COVID-19 PANDEMIC

MARIJA KUZMANOVIĆ

Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, Beograd, marija.kuzmanovic@fon.bg.ac.rs

Rezime: Evolucionarna teorija igara pruža okvir za dinamičku analizu interakcija koje se ponavljaju. Prvobitno je nastala kao alat za modeliranje reproduktivne sposobnosti populacije čije su jedinke genetski „programirane“ da biraju određene strategije, pri čemu strategije koje se loše pokažu vremenom izumiru, dok snažne strategije opstaju. Ova dinamika umnožavanja je proširena na prostorne modele i primenjena u analizi mnogih društvenih pojava. Ono što evolucionu teoriju igara posebno izdvaja, je mogućnost relaksacije pretpostavke o tradicionalnim, potpuno informisanim, racionalnim igračima. Cilj ovog rada je da predstavi osnovne koncepte evolucionarne teorije igara i da prikaže mogućnost njene primene u modeliranju dinamike društvenog ponašanja i određivanju evoluciono stabilne strategije ponašanja populacije. Analiza je urađena na primeru ponašanja stanovništva tokom pandemije COVID.

Gljučne reči: Evolucionarna teorija igara, Evoluciono stabilna strategija, Nešov ekvilibrijum, Saradnja, Simulacija, Pandemija COVID-19.

Abstract: Evolutionary game theory provides a framework for the dynamic analysis of repeated interactions. It was originally created to model the reproductive ability of a population of individuals genetically "programmed" to choose certain strategies, with those that poorly perform die out over time, and strong ones survive. This replication dynamics has been extended to spatial models and applied in the analysis of many social phenomena. What singe out evolutionary game theory is the possibility of relaxing the assumption of traditional, fully informed, rational players. The aim of this paper is to present the basic concepts of evolutionary game theory and to show the possibility of its application in modeling the dynamics of social behavior and determining the evolutionary stable strategy of population behavior. The analysis was done on the example of the behavior of the population during the COVID pandemic.

Keywords: Evolutionary game theory, Evolutionary stable strategy, Nash equilibrium, Cooperation, Simulation, COVID-19 pandemic.

1. UVOD

Evolucionarna teorija igara (ETI) nastala je kao rezultat primene matematičke teorije igara u biologiji, proizilazeći iz shvatanja da adaptivna vrednost jedinki, uslovljena učestalošću pojavljivanja određenog tipa jedinki, uvodi strateško ponašanje u evoluciju. Bazirana na konceptima Darvinove evolucionarne teorije, uključuje takmičenje (igru), prirodnu selekciju (replikatorsku dinamiku) i nasleđe.

Vremenom je ova teorija našla primenu i u ekonomiji, sociologiji, antropologiji, filozofiji i mnogim drugim društvenim naukama, gde evolucija nije biološka, već ekonomska (Hodgson & Huang, 2012) ili kulturološka, odnoseći se na promene stavova i normi tokom vremena (Newton, 2018; Babu & Mohan, 2018). Jedna od osnovnih prednosti evolucionarne teorije igara prilikom modeliranja društvenih pojava je ta što se bazira na pretpostavkama koje su prikladnije od pretpostavke racionalnosti koja leži u osnovi tradicionalne teorije igara. Naime, ljudi su po prirodi „kratkovidi“ u smislu izbora strategija, vođeni prirodnom selekcijom, imitacijom ili genetikom, a ne isključivo pronicljivim rasuđivanjem. Pored toga, teorija evolucionih igara se više fokusira na dinamiku promene strategije, na šta utiče ne samo kvalitet različitih konkurentskih strategija, već i efekat učestalosti sa kojima se u populaciji nalaze različite konkurentske strategije.

Evolucionarna teorija igara doprinela je boljem razumevanju mnogih pojava, kao što su grupne selekcije, seksualne selekcije, altruizam, roditeljska briga, koevolucija, ekološka dinamika (Tilman, Plotkin, & Akçay,

2020) i druge. Primenom njenih modela, mnoge kontra-intuitivne situacije u ovim oblastima su postavljene na čvrstu matematičku osnovu (Hammerstein & Selten, 1994).

Cilj ovog rada je da predstavi ideju i osnovne koncepte evolucione teorije igara i da prikaže mogućnost njene primene u modeliranju dinamike društvenog ponašanja. Ilustracija je urađena na primeru analize ponašanja stanovništva za vreme pandemije COVID-19 u smislu određivanja faktora koji mogu da utiču na to da saradnja postane evoluciono stabilna strategija u društvu.

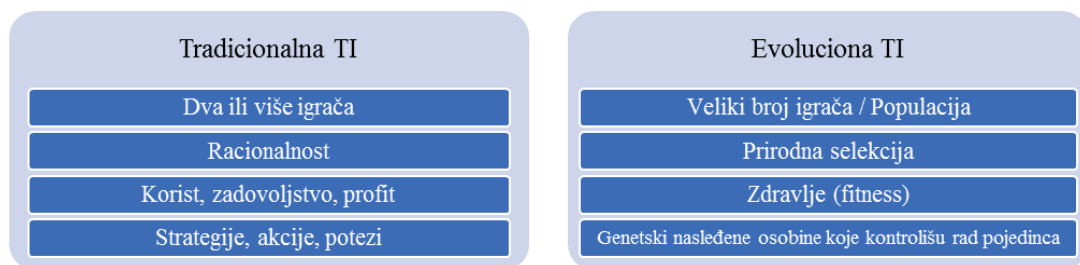
2. EVOLUCIONA TEORIJA IGARA

2.1. Istorijat i osnovni pojmovi

Teorija igara predstavlja matematičku formalizaciju i analizu procesa odlučivanja u konfliktnim i delimično konfliktnim situacijama, kada međusobna uslovljenost akcija dva ili više igrača determiniše njihove individualne rezultate (Kuzmanović, 2017). Modeli tradicionalne teorije igara baziraju se na dve veoma stroge pretpostavke, a to su racionalnost igrača i opšte znanje svih igrača o racionalnosti ostalih igrača. Koncept rešenja igre, tzv. Nešov ekvilibrijum, predstavlja skup strategija, za svakog igrača po jedna, takvih da su jedna drugoj najbolji odgovor i da se nijednom igraču ne isplati da jednostrano odstupi od date strategije.

S druge strane, evoluciona teorija igara razmatra interakciju velikog broja jedinki iz iste populacije gde se pretpostavka racionalnosti menja prirodnom selekcijom i gde interakcije mogu biti prostorne ili slučajne. Takođe se pretpostavlja da određen procenat populacije "bira" neku strategiju i da svaka jedinka "živi" u jednom ciklusu igre. Strategije su genetski nasleđene osobine koje kontrolišu akciju pojedinca, a taj proces je analogan kompjuterskim programima (Vincent & Brown, 2005). Uspeh strategije određuje se time koliko je dobra za preživljavanje i reprodukciju jedinke u prisustvu konkurentskih strategija (uključujući samu sebe) i učestalosti s kojima se te strategije koriste. Rezultat interakcije/igre u evoluciono teoriji igara je zdravlje (*fitness*) jedinke tj. njena sposobnost preživljavanja i reprodukcije i izražava se kroz potomke tih osobina. Veza između tradicionalne i evolucione teorije igara, prikazana je na slici 1.

Ideje koje leže u osnovi evolucione teorije igara, iako nisu eksplicitno pomenuti, prvi put se javljaju u delu R. A. Fišera "The genetical theory of natural selection" iz 1930. godine, kojim je autor pokušao da objasni približnu brojnu jednakost polova kod sisara. Formalno se teorija igara u evolutivnoj biologiji prvi put sreće u radu Levontina „Evolution and the theory of games“ iz 1961. godine (Lewontin, 1961). Nedugo zatim, Majnard Smit uvodi i definiše koncept evolutivno stabilne strategije (ESS) u članku „Game theory and the evolution of fighting“ objavljenom 1972. godine (Maynard Smith, 1972). Međutim, tek nakon publikovanja članka „The logic of animal conflict“ autora Majnard Smita i Prajsa 1973. godine (Maynard & Price, 1973), koncept ESS dobija širu primenu. Ključnu publikaciju na ovu temu, „Evolution and the Theory of Games“, objavio je 1982. godine Majnard Smit (Maynard Smith, 1982), nakon čega je 1984. godine usledio i poznati rad Roberta Eksleroda „The Evolution of Cooperation“ (Axelrod, 1984).



Slika 1: Tradicionalna vs. evoluciona teorija igara

2.2. Evoluciono stabilne strategije

Evoluciona stabilnost je stanje dinamike igara u kome kod veoma velike populacije takmičara, druga mutirajuća strategija ne može uspešno da uđe u populaciju da bi poremetila postojeću dinamiku. Stoga se može reći da je evoluciono stabilna strategija (ESS) ona strategija koja uspe da preživi sve „mutantske“ strategije. Kada se sagledava životinjski svet, takve strategije su obično programirane pod veoma jakim uticajem genetike, što čini bilo koju strategiju organizma određenom ovim biološkim faktorima (Weibull, 1995).

Ideja evolucione stabilnosti strategija se formalno može predstaviti na sledeći način. Pretpostavimo da svaki pojedinac u populaciji ima početnu sposobnost F_0 , i neka $F(s)$ označava sposobnost pojedinca koji usvaja strategiju s ; $\Delta F(s_1, s_2)$ predstavlja promenu sposobnost pojedinca koji prati strategiju s_1 protiv jedinke koja prati strategiju s_2 . Ako sa σ označimo ESS, a sa μ mutant strategiju koja pokušava da napadne populaciju, tada važi:

$$F(\sigma) = F_0 + (1 - p)\Delta F(\sigma, \sigma) + p\Delta F(\sigma, \mu) \quad (1)$$

$$F(\mu) = F_0 + (1 - p)\Delta F(\mu, \sigma) + p\Delta F(\mu, \mu) \quad (2)$$

gde p predstavlja procenat populacije koji usvaja mutant strategiju μ .

Kako je σ evoluciono stabilna strategija, sposobnost jedinke koja sledi ovu strategiju mora biti veća od sposobnosti jedinke koja sledi strategiju μ , pa je $F(\sigma) > F(\mu)$. Imajući u vidu da je p veoma mala vrednost, bliska 0, strategija σ će biti ESS ako je ispunjen bar jedan od uslova:

- (1) strategija σ omogućava bolji rezultat protiv σ nego što bi bilo koji mutant koji igra protiv σ mogao da ostvari, tj. $\Delta F(\sigma, \sigma) > \Delta F(\mu, \sigma)$ ili
- (2) strategija μ omogućava isti rezultat protiv strategije σ kao strategija σ protiv same sebe, ali strategija σ ostvaruje bolji rezultat protiv strategije μ nego što bi μ ostvarila protiv same sebe, tj. $\Delta F(\sigma, \sigma) = \Delta F(\mu, \sigma)$ i $\Delta F(\sigma, \mu) > \Delta F(\mu, \mu)$

Iz prethodnog se može zaključiti da uspešna ESS mora biti i efikasna u odnosu na konkurente kada je malobrojna (ulazak u prethodnu konkurentsku populaciju), i uspešna kada je brojnija (odbrana). To zauzvrat znači da strategija mora biti uspešna kada se suprotstavi drugima tačno onakvim sebi.

Između Nešovog ekvilibrijuma i evoluciono stabilne strategije postoji određena relacija. Naime, ESS je uvek Nešov ekvilibrijum, ali obrnuto ne mora da važi. Potreban uslov da neki Nešov ekvilibrijum bude i ESS je da je simetričan (oba igrača igraju istu u ekvilibrijumu), dok je dovoljan uslov (ali ne i neophodan) da je u pitanju stogi Nešov ekvilibrijum. Iz prethodnog se može zaključiti da je ekvilibrijum dominantnih strategija uvek evoluciono stabilan ukoliko je simetričan.

2.3. Igra Soko i golub

Za ilustraciju evolucione stabilnosti u literaturi se najčešće koristi karakteristična igra Soko i golub (*Hawk Dove Game*). U pitanju je igra u kojoj se dva igrača nadmeću za resurs fiksne vrednosti V , koja zavisi od konteksta u kome se resurs koristi. U biološkom kontekstu, na primer, on predstavlja povećanje darvinističke sposobnosti pojedinca koji dobija resurs, dok u kulturološkom kontekstu dobija onu vrednost koja je prikladnija za specifičnost tog konteksta.

U igri Soko i golub, igrači imaju mogućnost da slede jednu od dve strategije:

- Soko strategija u kojoj igrač nastupa agresivno i ne zaustavlja se dok se ne povredi ili dok se protivnik ne povuče, pri čemu troškovi konflikta iznose C , $C > V$.
- Golub strategija u kojoj igrač nastupa potpuno suprotno i povlači se čim primeti agresivno ponašanje kod protivnika.

Ako se suoče dva igrača koja primenjuju strategiju Soko, dolazi do velikog sukoba i u većini slučajeva oba igrača bivaju podjednako povređena (Slika 2). Ako pak oba primene strategiju Golub, rezultat je nagodba po kojoj igrači dele resurs. U slučaju da jedan primeni strategiju Golub a drugi strategiju Soko, golub će se odmah povući a soko će dobiti resurs sav resurs.

	Soko	Golub
Soko	$\frac{1}{2}(V - C), \frac{1}{2}(V - C)$	$V, 0$
Golub	$0, V$	$V/2, V/2$

Slika 2: Matrica isplate za igru Soko i glob

Igra data matricom plaćanja na slici 2 ima dva čista Nešova ekvilibrijuma, u kojima jedan igrač bira Soko, a drugi Golub strategiju. Kada je vrednost resursa manja od troška povrede, ne postoji ESS ukoliko su jedinke obavezne da koriste čiste strategije. Takođe, jasno je da strategija Golub nije evoluciono stabilna, jer čista populacija golubova može biti napadnuta od strane soko mutanta. Međutim, moguće je doći do ESS ukoliko igrači mogu da koriste mešovite strategije. Naime, mešoviti Nešov ekvilibrijum ($(V/C, 1 - V/C)$, $(V/C, 1 - V/C)$) je simetričan i strog, ukazujući na to da je evoluciono stabilno da V/C procenat igrača bira Soko, a preostalih $1 - V/C$ igrača Golub strategiju. Konkretno, u slučaju da je vrednost resursa 10, a trošak borbe 15, dve trećine populacije bi igralo Soko strategiju, a jedna trećina Golub strategiju.

S druge strane, ako je vrednost V resursa veća od troška povrede C , tj. ako je vredno rizikovati trošak kako bi se dobio resurs, tada se igra svodi na igru Dilema zatvorenika, kod koje je strategija Soko evoluciono stabilna strategija.

3. EVOLUCIONO STABILNO PONAŠANJE POJEDINACA ZA VREME PANDEMIJE COVID-19

U Srbiji je usled epidemije izazvane virusom COVID-19, u martu 2020. godine uvedeno vanredno stanje, sa jasnim preporukama o poštovanju fizičke distance, nošenja maski i zabrane kretanja za vreme policijskog časa. Prema uverenjima medicinskih radnika, od ponašanja svih pojedinaca u društvu zavisi da li i koliko će mere trajati, kao i kakve će biti posledice. U ovakvoj situaciji svi pojedinci imaju dve opcije na raspolaganju, da saraduju (u kontekstu poštovanja mera) ili da ne saraduju (kršeći pravila). Mogući ishodi iz ugla pojedinca, a u zavisnosti od izabranog ponašanja, mogu se opisati na sledeći način:

- Ako svi saraduju, vanredno stanje će trajati kratko i svi ili većina će ostati zdravi;
- Ako niko ne saraduje, trajanje vanrednog stanja je nepoznato ali dugoročno, pri čemu dolazi do pada ekonomije, gladi, pojave drugih bolesti i slično;
- Ako samo taj jedan pojedinac ne saraduje, on nikoga neće zaraziti, niko njega neće zaraziti, slobodan je da se kreće;
- Ako samo taj jedan pojedinac saraduje, jedini će biti „zarobljen” i to dugoročno, uz mogućnost da u nekom trenutku ipak bude zaražen.

Isplate dodeljene prethodno opisanim ishodima, zavise od mnogo faktora, i mogu se razlikovati od osobe do osobe. Kada se data situacija modelira kao igra sa kolektivnim akcijama, ali iz ugla jednog pojedinca, opšti oblik matrice plaćanja je dat na slici 3a. Sa V je označena vrednost isplate vezana za zdravlje, sa S vrednost slobode za pojedinca, dok je B trošak vezan za bolest, a Z trošak vezan za gubitak osećaja slobode. U cilju ilustracije, parametrima su dodeljene sledeće vrednosti ($V=20$, $S=10$, $B=20$ i $Z=10$), a odgovarajuća matrica plaćanja prikazana je na slici 3b.

Pojedinac	Svaki od ostalih	
	Ne saraduje	Saraduje
Ne saraduje	$S - B, S - B$	$V + S, V - Z$
Saraduje	$-B - Z, S - B$	$V - Z, V - Z$

Pojedinac	Svaki od ostalih	
	Ne saraduje	Saraduje
Ne saraduje	-10, -10	30, 10
Saraduje	-30, -10	10, 10

Slika 3: Matrica plaćanja u igra sa kolektivnim akcijama modelirana iz ugla hipotetičkog pojedinca: a) opšti oblik, b) ilustrativni primer

Sa slike 3b se može uočiti da je nesaradnja dominantna strategija iz ugla pojedinca, a saradnja iz ugla svih ostalih igrača posmatrano očima datog pojedinca. Rezultujući Nešov ekvilibrijum je situacija u kojoj pojedinac ne saraduje dok svi ostali saraduju. Ovakvo rešenje je logično samo ako se pretpostavi da se svi ostali osim tog pojedinca ponašaju na isti i racionalan način. U realnosti to nije slučaj, jer pojedinaca poput ovog iz primera ima veliki broj, i za svakog od njih ponaosob najviše se isplati da ne saraduju dok ostali saraduju. S obzirom da ovaj ekvilibrijum nije simetričan, ne može biti ni evoluciono stabilan.

Razmotrimo sada mnogo realniju varijantu igre sa dva igrača koji su u međusobnoj interakciji, imajući u vidu činjenicu da svaka dva pojedinca iz populacije, mogu da se nađu u datoj interakciji. Opšti oblik matrice plaćanja i ilustrativni primer za datu situaciju dati su na slici 4. Postavlja se pitanje koje ponašanje će za zadate parametre igre, prevagnuti u društvu.

Pojedinac	Drugi igrač	
	Ne saraduje	Saraduje
Ne saraduje	$S - B, S - B$	$V + S, V - Z$
Saraduje	$V - Z, V + S$	$V - Z, V - Z$

Pojedinac	Drugi igrač	
	Ne saraduje	Saraduje
Ne saraduje	-10, -10	30, 10
Saraduje	10, 30	10, 10

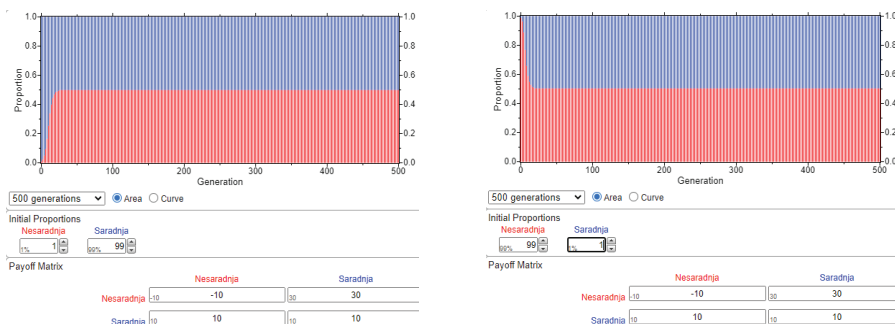
Slika 4. Matrica plaćanja u igri dva igrača: a) opšti oblik, b) ilustrativni primer

Sa slike 4b se može uočiti da igrači nemaju dominantne strategije, i da će svaki od njih izabrati saradnju samo ako drugi istovremeno izabere nesaradnju. U pitanju je interakcija koja spada u igre tipa antikoordinacije (Soko i golub). Iako postoje dva čista Nešova ekvilibrijuma, nijedan nije simetričan, tako da

čiste strategije ne mogu biti ESS. U mešovitom ekvilibrijumu, koji je simetričan i strog, a time i evoluciono stabilan, polovina igrača bira nesaradnju.

U cilju ilustracije evolucione dinamike i stabilnosti strategija za prethodno opisani primer, urađena je simulacija u onlajn *Evolutionary Game simulator Hoylab* (Wyttenbach, Kern Reeve & Hoy, 2011). Simulirana je dinamika saradnje/nesaradnje napopulaciji od 100 jedinki, tokom 500 generacija. U svakoj generaciji se sučeljavaju dve, slučajno uparene, jedinke iz populacije koje mogu da koriste istu ili različite strategije. Pobjednik je jedinka koja izabranom strategijom ostvaruje veću isplatu. U slučaju da se suoče različite strategije, pobjednička strategija postaje „naslednik“ gubitničke strategije, tako da u sledećoj generaciji obe jedinke igraju istu, jaču strategiju i sučeljavaju se sa nekim drugim naslednicima u sledećoj etapi. Rezultati simulacije prikazani su na slici 5.

U varijanti kada je u početnoj populaciji samo 1% ($p = 0.01$) onih koji ne saraduju, nakon 35 generacija, sistem dolazi u stabilno stanje, tj. pola pojedinaca saraduje a pola ne. Ista situacija je i u suprotnom slučaju, kada u početnoj populaciji samo 1% pojedinaca saraduje.



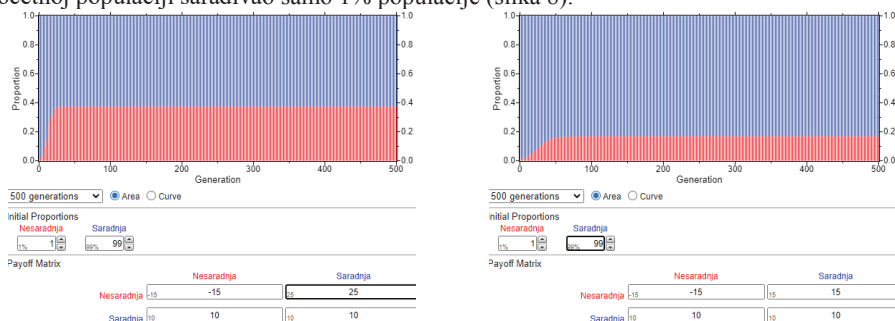
Slika 5. Rezultati simulacije ponašanja stanovništva

Razmotrimo sada situaciju u kojoj se nepoštovanje preporuka vezanih za samoizolaciju, nošenje maski i slično, dodatno materijalno kažnjava. Uvođenjem kazne za nesaradnju, iskazane u vidu troška c , matrica plaćanja dobija nešto drugačiji izgled (slika 6). Na osnovu rezultujućih isplata, može se uočiti da nesaradnja nikad neće biti Nešov ekvilibrijum, a samim tim ni ESS, dok će saradnja postati dominantna i evoluciono stabilna strategija za troškove kazne veće od 20. Postavlja se pitanje, koje ponašanje je evoluciono stabilno za troškove niže od 20.

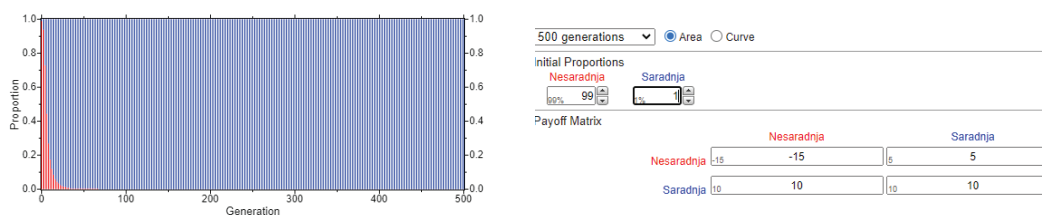
		Drugi igrač	
		Ne saraduje	Saraduje
Pojedinaac	Ne saraduje	$-10 - c, -10 - c$	$30 - c, 10$
	Saraduje	$10, 30 - c$	$10, 10$

Slika 6. Matrica plaćanja u igri dva igrača sa kaznom za nesaradnju

Na slici 7a su prikazani rezultati simulacije za vrednost troška 5 ($c = 5$), a na slici 7b za vrednost troška 15 ($c = 15$), a pod pretpostavkom da samo 1% početne populacije ne saraduje. U slučaju kada je dodatna kazna za nesaradnju 5, u 45 generaciji je dostignuta mešovita evoluciono stabilna strategija u kojoj 37.5% populacije ne saraduje. Povećanjem troška na 15, ovaj procenat se smanjuje na 16.67%. Porastom troška kazne na 25, sistem veoma brzo prelazi u stabilno stanje u kome cela populacija saraduje, čak i u slučaju kada u početnoj populaciji saradivao samo 1% populacije (slika 8).



Slika 7. Rezultati simulacije ponašanja u igri sa kaznom a) $c = 5$, b) $c = 15$



Slika 8. Rezultati simulacije 1 u igri sa kaznom $c = 25$

4. ZAKLJUČAK

Rad je imao za cilj da primenom evolucione teorije igara objasni ponašanje stanovništva za vreme vanredne situacije izazvane COVID-19. Iako bi se moglo očekivati da racionalni pojedinac uvek izabere ponašanje koje doprinosi njegovom zdravlju, praksa pokazuje da to nije uvek slučaj, i da su ljudi često vođeni drugim podsticajima. Evoluciona teorija igara može da pruži doprinos u modeliranju, simulaciji i analizi upravo ovakvih pojava na velikoj populaciji. Evoluciona teorija igara analizira dinamiku društvenog ponašanja, i identifikuje ESS, tj. strategije koje će „preživeti“ u nekoj populaciji, uzimajući u obzir ograničenu racionalnost pojedinaca. Ulustrativni primer je modeliran za hipotetičke vrednosti isplata u matrici plaćanja, koje se u realnosti mogu razlikovati, te bi za donošenje generalnijih zaključaka trebalo sprovesti detaljniju analizu uzimajući u obzir heterogenost stavova i preferencija ljudi.

U radu je pokazano kako se uvođenjem kazne za nesaradnju, tj. nepoštovanje mera, menja ponašanje populacije. To može da bude korisna informacija za kreatore politika u smislu izbora „optimalne“ visine kazne, koja će biti efektivna, ali ne i previše restriktivna. Analizom bi se moglo razmotriti i uvođenje nagrade za željeno ponašanje i istražiti efekti iste na saradnju.

LITERATURA

- [1] Axelrod, R. (1984). *The Evolution of Cooperation*. New York: Basic Books.
- [2] Babu, S., & Mohan, U. (2018). An integrated approach to evaluating sustainability in supply chains using evolutionary game theory. *Computers & operations research*, 89, 269-283.
- [3] Hammerstein, P., & Selten, R. (1994). Game theory and evolutionary biology. U R. Aumann, & S. Hart, *Handbook of Game Theory with economic Applications, Volume 2, Elsevier* (str. 929-993).
- [4] Harman, O. (2010). U *The Price of Altruism. Bodley Head* (str. Chapter 9).
- [5] Hodgson, G., & Huang, K. (2012). Evolutionary game theory and evolutionary economics: are they different species? *Journal of evolutionary economics*, 22(2), 345-366.
- [6] Kuzmanović, M. (2017). *Teorija igara*. Beograd: Fakultet organizacionih nauka.
- [7] Lewontin, R. (1961). Evolution and the theory of games. *Journal of theoretical biology*, 1(3), 382-403.
- [8] Maynard Smith, J. (1972). Game theory and the evolution of fighting. U *On Evolution* (str. 8–28). Edinburgh: Edinburgh University Press.
- [9] Maynard Smith, J. (1982). *Evolution and the Theory of Games*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [10] Maynard, S., & Price, G. (1973). The logic of animal conflict. *Nature*, 246(5427), 15-18.
- [11] Newton, J. (2018). Evolutionary game theory: A renaissance. *Games*, 9(2), 31.
- [12] Samuelson, L. (2002). "Evolution and game theory".
- [13] Tilman, A., Plotkin, J., & Akçay, E. (2020). Evolutionary games with environmental feedbacks. *Nature communications*, 11(1), 1-11.
- [14] Vincent, T., & Brown, J. (2005). Evolutionary Game Theory, Natural Selection, and Darwinian Dynamics. *Cambridge University Press*, 72-87.
- [15] Weibull, W. J. (1995). Evolutionary game theory. *MIT Press*.
- [16] Wyttenbach, R., Kern Reeve H., & Hoy, R., Evolutionary game simulator, 2011. Available at: <http://hoylab.cornell.edu/index.html>

*Višekriterijumska analiza i
optimizacija*

*Multicriteria Analysis and
Optimization*



EVALUACIJA I RANGIRANJE DRŽAVA PREMA EFIKASNOSTI PUBLIKOVANJA NAUČNIH RADOVA

EVALUATION AND RANKING OF COUNTRIES ACCORDING TO THE EFFICIENCY OF PUBLISHING SCIENTIFIC PAPERS

ANA KRSTIĆ, PREDRAG MIMOVIĆ

¹ Univerzitet u Kragujevcu – Ekonomski fakultet, Kragujevac, anakrstic@kg.ac.rs

² Univerzitet u Kragujevcu – Ekonomski fakultet, Kragujevac, mimovicp@kg.ac.rs

Rezime: Vrlo često se kao osnov za rangiranje država u smislu intenziteta i kvaliteta naučnih istraživanja koriste indikatori koji se odnose pre svega na broj publikovanih naučnih radova i njihovu citiranost. Jedan od popularnijih, ali i cenjenih portala u tom kontekstu je SCImago Journal & Country Rank, koji uključuje naučne časopise i naučne indikatore dobijene na osnovu informacija iz SCOPUS baze podataka. Ovi indikatori se koriste za ocenu naučnih oblasti, institucija, naučnih časopisa ili država, posebno ili kroz njihovu uporednu analizu. Na bazi istih indikatora, u ovom radu je primenjena DEA metoda, kako bi se kroz ocenu efikasnosti naučnih istraživanja, sa aspekta publikovanih naučnih radova, utvrdilo u kojoj meri rang država, utvrđen na SCImago Journal & Country Rank portal, odstupa od ranga dobijenog primenom DEA metode. Rezultati su pokazali značajna odstupanja, ali i očekivana podudaranja, posebno kod država u kojima su naučna istraživanja na visoko razvijenom nivou.

Ključne reči: naučni časopis, citiranost, efikasnost, DEA metod

Abstract: Indicators that refer primarily to the number of published scientific papers and their citation are very often used as a basis for ranking countries in terms of intensity and quality of scientific research. One of the most popular, but also respected portals in this context is SCImago Journal & Country Rank, which includes scientific journals and scientific indicators obtained on the basis of information from the SCOPUS database. These indicators are used to assess scientific fields, institutions, scientific journals or countries, separately or through their comparative analysis. Based on the same indicators, the DEA method was applied in this paper, in order to determine the degree of state, determined on the SCImago Journal & Country Rank portal, from the aspect of published scientific papers, from the aspect of published scientific papers, deviates from the rank obtained by DEA methods. The results showed significant deviations, but also expected coincidences, especially in countries where scientific research is at a highly developed level.

Keywords: scientific journal, citation, efficiency, DEA method

1. VRS DEA MODEL ZA OCENU I RANGIRANJE DRŽAVA PREMA EFIKASNOSTI PUBLIKOVANJA NAUČNIH ČASOPISA

U radu je primenjen VRS DEA model, sa izlaznom orijentacijom, s obzirom da je verovatnije da će promene u ulazima voditi nesrazmernim promenama u izlazima, te da je fokus na povećanju vrednosti izlaznih varijabli. U situacijama kada posmatrane jedinice odlučivanja ne rade na optimalnoj ekonomiji obima, izlazno orijentisani VRS (Variable Returns to Scale) DEA model u svojoj dualnoj formi (Banker et al, 1984, Gavgani & Zohrehbandian, 2014), glasi:

$$\begin{aligned} \min \sum_{j=1}^n v_j \times x_{j0} - w \\ \sum_{i=1}^m u_i \times y_{i0} = 1 \end{aligned} \quad (1)$$

p.o.

$$\sum_{i=1}^m u_i \times y_{ik} - \sum_{j=1}^n v_j \times x_{jk} + w \leq 0, k = 1, 2, \dots, h$$

Gde x_{jk} predstavlja iznos ulaza j , k -te jedinice odlučivanja (DMU), y_{ik} iznos izlaza i , k -te DMU, x_{j0} je iznos ulaza j posmatrane jedinice odlučivanja DMU₀, y_{i0} iznos njenog izlaza i , v_j težinski koeficijent kojim se izražava relativna važnost ulaza j posmatrane DMU, u_i težinski koeficijent njenog izlaza i , w faktor obima poslovanja, m broj ulaza u analizi, n broj izlaza, dok je h broj jedinica odlučivanja. VRS DEA model daje meru takozvane čiste tehničke efikasnosti koja ignoriše uticaj obima poslovanja tako što se k -ta DMU poredi samo sa drugim jedinicama sličnog obima. Čista tehnička efikasnost je uvek veća ili jednaka tehničkoj efikasnosti odlučivanja (detaljnije o DEA metodi videti u: Dyson et al. 2001; Sarkis, 2002, 2007; Sherman & Zhu, 2006; Cooper et al, 2007; Cook et al, 2005, 2014; etc.).

Polazne pretpostavke modela su:

- Posmatra se 48 prvorangiranih država¹, čiji je broj naučnih radova u periodu 1996-2018 godina bio veći od 110000²;
- Na osnovu podataka sa *SCImago Journal & Country Rank* portala, kao potencijalne ulazne promenljive u modelu, posmatrane su: I_1 – broj naučnih radova i I_2 – broj citiranih radova;
- Kao potencijalne Izlazne promenljive u modelu, posmatrane su: O_1 – ukupna citiranost, O_2 – ukupna samocitiranost, O_3 – citiranost po radu i $O_4 - H$ – indeks³;
- Izabran je orijentisan VRS DEA model, s obzirom da je verovatnije da će promene u ulazima voditi nesrazmernim promenama u izlazima, te da je fokus na povećanju vrednosti izlaznih varijabli;

Korelaciona analiza je pokazala da izlazna promenljiva O_3 – citiranost po radu, ne zadovoljava uslov izotonosti (Tabela 1), pa se eliminiše iz analize, dok izlazna promenljiva O_2 - ukupna samocitiranost spada u kategoriju tzv. neželjenih varijabli, pa se takođe izostavlja iz modela, tako da su izabrane varijable, odnosno njihova deskriptivna statistika, prikazane u tabeli 2.

Tabela 1 Matrica koeficijenata korelacije⁴

Varijabla vs. Varijabla	R
Broj citiranih naučnih radova vs. Broj naučnih radova	0,9989
Broj samocitata vs. Broj citata	0,9807
Broj citata vs. Broj naučnih radova	0,9534
Broj samocitata vs. Broj naučnih radova	0,9475
Broj citata vs. Broj citiranih naučnih radova	0,9394
Broj samocitata vs. Broj citiranih naučnih radova	0,9362
H indeks vs. Broj citata	0,8593
H indeks vs. Broj naučnih radova	0,8262
H indeks vs. Broj citiranih naučnih radova	0,8151
H indeks vs. Broj samocitata	0,7598
H indeks vs. Broj citata po naučnom radu	0,6517
Broj citata po naučnom radu vs. Broj citata	0,3393
Broj citata po naučnom radu vs. Broj samocitata	0,2330
Broj citata po naučnom radu vs. Broj naučnih radova	0,2200
Broj citata po naučnom radu vs. Broj citiranih radova	0,2039

Tabela 2 Deskriptivna statistika izabranih varijabli

Variable	I_1 - broj naučnih radova	I_2 - broj citiranih radova	O_1 - ukupna citiranost	$O_4 - H$ - indeks
max	12070144 (SAD)	10701848 (SAD)	297655815 (SAD)	2222 (SAD)
min	110610 (Indonezija)	106500 (Indonezija)	600569 (Indonezija)	214 (Indonezija)
mean	1086219,60	999427,22	19633742,5	621,25
SD	1947629,49	1758772,22	44364946	366,39

¹ Veličina uzorka je određena dužinom rada. Originalni uzorak broji više od 220 država, prim.aut.

² Izvor: <https://www.scimagojr.com/countryrank.php>

³ Isto

⁴ Koeficijenti korelacije su izračunati primenom softverskog paketa StatFi for Excel

2. REZULTATI MODELA

Tabela 3 Efikasnosti i rang država

SCImago rang	DMU	Efikasnost	Rang		Doprinos (Lambda)		Doprinos (Lambda)
1	SAD	1	1	SAD	1		
2	Kina	0,4918	45	SAD	0,284	Velika Britanija	0,716
3	Velika Britanija	1	1	SAD	1		
4	Nemačka	0,922	18	Velika Britanija	0,748	Kanada	0,252
5	Japan	0,7663	27	Velika Britanija	0,59	Kanada	0,41
6	Francuska	0,9417	14	Velika Britanija	0,22	Kanada	0,78
7	Kanada	1	1	Velika Britanija	1		
8	Italija	0,8648	24	Kanada	1		
9	Indija	0,5235	44	Kanada	0,928	Švajcarska	0,072
10	Španija	0,8005	25	Kanada	0,644	Švajcarska	0,356
11	Australija	0,8878	22	Kanada	0,604	Švajcarska	0,396
12	Južna Koreja	0,6311	36	Kanada	0,382	Švajcarska	0,618
13	Rusija	0,5489	41	Kanada	0,354	Švajcarska	0,646
14	Holandija	1	1	Kanada	0,999		
15	Brazil	0,5525	40	Holandija	0,22	Švajcarska	0,78
16	Švajcarska	1	1	Kanada	1		
17	Tajvan	0,5375	42	Švajcarska	0,835	Danska	0,165
18	Švedska	0,9353	17	Švajcarska	0,827	Danska	0,173
19	Poljska	0,5886	37	Švajcarska	0,826	Danska	0,174
20	Turska	0,4806	47	Švajcarska	0,615	Danska	0,385
21	Belgija	0,9377	16	Švajcarska	0,433	Danska	0,567
22	Iran	0,3711	48	Švajcarska	0,382	Danska	0,618
23	Danska	1	1	Švajcarska	1		
24	Austrija	0,8885	21	Danska	0,967	Irsko	0,033
25	Izrael	0,9698	11	Danska	0,911	Irsko	0,089
26	Finska	0,9552	12	Danska	0,689	Irsko	0,311
27	Češka Republika	0,6801	34	Danska	0,644	Irsko	0,356
28	Meksiko	0,6647	35	Danska	0,601	Irsko	0,399
29	Grčka	0,7571	29	Danska	0,588	Irsko	0,412
30	Norveška	0,9512	13	Danska	0,561	Irsko	0,439
31	Portugal	0,7604	28	Danska	0,521	Irsko	0,479
32	Singapur	0,9085	20	Danska	0,465	Irsko	0,535
33	Hong Kong	0,8843	23	Danska	0,445	Irsko	0,555
34	Malezija	0,483	46	Danska	0,432	Irsko	0,568
35	Južna Afrika	0,7471	30	Danska	0,36	Irsko	0,64
36	Novi Zeeland	0,9392	15	Danska	0,18	Irsko	0,82
37	Argentina	0,7975	26	Danska	0,022	Irsko	0,978
38	Irsko	1	1	Danska	1		
39	Egipat	0,5359	43	Irsko	0,987	Slovačka	0,013
40	Rumunija	0,5744	38	Irsko	0,928	Slovačka	0,072
41	Mađarska	0,9151	19	Irsko	0,866	Slovačka	0,134
42	Ukrajina	0,5601	39	Irsko	0,831	Slovačka	0,169
43	Saudijska Arabija	0,7115	32	Irsko	0,761	Slovačka	0,239
44	Tajland	0,7348	31	Irsko	0,712	Slovačka	0,288
45	Pakistan	0,6869	33	Irsko	0,429	Slovačka	0,571
46	Čile	0,9987	10	Irsko	0,384	Slovačka	0,616
47	Slovačka	1	1	Irsko	1		
48	Indonezija	0,9998	9	Slovačka	0,001	Indonezija	0,999

Deskriptivna statistika je pokazala da najbolje naučnoistraživačke performanse u smislu publikovanja i kvaliteta naučnih radova očekivano imaju Sjedinjene Američke Države, a najlošije Indonezija, što ih na SCImago listi rangira na prvo, odnosno 48. mesto (Tabela 3). Analiza rezultata dobijenih primenom DEA modela, pokazuje da je većina najrazvijenijih država na granici VRS naučne efikasnosti, posmatrano sa aspekta publikovanih naučnih radova i njihove citiranosti. Osim toga, Sjedinjenene Američke Države su prema ostvarenoj efikasnosti rangirane na prvom mestu, kao i na SCImago rang listi. Rang 1, prema ostvarenoj efikasnosti imaju i Velika Britanija, Kanada, Holandija, Švajcarska, Irsko, Čile i Slovačka. Najveće odstupanje je u slučaju Kine, čija je naučna efikasnost na svega 50% najbolje prakse, čime je rangirana na 45 mesto, nasuprot drugom mestu na SCImago listi, kao i Indije, čija je efikasnost na 52% referentne efikasnosti, a rang 44., naspram 9. mesta na SCImago listi (Tabela 3). Odličan rezultat Čilea i Slovačke, na obe liste, takođe nije iznenađenje, imajući u vidu izdvajanja iz BDP-a u razvoj nauke.

ZAKLJUČAK

Na osnovu izvršene analize naučne efikasnosti posmatranih država, moglo bi se zaključiti, da su razne postojeće liste i baze, za evaluaciju, rangiranje i klasifikaciju akademskih i istraživačkih aktivnosti na svim nivoima, korisne u smislu analize informacija povezanih sa rezultatima istraživanja, ali ih činjenica da se baziraju na kriterijumima formulisanim na bazi konvencije, u dobroj meri opredeljuje i relativizuje. Prosečna naučna efikasnost posmatranih država u periodu je bila na 80% granice efikasnosti, što se ne može smatrati dobrim rezultatom i potvrđuje stav da rastući kvantitet publikovanih naučnih radova produkuje kvalitet, ali ne u odgovarajućoj srazmeri, što utiče na naučnu konkurentnost, kako na personalnom tako i na institucionalnom nivou.

PRIOLOG

Tabela 4 Vrednosti izabranih ulaznih i izlaznih varijabli za ocenu

SCImago Rang	Država	Broj naučnih radova	Broj citiranih radova	Broj citata	Broj samocitata	Broj citata po radu	H indeks
1	SAD	12070144	10701848	297655815	134368758	24,66	2222
2	Kina	5901404	5785424	48833849	27480980	8,27	794
3	Velika Britanija	3449243	2935537	77355297	17558272	22,43	1373
4	Nemačka	3019959	2787096	61262766	14946684	20,29	1203
5	Japan	2750108	2630141	42767077	11167050	15,55	967
6	Francuska	2120161	1969558	42219660	8847163	19,91	1094
7	Kanada	1744508	1569064	39431612	6894236	22,6	1102
8	Italija	1744314	1587823	32252528	7441940	18,49	953
9	Indija	1670099	1551015	15035059	5135044	9	570
10	Španija	1376358	1262302	23570723	5251983	17,13	830
11	Australija	1362848	1204470	27018516	5566860	19,83	914
12	Južna Koreja	1105110	1067096	14306940	2832984	12,95	624
13	Rusija	1076966	1051744	7801977	2543017	7,24	540
14	Holandija	966986	872993	25586850	3854314	26,46	957
15	Brazil	938352	888530	10225275	3363421	10,9	530
16	Švajcarska	710672	648991	19461396	2459376	27,38	919
17	Tajvan	658383	633680	8757902	1645666	13,3	475
18	Švedska	655869	604085	16383158	2356818	24,98	825
19	Poljska	655485	627632	6683506	1685997	10,2	519
20	Turska	588326	546684	5873898	1310390	9,98	402
21	Belgija	530736	486066	12126138	1562150	22,85	748
22	Iran	514496	495227	4281547	1541742	8,32	292
23	Danska	393204	357963	10115806	1353641	25,73	705
24	Austrija	386992	353818	7959145	994419	20,57	620
25	Izrael	376506	344498	8735337	1101345	23,2	665
26	Finska	334763	311398	7553739	1078823	22,56	609
27	Češka Republika	326336	313365	3681392	798131	11,28	427
28	Meksiko	318095	298719	3760403	737110	11,82	411
29	Grčka	315659	286922	5158164	756973	16,34	466
30	Norveška	312012	280277	6477670	943274	20,76	580
31	Portugal	303053	278728	4535588	804103	14,97	457
32	Singapur	292560	269110	5656862	632326	19,34	535
33	Hong Kong	288889	267358	5795913	667617	20,06	517
34	Malezija	286411	274464	2107306	533423	7,36	281
35	Južna Afrika	272886	247039	3677627	771119	13,48	423
36	Novi Zealand	240206	212840	4741458	654764	19,74	495
37	Argentina	209294	196041	3059605	596324	14,62	393
38	Irska	205128	180977	4033667	428413	19,66	488
39	Egipat	203952	195777	1933453	378635	9,48	260
40	Rumunija	198390	190878	1411797	317095	7,12	271
41	Mađarska	192565	181716	2952020	438879	15,33	419
42	Ukrajina	189265	185052	1197463	323584	6,33	252
43	Saudijska Arabija	182753	173495	1946422	306548	10,65	309
44	Tajland	178133	168248	2043065	318580	11,47	311
45	Pakistan	151607	143723	1226159	310677	8,09	247
46	Čile	147389	139063	2082880	389445	14,13	349
47	Slovačka	111356	107531	1084641	205831	9,74	263
48	Indonezija	110610	106501	600569	113900	5,43	214

Izvor: <https://www.scimagojr.com/countryrank.php>

LITERATURA

- [1] Banker, R.D., Charnes, A., Cooper, W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiency in data envelopment analysis, *Management Science*, 30(9), 1078–1092,
- [2] Cooper, W., Seiford, M., Tone, K. *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*, Kluwer Academic Publishers, 2007.
- [3] Cook, W.D., Wade D., Zhu, J. (Eds.) *Modeling Performance Measurement Applications and Implementation Issues in DEA*, Springer, 2005.
- [4] Cook, W.D., Wade D., Zhu, J. (Eds.) *Data Envelopment Analysis: A Handbook of Modeling Internal Structure and Network*, Springer, 2014.
- [5] Dyson, R.G., Allen, R., Camanho, A.S., Podinovski, V.V., Sarrico, C.S., Shale, E.A.(2001). Pitfalls and protocols in DEA, *European Journal of Operational Research*, 132, 245-259.
- [6] Gavvani, S., Zohrebandian, M. (2014). A Cross-Efficiency Based Ranking Method for Finding the Most Efficient DMU, *Mathematical Problems in Engineering*, 1-6, <https://doi.org/10.1155/2014/269768>
- [7] Sarkis, J. Preparing Your Data for DEA, Chapter 4 in Avkiran N.: *Productivity Analysis in the Service Sector with Data Envelopment Analysis*, 2nd edition, N K Avkiran, UQ Business School, The University of Queensland, Australia, 2002.
- [8] Sarkis, J. Preparing your data for DEA. In *Modeling data irregularities and structural complexities in data envelopment analysis*: 305-320, Springer US, 2007.
- [9] Sherman, H. D., Zhu, J. *Service Productivity Management: Improving Service Performance Using Data Envelopment Analysis (DEA)*. Springer Science & Business Media: Boston, MA, USA, 2006.

Internet izvori:

- [10] <https://www.scimagojr.com/countryrank.php>

A HYBRID MCDM FRAMEWORK FOR SOLVING THE PROJECT MANAGEMENT SOFTWARE SELECTION PROBLEM

SANJA PUZOVIĆ¹, JASMINA VESIĆ VASOVIĆ², VLADAN PAUNOVIĆ³, ZORAN NEŠIĆ⁴

¹ University of Kragujevac – Faculty of Technical Sciences, Čačak, sanja.puzovic@ftn.kg.ac.rs

² University of Kragujevac – Faculty of Technical Sciences, Čačak, jasmina.vesic@ftn.kg.ac.rs

³ University of Kragujevac – Faculty of Technical Sciences, Čačak, vladan.paunovic@ftn.kg.ac.rs

⁴ University of Kragujevac – Faculty of Technical Sciences, Čačak, zoran.nesic@ftn.kg.ac.rs

Abstract:

As projects have become an important way to generate business value, the use of the IT systems that facilitate work, management of and collaboration on projects is becoming inevitable; hence, Project Management (PM) software selection problems are becoming even more challenging. The paper is aimed at providing guidance for organizations in the selection of a PM software package, supported by the Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methodology, depending upon the project environment, complexity or type, as well as specific needs concerning project planning or control processes. In the paper, a hybrid MCDM methodology for the assessment and ranking of PM software is proposed. The proposed approach is based upon the Complex Proportional Assessment (COPRAS) method, employed for software performance evaluation, and the Analytic Hierarchy Process (AHP) methodology for criteria prioritization, integrated with the fuzzy set theory aimed at avoiding the problem of uncertainties and ambiguities.

Keywords: Project Management software support, MCDM, Fuzzy set theory, AHP, COPRAS,

1. INTRODUCTION

Projects have become an important route to generating business value and benefits for organizations (Barghoth *et al.* 2020). According to Meredith *et al.* (2017), the PM concept has emerged as a response to the characteristics of the contemporary society's demand for the development of new management methods; it was spawned by forces such as the exponential expansion of human knowledge, a growing demand for a broad range of complex, sophisticated and customized goods and services, and the evolution of worldwide competitive markets for the production and consumption of goods and services.

PM is defined as scientifically based and empirically confirmed methods for planning, organizing, directing and controlling a company's resources for a relatively short-term objective established in order to achieve specific goals and objectives. (Kerzner 2017). Many of those PM tools and techniques are easily available as a part of integrated software packages – the PM software.

In fact, to deliver projects on time and within a budget in a complex and uncertain project environment, using the PM software as Information and Communication Technology (ICT) systems for working on projects, project management and collaboration on them is becoming inevitable. Those ICT systems help teams to handle common problems, such as slipped deadlines, by automatically rescheduling the tasks affected by them. Their use provides an overview of all projects in the pipeline, enables team members and outside partners to keep an eye on every detail that brings a project to fruition in real-time workspaces, provides nitty-gritty details about the daily work done to move projects forward, the resource management and report generating tools that allow managers to gain an insight into the project success and so on.

There are numerous studies (Aguilera *et al.* 2017, McMahon 2016, Liberatore and Pollack-Johnson 2003) that indicate the extent to which PM software packages are used in practice, how they are used and why they are selected. However, there is a lack of the studies that would provide guidelines or a methodology for the evaluation and selection of PM software support, depending upon the organizational work environment and the specific needs concerning the project type and complexity, or requirements for project planning and the control process. For that purpose, the application of MCDM methods as a rational and comprehensive approach is proposed in this paper. The MCDM concept is an approach often used in solving business software selection problems. In order to overcome complex advanced planning and scheduling software selection problems, Piengang *et al.* (2019) proposed an approach which integrates a modified version of the Fuzzy Quality Function Development (QFD) to the fuzzy AHP and the fuzzy Višekriterijumsko

Kompromisno Rangiranje (VIKOR) methods. The authors Hanine *et al.* (2016) proposed an approach based on the AHP and Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) methods for the evaluation of the Extract, transform and load software. Jafarnejad *et al.* (2012) used a combination of the Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) method and the Fuzzy AHP method for the Enterprise Resource Planning (ERP) system selection. For the same purpose, Sagnak and Kazancoglu (2019) proposed the Integra-Fuzzy ANP and 0-1 goal programming.

2. PROPOSED METHODOLOGY

The proposed approach is aimed at supporting the process of PM software evaluation by combining two MCDM methods. Namely, the COPRAS method, which will be used to evaluate the software performance, and the AHP method, which will be used to prioritize the criteria, integrated with fuzzy set theory in order to successfully deal with uncertainty due to imprecision and ambiguity.

2.1. Fuzzy Analytic Hierarchy Process

In this paper, the criteria will be prioritized by using the extent analysis method, introduced in the Fuzzy AHP by Chang (1992). The AHP is an MCDM method (Saaty 1980) which allows rational problem solving by structuring it into a hierarchy of decision-making elements (a goal, criteria and alternatives), and by systematically evaluating them by means of a pairwise comparison. The integration of fuzzy set theory within the AHP process is oriented towards the rationality of uncertainty due to imprecision or vagueness. The criteria prioritization process will be divided into three steps:

Step 1: The construction of a fuzzy pairwise comparison matrix $\tilde{A} = \{\tilde{a}_{ij}\}_{n \times n}$ (1), where \tilde{a}_{ij} represents the preference relation of the criterion i over the criterion j , (i and $j = 1, \dots, n$) expressed as language statements, for example: “Equally important”, “Weakly more important”... (Table 1).

$$\tilde{A} = \{\tilde{a}_{ij}\}_{n \times n} = \begin{pmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

In order to successfully deal with the imprecise or vague nature of the linguistic assessments, fuzzy set theory is introduced; namely, these preference relations are quantified by triangular fuzzy numbers, according to the scale given in Table 1.

Table 1: The fuzzified criteria evaluation scale

Fuzzy number	Linguistic scale	Fuzzy scale	Reciprocal fuzzy scale
$\tilde{1}$	Equally important	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
$\tilde{3}$	Weakly important	(2, 3, 4)	(0.25, 0.33, 0.5)
$\tilde{5}$	Essentially important	(4, 5, 6)	(0.17, 0.2, 0.25)
$\tilde{7}$	Very strongly important	(6, 7, 8)	(0.13, 0.14, 0.17)
$\tilde{9}$	Absolutely important	(9, 9, 9)	(0.11, 0.11, 0.11)
\tilde{x}	Between two adjacent judgments	(x-1, x, x+1)	(1/x+1, 1/x, 1/x-1)

The established fuzzy pairwise comparison matrix is defuzzified and checked for consistency. If there is no consistency, the matrix is formed again. The Consistency Index (CI) is obtained as in (2), where λ_{max} is Maximum Eigenvalues of pairwise comparison matrix, and n is the number of criteria. The Consistency Rate (CR) is computed as in (3). The Random Consistency Index (RI) is fixed value and is based on the number of evaluated criteria.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} < 10\% \quad (3)$$

If the decision-making process involves several decision makers (DMs) of equal importance, their assessments provided in the form of individual fuzzy pairwise matrices could be aggregated by the fuzzy geometric mean method (4). Where \tilde{m}_{ij} is element of the aggregated fuzzy pairwise matrix, \tilde{a}_{ijk} is preference relation of the criterion i over the criterion j given by the k^{th} DM, and g is total number of DMs.

$$\tilde{m}_{ij} = \left(\prod_{k=1}^g \tilde{a}_{ijk} \right)^{\frac{1}{g}} \quad (4)$$

Step 2: The procedure further involves the calculation of the fuzzy synthetic extent value S_j with the respect on the i^{th} criterion based on the established aggregate fuzzy pairwise comparison matrix, as described in (5), where $\tilde{m}_{ij} = (l_i, f_i, u_i)$

$$S_i = \sum_{j=1}^n \tilde{m}_{ij} \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{m}_{ij} \right]^{-1} = \left(\frac{l_i}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i}, \frac{u_i}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (5)$$

Step 3: This step implies criteria prioritization through the following procedure. Firstly it is necessary to calculate possibility that $\tilde{S}_i = (l_i, f_i, u_i) \geq \tilde{S}_j = (l_j, f_j, u_j)$ ($i, j = 1, \dots, n$), this possibility could be expressed as in (6) and (7).

$$V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j) = \mu_{\tilde{S}_i}(d) = \begin{cases} 1, & \text{if } f_i \geq f_j \\ 0, & \text{if } l_j \geq u_i \\ \frac{l_j - u_i}{(f_i - u_i) - (f_j - l_j)}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

$$V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j) = hgt(\tilde{S}_j \cap \tilde{S}_i) = \mu_{\tilde{S}_i}(d) \quad (7)$$

The degree of the possibility of obtaining a convex fuzzy number could be calculated as follows:

$$V(\tilde{S} \geq \tilde{S}_1, \tilde{S}_2, \dots, \tilde{S}_n) = [V(\tilde{S} \geq \tilde{S}_1) \text{ and } \dots \text{ and } V(\tilde{S} \geq \tilde{S}_n)] = \min V(\tilde{S} \geq \tilde{S}_{1, \dots, n}) \quad (8)$$

As $\tilde{d}(\tilde{S}_i) = \min V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_{1, \dots, n})$, then the fuzzy vector weight is given by (9).

$$\tilde{W}_i = (\tilde{d}(\tilde{S}_1), \tilde{d}(\tilde{S}_2) \dots \tilde{d}(\tilde{S}_n)) \quad (9)$$

In order to obtain the normalized vector, defascification could be performed by (10).

$$W_i = (d(S_1), d(S_2) \dots d(S_n)) \quad (10)$$

2.2 Complex Proportional Assessment Method

COPRAS is a MADM method which provides a solution and a ratio to the ideal and the worst-ideal solution, and was introduced by Zavadskas *et al.* (1994). COPRAS process consists of the steps listed below:

Step 1: The establishment of a decision-making matrix $X = [x_{ih}]_{n \times c}$, with c alternatives and n attributes (evaluation criteria), as in (11):

$$X = [x_{ih}]_{n \times c} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1c} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2c} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nc} \end{bmatrix} \quad (11)$$

where x_{ih} is the value of the h^{th} alternative with respect to the i^{th} criterion ($i = 1, \dots, n, h = 1, \dots, c$).

Step 2: The normalization of the decision matrix X . Normalized performance values (\bar{x}_{ih}) are obtained by using the following equation:

$$\bar{x}_{ih} = \frac{x_{ih}}{\sum_{h=1}^c x_{ih}} \quad (12)$$

Step 3: The establishing of a weighted normalized decision matrix $\hat{X} = [\hat{x}_{ih}]_{n \times c}$ according to (13):

$$\hat{x}_{ih} = \bar{x}_{ih} \cdot W_i \quad (13)$$

where W_i is the weight of the i^{th} criterion.

Step 4: Further, it is necessary to calculate the sums of weighted values for both, the beneficial criteria (maximization is a direction for optimization) - P_h and non-beneficial criteria (minimization is a direction for optimization) - R_h by using the Equations (14), where \hat{x}_{+ih} stands for the weighted values for the beneficial criteria and \hat{x}_{-ih} stands for weighted values for the non-beneficial criteria

$$P_h = \sum_{i=1}^n \hat{x}_{+ih}, R_h = \sum_{i=1}^n \hat{x}_{-ih} \quad (14)$$

Step 5: The determination of the relative significance of alternatives can be performed by applying Equation (15), where R_{min} is the minimum value of R_h . The optimal alternative is the alternative with the maximum value of relative significance ($max Q_h$).

$$Q_h = P_h + \frac{R_{min} \cdot \sum_{h=1}^c R_h}{R_h \cdot \sum_{h=1}^c R_{min} / R_h} \quad (15)$$

Step 6: The last step implies the determination of the utility degree of each alternative (N_h). Based upon the utility values of an alternative, a complete ranking is obtained: the greater the value of N_h , the higher the priority of the alternative.

$$N_h = \frac{Q_h}{Q_{max}} \cdot 100\% \quad (16)$$

3. THE CASE STUDY

The presented MCDM problem involves the assessment and ranking of the alternative PM software. The team of decision-makers involved throughout the PM software selection process generated the following 10 alternatives: A_1 – Wrike; A_2 – Asana; A_3 – Smartsheet; A_4 – MeisterTask; A_5 – ClickUp; A_6 – Microsoft Project; A_7 – Monday.com; A_8 – Samepage; A_9 – Teamwork and A_{10} – JIRA.

Measuring and understanding the total suitability of those alternatives against the global goal requires the recognition of different evaluation aspects personified through multiple evaluation criteria. The criteria address the features that are important to analyze the quality of the software, taking into consideration the requirements set by the project team. The features that need to be evaluated are selected by brainstorming with the members of the decision-making team, these features/evaluating criteria involving:

- C₁: Pricing** – including the license price, the cost of upgrading, the costs of implementation and training;
- C₂: User support** – including various types of services facilitating the software selection, installation, use and upgrading, such services implying training programs, consulting, how-to-use guides, installation guides and forums/blogs for users;
- C₃: Project planning, scheduling and reporting options** – including planning tools, assigning project tasks to team members, and using various views such as a grid, a dashboard and a timeline so as to monitor a plan; and premade reports in order to track the progress of project resources, programs, and portfolios;
- C₄: Collaboration options** – including the tools that enable effective communication and collaboration with team members (e.g. data sharing, simultaneous editing and updating of to-do lists, project schedules.);
- C₅: Portfolio management options** – tools that facilitate project management, evaluation, prioritization and selection and the allocation of organizational resources to the project in line with the strategy;
- C₆: Resource management options** – including options for resource allocation and monitoring their use during the project in order to optimize tasks;
- C₇: Technical limitations** – limitations related to the software compatibility with the existing hardware platforms or software platforms, requirements related to the server, or other technical preconditions.

The scales which were used for alternatives evaluation according to each of the considered criteria are established as follows: C₁ (5-15); C₂ (0-1); C₃ (0-10); C₄ (0-10); C₅ (0-1.5); C₆ (0-10); C₇ (0-10).

The remaining evaluation process involves the estimation of criteria weights and the evaluation of the PM software performance, depending upon the organizational work environment and the specific needs concerning the project type and complexity, or requirements for the project planning and control.

3.1. Criteria Weight estimation by Fuzzy AHP

Step 1: The group of three DMs of has been involved within criteria prioritization process, their judgments were considered with equal importance. The aggregate fuzzy pairwise comparison matrix (Table 2) is established according to the attitudes of individual DMs towards the preferences related to the importance of the considered criteria.

Table 2: The aggregated fuzzy comparison matrix for the relative importance of the criteria

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
C ₁	(1,1,1)	(0.5,0.69,1)	(0.35,0.41,0.5)	(0.55,0.69,0.91)	(1.26,1.44,1.59)	(1.1,1.44,1.82)	(0.35,0.41,0.5)
C ₂	(1,1.44,2)	(1,1,1)	(0.35,0.41,0.5)	(0.63,0.82,1.14)	(1,1.44,2)	(0.5,0.69,1)	(1,1,1)
C ₃	(2,2.47,2.88)	(2,2.47,2.88)	(1,1,1)	(0.50,0.69,1)	(1,1.19,1.44)	(0.55,0.58,0.63)	(1.59,2.08,2.52)
C ₄	(1.1,1.44,1.82)	(0.87,1.22,1.59)	(1,1.44,2)	(1,1,1)	(1,1.44,2)	(0.25,0.33,0.5)	(1.26,1.44,1.59)
C ₅	(0.63,0.69,0.79)	(0.5,0.69,1)	(0.69,0.84,1)	(0.50,0.69,1)	(1,1,1)	(1.1,1.44,1.82)	(0.79,1,1.26)
C ₆	(0.55,0.69,0.91)	(1,1.44,2)	(1.59,1.71,1.82)	(2,3,4)	(0.55,0.69,0.91)	(1,1,1)	(1.26,1.44,1.59)
C ₇	(2,2.47,2.88)	(1,1,1)	(0.4,0.48,0.63)	(0.63,0.69,0.79)	(0.79,1,1.26)	(0.63,0.6,0.79)	(1,1,1)

Those subjective preferences are expressed in the form of the language statements that are further transformed into TFNs according to the fuzzy scale presented in Table 1. The aggregation process is performed by calculating the fuzzy geometric mean of the individual matrices according to (4). Consistency test of the individual pairwise comparison matrices generated by DMs is conducted according to (2,3), the results obtained are: $RI = 1.32$, for $n = 7$; Consistency Indexes are $CI_1 = 0.045$, $CI_2 = 0.072$, $CI_3 = 0.103$;

and Consistency Rates are $CR_1 = 3.41\%$, $CR_2 = 5.43\%$, $CR_3 = 7.83\%$. Since all CR s are less than 10%, the matrices can be considered to be consistent.

Step 2: On the basis of the established aggregate fuzzy pairwise comparison matrix (Table 2), fuzzy synthetic extent value is calculated for each considered criterion by (5). The results are listed in Table 3.

Step 3: Criteria prioritization is carried out on the basis of the minimum degree of the possibility of the superiority of one criterion over another ($V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j)$) (6-8). According to the obtained values, a possibility matrix is established (Table 3), being the basis for the calculation of the weight vector (\tilde{W}) and the normalized weight vector (W), obtained by applying Equations (9) and (10), the results are shown in Table 3.

Table 3: The Synthetic Extent Values, Possibility Matrix and the weight vectors for the considered criteria

	\tilde{S}_i	$V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j)$							\tilde{W}	W
		C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇		
C ₁	(0.08,0.1,0.16)	-	0.86	0.29	0.62	0.94	0.38	0.74	0.293	0.068
C ₂	(0.08,0.12,0.19)	1	-	0.48	0.78	1	0.56	0.91	0.485	0.112
C ₃	(0.13,0.19,0.27)	1	1	-	1	1	1	1	1	0.231
C ₄	(0.10,0.15,0.23)	1	1	0.73	-	1	0.79	1	0.726	0.168
C ₅	(0.08,0.11,0.17)	1	0.92	0.38	0.69	-	0.46	0.82	0.379	0.088
C ₆	(0.12,0.18,0.27)	1	1	0.94	1	1	-	1	0.94	0.218
C ₇	(0.10,0.13,0.18)	1	1	0.50	0.83	1	0.58	-	0.497	0.115

The results obtained by the criteria prioritization process are indicative of the fact that the most significant evaluation criterion is *Project planning, scheduling and reporting options* (0.231). Also, the criterion named *Resource Management options* was assessed as an important evaluation criterion, whose estimated relative weight is 0.218. The criteria such as *Collaboration option* (0.168), *Technical limitations* (0.115) and *User support* (0.112) were assessed as the criteria of somewhat lower importance for the evaluation. The criteria named *Pricing Portfolio* and *Management options* will have the least impact on the final evaluation.

3.2. Project Management Software Performance Evaluation by COPRAS

Step 1: The decision-making matrix for the problem of the evaluation of the PM software performance (Table 4) is established in accordance with the decision-makers' attitudes.

Table 4: Decision-making matrix for the problem of PM software evaluation

Alternative	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀
C ₁ Min	9.8	10.99	14	12	5	10	39	7.5	9	10
C ₂ Max	0.65	0.78	0.85	0.58	1	0.7	0.8	0.6	0.72	0.4
C ₃ Max	5.6	9.2	7.6	3.2	8	6	7.8	5.2	5.2	4.4
C ₄ Max	6	7	8	2	9	8	4	3	3	2
C ₅ Max	0.6	0.9	1.2	0.2	0.7	0.4	0.8	0.5	0.4	0.9
C ₆ Max	4.4	7.6	6.6	3	4.2	7.2	4.6	3.6	2.8	2.6
C ₇ Min	4	2	7.6	5	3	6.2	5	5.6	8.2	4

Step 2: Equation (12) is used to obtain a normalized decision-making matrix (Table 5). By normalization, dimensionless assessments are achieved according to different criteria, which make these values comparable.

Table 5: Normalized decision-making matrix for the problem of PM software evaluation

Alternative	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀
C ₁ Min	0.077	0.086	0.110	0.094	0.039	0.079	0.306	0.059	0.071	0.079
C ₂ Max	0.092	0.110	0.120	0.082	0.141	0.099	0.113	0.085	0.102	0.056
C ₃ Max	0.090	0.148	0.122	0.051	0.129	0.096	0.125	0.084	0.084	0.071
C ₄ Max	0.115	0.135	0.154	0.038	0.173	0.154	0.077	0.058	0.058	0.038
C ₅ Max	0.091	0.136	0.182	0.030	0.106	0.061	0.121	0.076	0.061	0.136
C ₆ Max	0.094	0.163	0.142	0.064	0.090	0.155	0.099	0.077	0.060	0.056
C ₇ Min	0.079	0.040	0.150	0.099	0.059	0.123	0.099	0.111	0.162	0.079

Step 3: The weighted matrix is obtained by (13), multiplying the elements of the normalized matrix (Table 5) by the relative weights of the criteria (Table 3). The results obtained in the previously conducted evaluation procedure by means of the Fuzzy AHP method were used for the relative weights of the criteria (Table 6).

Steps 4, 5 and 6: Table 7 shows the values of P_h , R_h (14), the relative significance of the alternatives calculated by applying Equation (15), and the utility degree of each alternative (N_h) obtained by (16).

Table 6: Weighted normalized decision-making matrix for the problem of PM software evaluation

Alternative		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀
C ₁	Min	0.0052	0.0059	0.0075	0.0064	0.0027	0.0053	0.0208	0.0040	0.0048	0.0053
C ₂	Max	0.0103	0.0123	0.0134	0.0092	0.0158	0.0111	0.0127	0.0095	0.0114	0.0063
C ₃	Max	0.0208	0.0342	0.0282	0.0119	0.0297	0.0223	0.0290	0.0193	0.0193	0.0163
C ₄	Max	0.0194	0.0226	0.0258	0.0065	0.0291	0.0258	0.0129	0.0097	0.0097	0.0065
C ₅	Max	0.0080	0.0120	0.0160	0.0027	0.0093	0.0053	0.0107	0.0067	0.0053	0.0120
C ₆	Max	0.0206	0.0356	0.0309	0.0140	0.0196	0.0337	0.0215	0.0168	0.0131	0.0122
C ₇	Min	0.0091	0.0045	0.0173	0.0114	0.0068	0.0141	0.0114	0.0127	0.0186	0.0091

Table 7: Relative significance and utility values of the considered alternatives

Alternative	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀
P_h	0.079	0.117	0.114	0.044	0.104	0.098	0.087	0.062	0.059	0.053
R_h	0.014	0.010	0.025	0.018	0.009	0.019	0.032	0.017	0.023	0.014
Q_h	0.1	0.145	0.126	0.061	0.135	0.113	0.096	0.080	0.071	0.074
$N_h(\%)$	68.72	100	87.14	41.94	92.87	78.22	66.15	54.92	49.25	50.84
Rank	5	1	3	10	2	4	6	7	9	8

4. CONCLUSION

In the paper, an MCDM approach is proposed as support in the selection of the optimal software support for the implementation of the PM concept in the management of complex business ventures. The applicability and capability of the COPRAS method while solving a complex problem of PM software selection are emphasized herein. The incorporation of fuzzy set theory into the AHP criteria prioritization process enables successful dealing with uncertainty due to imprecision and ambiguity, and provides more consistent and more precise criteria weights in comparison with those provided merely on the basis of the decision maker's intuition. The main aim of the proposed concept lying behind the methodology is to be objective and effective, thus providing reliable results.

ACKNOWLEDGMENT

This study was supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia, and the results are parts of the Grant No.451-03-68/2020-14/200132 with University of Kragujevac - Faculty of Technical Sciences Čačak.

REFERENCES

- [1] Aguilera, C., Villalobos, M. T., & Dávila, A. (2017). Impact of organizational and user factors on the acceptance and use of project management software in the medium-sized company in Lima. In International Conference on Software Process Improvement (pp. 274-284). Springer, Cham.
- [2] Barghoth, M. E., Salah, A., & Ismail, M. A. (2020). A Comprehensive Software Project Management Framework. *Journal of Computer and Communications*, 8(03), 86.
- [3] Chang, D. Y. (1992). Extent analysis and synthetic decision. *Optimization Techniques and Applications*, 1(1), 352-355.
- [4] Hanine, M., Boutkhoul, O., Tikniouine, A. (2016). Application of an integrated multi-criteria decision making AHP-TOPSIS methodology for ETL software selection. *SpringerPlus*, 5(1), 263.
- [5] Jafarnejad, A., Ansari, M., Youshanlouei, H. R., & Mood, M. (2012). A hybrid MCDM approach for solving the ERP system selection problem with application to steel industry. *International Journal of Enterprise Information Systems (IJEIS)*, 8(3), 54-73.
- [6] Kerzner, H. (2017). *Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling*. John Wiley & Sons.
- [7] Liberatore, M. J., & Pollack-Johnson, B. (2003). Factors influencing the usage and selection of project management software. *IEEE transactions on Engineering Management*, 50(2), 164-174.
- [8] McMahon, P. (2016). *Virtual PM: software solutions for today and the future*. CRC Press.
- [9] Meredith, J. R., Shafer, S. M., & Mantel Jr, S. J. (2017). *Project management*. John Wiley & Sons.
- [10] Piengang, F. C. N., Beauregard, Y., & Kenné, J. P. (2019). An APS software selection methodology integrating experts and decisions-maker's opinions on selection criteria. *Cogent Engineering*, 6(1).
- [11] Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: planning, Priority setting, resources allocation*, New York: McGraw, p.2
- [12] Sagnak, M., & Kazancoglu, Y. (2019). IntegraFuzzy ANP and 0-1 goal programming technique for enterprise resource planning software selection. *Ege Akademik Bakış Dergisi*, 19(1), 75-88.
- [13] Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A., & Sarka, V. (1994). The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects. *Technological and Economic Development of Economy*, 1(3), 131-139.



PROMETHEE R-REJTING UMESTO RANGIRANJA - primer slučaja izbora sistema za naplatu putarine -

PROMETHEE R RATING INSTEAD OF RANKING - Case study of the road toll collection system selection -

DRAŽENKO GLAVIĆ¹, MARINA MILENKOVIĆ¹, MILOŠ MLADENOVIĆ²

¹ Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, drazen@sf.bg.ac.rs, marina.milenkovic@sf.bg.ac.rs

² Aalto University, Department of Built Environment, milos.mladenovic@aalto.fi

Rezime: Jedno od ključnih pitanja u planiranju naplate putarine je izbor odgovarajućeg sistema. Problem izbora sistema za naplatu putarine je multidimenzionalan. S obzirom da postoji više sistema za naplatu putarine, kao i da prilikom odlučivanja postoji niz često konfliktiranih kriterijuma, ovaj problem pripada grupi problema višeatributivnog odlučivanja. Stoga je u radu korišćena PROMETHEE R metoda rejtinga. Metodološki okvir za podršku odlučivanju uključuje proceduru za definisanje kriterijuma odlučivanja, njihovih težina, bodovanje alternativa i analizu osetljivosti. Četrnaest sistema za naplatu putarine su predstavljali alternativna rešenja. PROMETHEE R metoda je pokazala da je DSRC MLFF kompromisno rešenje sa najboljim rejtingom. U radu su takođe prikazane udaljenosti alternativa u odnosu na idealnu i anti-idealnu alternativu.

Glavne reči: Sistemi za naplatu putarine, MCA, PROMETHEE-R.

Abstract: One of the central decision-making questions in planning road tolling is the selection of the toll collection system (TCS). The problem of the TCS selection is multidimensional. Considering that there are multiple TCS available nowadays, with their particular advantages and disadvantages, and that there is a range of often conflicting criteria for TCS selection, this decision-making issue belongs to the group of Multi-attribute decision making problems. Therefore, the PROMETHEE R rating method was used in the paper. The decision support framework includes a procedure for defining evaluation criteria and their weights, scoring of alternatives, and sensitivity analysis. Fourteen toll collection systems represent alternative solution. According to the PROMETHEE R method, the dedicated short-range communication multi-lane free flow system (DSRC MLFF) is compromise solution with the best rating. The paper also presents the distances of the alternatives in relation to the ideal and anti-ideal alternative.

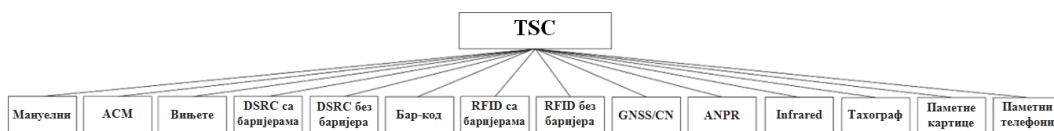
Keywords: Toll collection systems, MCA, PROMETHEE R.

1. UVOD

Važan zadatak u složenom procesu planiranja naplate putarine predstavlja izbor odgovarajućeg sistema za naplatu putarine. Izbor sistema za naplatu putarine predstavlja važnu odluku imajući u vidu činjenicu da zahteva velika investiciona ulaganja i da loša odluka po pitanju izbora sistema za naplatu putarine može dovesti do velikih ekonomskih, ekoloških i društvenih problema kako za sadašnje, tako i za buduće generacije (Milenković et al., 2020a; Milenković, 2020b). Takođe, s obzirom da su različite organizacione šeme naplate putarine povezane sa različitim ciljevima politike (Li et al., 2018), sistem naplate putarine (TCS) direktno utiče na iskustvo korisnika i shodno tome na prihvatanje od strane javnosti.

U praksi, upravljač puta se najčešće suočava sa izborom jednog TCS na osnovu velikog broja sistema koji su trenutno u upotrebi. TCS koji se danas koriste u svetu obuhvataju: manualni sistem, automatsku mašinu za kovanice (ACM), vinjete, sistem zasnovan na namenskoj komunikaciji kratkog dometa (DSRC) sa barijerama, DSRC sistem bez barijera, bar-kod sistem, sistem zasnovan na identifikaciji putem radio frekvencije (RFID) sa barijerama, RFID sistem bez barijera, globalni navigacioni satelitski sistem/mobilna mreža (GNSS/CN), sistem za automatsko prepoznavanje registarskih tablica (ANPR), sistem zasnovan na infracrvenim zracima (Infrared), tahograf, pametnu karticu i pametni telefon (Slika 1) (Glavić et al., 2017a,b; Milenković et al., 2018; 2020b). Navedeni sistemi razlikuju se po svojim karakteristikama, kao što su na primer pouzdanost sistema, troškovi implementacije, interoperabilnost itd. (Glavić, 2013; Milenković, 2020b). Imajući u vidu različite interese koje upravljači puta mogu imati u odnosu na korisnike, svaki TCS

ima niz prednosti i nedostataka kako sa aspekta upravljača puta tako i sa aspekta korisnika. Na primer, različitim TCS odgovara se različito na potrebu da se maksimizira prihod od naplate putarine, što je često važan kriterijum za upravljača puta. Sa druge strane, različitim TCS odgovara se različito na zahteve korisnika u pogledu smanjenja vremenskih gubitaka i troškova eksploatacije puta, odnosno poboljšanja nivoa usluge i bezbednosti saobraćaja (Glavić, 2013; Glavić et al., 2017a,b).



Slika 1: Sistemi za naplatu putarine (TCS) (Milenković et al., 2018)

Prethodno je samo u jednom radu razmatrano pitanje izbora odgovarajućeg TCS (Vats et al., 2014). U studiji slučaja Indije razmatrano je pet alternativa TCS: Bar-kod, RFID, ANPR, GNSS/CN i aktivni Infrared sistem za naplatu putarine. Primenom višekriterijumske metode „VIKOR“, Vats et al. (2014) došli su do nalaza da je RFID sistem odgovarajuće rešenje. S obzirom na izvesnu prazninu u dosadašnjim istraživanjima na ovu temu, u radu je predložen metodološki okvir za podršku odlučivanju prilikom izbora odgovarajućeg TCS.

2. METODOLOGIJA

Sistem za podršku odlučivanju koji je predložen u radu zasnovan je na PROMETHEE R metodi rejtinga. U poređenju sa ostalim MADM metodama, PROMETHEE metoda je pogodna za rešavanje problema sa velikim brojem alternativa (Brans et al., 1986; Mohamadabadi et al., 2009; Behzadian et al., 2010). PROMETHEE predstavlja grupu metoda, gde PROMETHEE I daje parcijalni rang alternativa, a PROMETHEE II kompletan rang alternativa (Brans et al., 1986). Kako bi se u procesu izbora TCS prevazišao problem nepostojanja određenih empirijskih podataka, odnosno problem neodređenosti i nepouzdanosti određenih podataka, u analizi su korišćeni fazi skupovi, odnosno odgovarajući fazi brojevi, kako bi se uz pomoć njih prevazišli problemi subjektivnih dilema donosioca odluka prilikom korišćenja lingvističkih promenljivih za predstavljanje problema (Macharis et al., 2009). Naime, korišćenje fazi skupova omogućava da se u obzir uzme rasplnutost, koja je svojstvena ovom procesu donošenja odluka, kroz jednostavno korišćenje lingvističkih izraza.

Predloženi sistem za podršku odlučivanju podrazumeva proceduru koja se sprovodi u okviru stručnih radionica (Glavić et al., 2018; Milenković et al., 2018; Kuzović, et al., 2015). Na održanim radionicama eksperti su diskutovali o MADM zadatku, mogućim TCS, definisanju kriterijuma i njihovih težina. Prvi korak uključuje opis MADM problema i definisanje ciljeva TCS. Tokom radionica, autori su potom definisali skup alternativa odnosno TCS koji se trenutno koriste u svetu. Zatim je sprovedena SWOT analiza, u okviru koje su donosioci odluka diskutovali o prednostima, nedostacima, mogućnostima i rizicima svake alternative, i na taj način bolje sagledali razmatrane alternative. Predloženi sistem za podršku odlučivanju je zatim podrazumevao definisanje sledeće liste kriterijuma:

1. Tehnički

- Interoperabilnost
- Fleksibilnost
- Efikasnost
- Pouzdanost
- Kontrola

2. Saobraćajni

- Nivo usluge
- Bezbednost saobraćaja
- Broj zaustavljanja
- Vremenski gubici

3. Finansijski

- Prosečan trošak za korisnika

Odnos prihod/trošak
 Investicioni troškovi
 Operativni troškovi

4. Ekološki

Vizuelno naruživanje okoline
 Zagađenje vazduha
 Buka

5. Socio-ekonomski

Fer plaćanje
 Jednostavnost korišćenja
 Vizuelno naruživanje izgleda vozila
 Mogućnost krađe i zloupotrebe sistema

Vrednosti težina kriterijuma, kao i ocene alternativa po svakom kriterijumu određene su subjektivnim fazi ocenama eksperata. Mišljenja eksperata prikupljena su u vidu lingvističkih izraza. Lingvistički izrazi su potom izraženi odgovarajućim fazi brojevima, a zatim je sprovedeno agregiranje ocena eksperata. Dobijeni fazi brojevi su zatim defazifikovani, a potom i normalizovani. Detaljna procedura za određivanje težina kriterijuma i bodovanje alternativa po kriterijumima data je u radu Milenković et al. (2018).

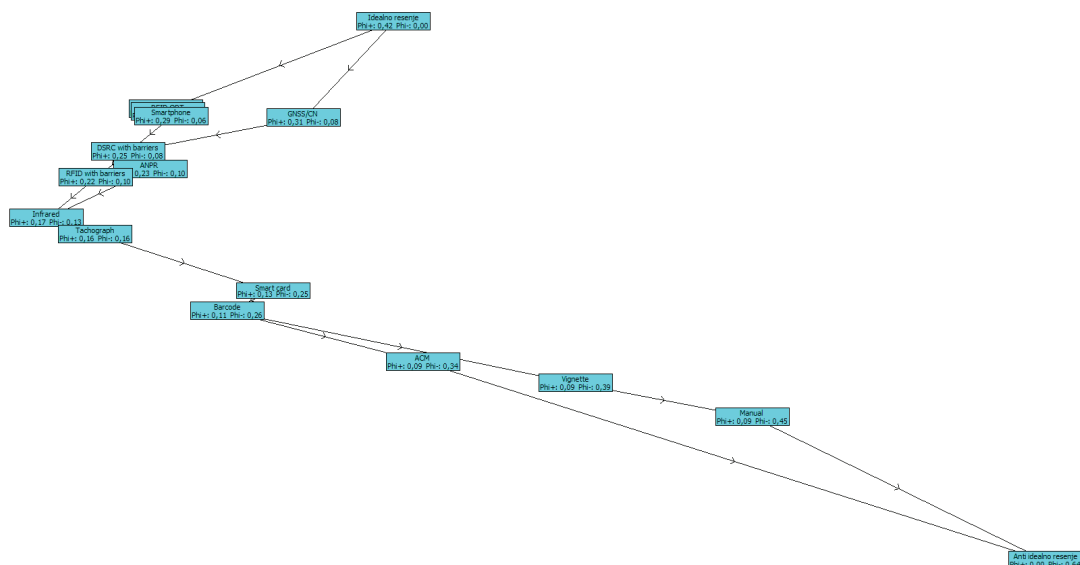
Detaljna procedura za rangiranje alternativa korišćenjem metode PROMETHEE II sastoji se iz pet koraka (Brans et al., 1986; Behzadian et al., 2010). Proces započinje određivanjem razlika vrednosti alternativa po kriterijumima, baziranim na poređenju po parovima. Drugi korak podrazumeva primenu odgovarajuće funkcije preferencije za svaki razmatrani kriterijum. Treći korak podrazumeva izračunavanje indeksa preferentnosti, dok četvrti korak uključuje izračunavanje pozitivnog i negativnog toka za svaku alternativu i dobijanje parcijalnog ranga. Proces se završava u petom koraku, izračunavanjem neto toka za svaku alternativu i dobijanjem kompletnog ranga (Brans et al., 1986; Behzadian et al., 2010). U Tabeli 1 prikazana je PROMETHEE matrica sa parametrima preferentnih funkcija, težinama kriterijuma i bodovanjem alternativa.

Tabela 1: PROMETHEE matrica sa parametrima preferentnih funkcija, težinama kriterijuma i bodovanjem alternativa

Scenario1	Interoperability	Flexibility	Efficiency	Reliability (ac...)	Enforcement	Level of servi...	Traffic safety	Number of st...	Delays	Average cost...	Ratio of rev...	Capex	Opex	Visual impact...	Air pollution	Noise	Fair pricing	User friendl...	Aesthetic ef...	possibility of ...	
unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	
Preferences																					
Min/Max	max	max	max	max	min	max	min	min	min	min	min	min	min	min	min	min	max	max	max	min	
Weight	5,00	5,00	6,00	6,00	5,00	6,00	6,00	5,00	5,00	6,00	6,00	5,00	6,00	3,00	4,00	4,00	5,00	4,00	3,00	5,00	
Preference Fun.	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	
Threshold	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	
Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
P: Preference	0,12	0,12	0,08	0,04	0,12	0,09	0,07	0,08	0,12	0,07	0,06	0,04	0,04	0,05	0,08	0,03	0,07	0,10	0,15	0,10	
S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
Statistics																					
Minimum	0,02	0,00	0,03	0,05	0,01	0,01	0,03	0,04	0,03	0,05	0,03	0,05	0,06	0,05	0,04	0,07	0,01	0,01	0,02	0,03	
Maximum	0,14	0,12	0,11	0,09	0,13	0,10	0,10	0,12	0,15	0,12	0,09	0,09	0,10	0,10	0,12	0,10	0,08	0,11	0,17	0,13	
Average	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	
Standard Dev.	0,04	0,04	0,03	0,01	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	0,04	0,05	0,04	
Evaluations																					
Manual	0,06	0,01	0,03	0,09	0,02	0,01	0,03	0,12	0,15	0,08	0,03	0,07	0,10	0,10	0,12	0,10	0,08	0,06	0,01	0,02	0,13
ACM	0,04	0,03	0,04	0,06	0,03	0,03	0,03	0,12	0,13	0,09	0,06	0,06	0,07	0,09	0,10	0,08	0,06	0,03	0,02	0,11	
Vignette	0,04	0,00	0,04	0,07	0,13	0,04	0,07	0,11	0,13	0,12	0,07	0,05	0,09	0,05	0,08	0,07	0,01	0,02	0,17	0,12	
DSRC with barriers	0,10	0,11	0,09	0,08	0,01	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,08	0,08	0,06	0,09	0,07	0,07	0,08	0,08	0,07	0,03	
DSRC MFPF	0,11	0,11	0,11	0,07	0,10	0,10	0,09	0,04	0,03	0,06	0,09	0,07	0,07	0,05	0,04	0,07	0,08	0,11	0,07	0,05	
RFD with barriers	0,12	0,09	0,08	0,07	0,01	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,08	0,08	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,07	0,01	
RFD SWF	0,08	0,09	0,11	0,07	0,10	0,10	0,09	0,04	0,03	0,05	0,09	0,06	0,07	0,05	0,04	0,07	0,08	0,10	0,08	0,05	
Barcode	0,02	0,02	0,05	0,05	0,07	0,06	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,06	0,09	0,09	0,08	0,08	0,06	0,13	0,11	
QRSCN	0,14	0,11	0,11	0,09	0,10	0,10	0,10	0,04	0,03	0,07	0,07	0,09	0,08	0,05	0,04	0,07	0,08	0,11	0,08	0,04	
ANPR	0,10	0,10	0,05	0,05	0,08	0,10	0,10	0,06	0,04	0,05	0,08	0,07	0,07	0,07	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,02	
Infrared	0,05	0,08	0,09	0,07	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,06	0,09	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	
Technograph	0,02	0,05	0,06	0,06	0,10	0,08	0,09	0,06	0,04	0,08	0,07	0,07	0,07	0,05	0,06	0,07	0,08	0,07	0,09	0,09	
Smart card	0,06	0,08	0,04	0,08	0,05	0,04	0,03	0,11	0,10	0,09	0,06	0,06	0,06	0,08	0,10	0,08	0,08	0,05	0,05	0,07	
Smartphone	0,12	0,12	0,10	0,08	0,09	0,09	0,06	0,05	0,03	0,05	0,09	0,07	0,07	0,05	0,05	0,07	0,08	0,11	0,05	0,05	
Identikey remote	0,14	0,12	0,11	0,09	0,01	0,10	0,10	0,04	0,03	0,05	0,09	0,05	0,06	0,05	0,04	0,07	0,08	0,11	0,02	0,03	
Anti-theft no...	0,02	0,00	0,03	0,05	0,13	0,01	0,03	0,12	0,15	0,12	0,03	0,09	0,10	0,10	0,12	0,10	0,01	0,01	0,17	0,13	

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Predloženi okvir za podršku odlučivanju testiran je na osnovu četrnaest sistema naplate i dva umetnuta sistema - idealni i anti-idealni sistem putarine. Iz Tabele 1 može se videti da su grupe kriterijuma podeljene na tehničke, saobraćajne, finansijske, ekološke i socio-ekonomske kriterijume. Svaka grupa sadrži tri do pet kriterijuma, čime su obuhvaćene sve karakteristike alternativa TCS.



Slika 3: Rejting alternativa na osnovu PROMETHEE network

Na Slici 1 prikazane su vrednosti Φ^+ i Φ^- , po alternativama i kriterijumima. Rang alternativa dobijen je na osnovu PROMETHEE II. Analizom neto tokova datih na Slikama 2-3 može se zaključiti da, prema PROMETHEE I i PROMETHEE II, najbolji rejting imaju sledeće četiri alternative naplate putarine: DSRC bez barijera, RFID bez barijera, GNSS/CN i Pametni telefoni, dok ostale alternative imaju značajno niže vrednosti pozitivnog, negativnog i neto toka. Navedene alternative su najbliže idealnom rešenju. Sa druge strane, najniži rejting ima alternativa Manualni TCS. Ova alternativa je najbliža anti-idealnom rešenju.

4. ZAKLJUČAK

Sistem za naplatu putarine je od ključne važnosti za efikasno funkcionisanje naplatnih stanica, kako sa aspekta upravljača puta tako i sa aspekta korisnika. Takođe, implementacija sistema za naplatu putarine zahteva velika kapitalna ulaganja i loša odluka po pitanju izbora sistema za naplatu putarine može dovesti do velikih ekonomskih, ekoloških i društvenih problema kako za sadašnje, tako i za buduće generacije. Imajući to u vidu, izbor odgovarajućeg sistema naplate putarine predstavlja veoma važnu odluku u procesu planiranja naplate putarine. Takođe, u praksi se donosioci odluka često suočavaju sa izborom odgovarajućeg sistema, na osnovu velikog broja alternativa i kriterijuma, koje često imaju konfliktne prednosti i nedostatke. S obzirom na značaj odabira odgovarajućeg sistema naplate putarine i složenost problema, u radu je predložen sistem za podršku odlučivanju primenom PROMETHEE R metode.

PROMETHEE R metoda je odabrana da bi se pokazalo da ne postoji najbolje rešenje već da s obzirom na broj kriterijuma i njihovu težinu postoji kompromisno rešenje u vidu alternative koja ima najbolji rejting. Na osnovu veštački unete idealne i anti-idealne alternative može se bolje shvatiti koliko je data alternativa sa najboljim rejtingom udaljena od idealnog i anti-idealnog rešenja.

PROMETHEE R metoda je pokazala da je DSRC MLFF kompromisno rešenje sa najboljim rejtingom, dok za nijansu manji rejting imaju DSRC bez barijera, RFID bez barijera, Pametni telefoni i GSNN-CN. Ove četiri alternative su i najbliže idealnom rešenju. Važno je istaći da su navedeni sistemi bazirani na slobodnom višetračnom protoku i da ne zahtevaju nikakvu promenu brzine (Glavić et al., 2017a, Milenković et al. 2020a,b). DSRC bez barijera ima izrazitu malu prednost u odnosu na sledeće 3 alternative. Sistem zasnovan na pametnim telefonima dobio je nešto lošiju ocenu za saobraćajni kriterijum – bezbednost saobraćaja, dok je GSNN-CN sistem naplate putarine ostvario nižu vrednost za finansijske kriterijume (investicione i operativne troškove). Uoprednom analizom rezultata dobijenih u ovom radu sa rezultatima dobijenim u studiji Vats et al. (2014), mogu se uočiti određene razlike. Vats et al. (2014) utvrdili su da je kompromisno rešenje za Indiju RFID sistem, dok su ANPR i GSNN-CN zauzeli drugo i treće mesto. Predloženi sistem za podršku odlučivanju moguće je primeniti u različitim studijama slučaja, uz izvesna prilagođavanja lokalnim uslovima koja se odnose na izbor odgovarajuće liste alternativa i definisanje određenih vrednosti težina kriterijuma.

LITERATURA

- [1] Behzadian, M., Kazemzadeh, R. B., Albadvi, A., & Aghdasi, M. (2010). PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 200(1), 198-215.
- [2] Brans, J. P., Vincke, P., & Mareschal, B. (1986). How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research*, 24(2), 228-238.
- [3] Glavić, D. (2013). SWOT analiza sistema naplate putarine u Evropi, *Put i saobraćaj*, 59(4), 21-30.
- [4] Glavić, D., Milenković, M., Trpković, A., Vidas, M., & Mladenović, M.N. (2017a). Assessing sustainability of road tolling technologies. Proceedings of the AIIT International Congress on Transport Infrastructure AND Systems (TIS), 803-810, Rome, Italy, 10. - 12. April, Taylor & Francis Group.
- [5] Glavić, D., Mladenović, M., Luttinen, T., Čičević, S. & Trifunović, A. (2017b). Road to price: User perspectives on road pricing in transition country. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 105, 79-94.
- [6] Li, H., Liu, Y., & Peng, K. (2018). Characterizing the relationship between road infrastructure and local economy using structural equation modeling. *Transport Policy*, 61, 17-25.
- [7] Macharis, C., De Witte, A., & Ampe, J. (2009). The multi-actor, multi-criteria analysis methodology (MAMCA) for the evaluation of transport projects: Theory and practice. *Journal of Advanced Transportation*, 43(2), 183-202.
- [8] Glavić, D., Mladenović, M. N., & Milenković, M. (2019). Decision Support Framework for Cycling Investment Prioritization. *Journal of Advanced Transportation*, 2019.
- [9] Kuzović, L. T., Aleksić, B. L., & Glavić, D. N. (2015). The application of the multi-criteria analysis in evaluating of the road designs. *Tehnika*, 70(1), 143-150.
- [10] Milenković, M., Glavić, D., & Mladenović, M. N. (2018). Decision-Support Framework for Selecting the Optimal Road Toll Collection System. *Journal of Advanced Transportation*, 2018, 12-28.
- [11] Milenković, M., Stepanović, N., Glavić, D., Tubić, V., Ivković, I., & Trifunović, A. (2020a). Methodology for determining ecological benefits of advanced tolling systems. *Journal of Environmental Management*, 258, Article ID 110007.
- [12] Milenković, M. (2020b). Metodološki okvir za podršku odlučivanju prilikom izbora sistema za naplatu putarine. Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet.
- [13] Mohamadabadi, H. S., Tichkowsky, G., & Kumar, A. (2009). Development of a multi-criteria assessment model for ranking of renewable and non-renewable transportation fuel vehicles. *Energy*, 34(1), 112-125.
- [14] Vats, S., Vats, G., Vaish, R., & Kumar, V. (2014). Selection of optimal electronic toll collection system for India: A subjective-fuzzy decision making approach. *Applied Soft Computing*, 21, 444-452.

Indeks autora

Author index

A

Abu Helal Md: 207
Andrejić Milan: 225
Andrić Gušavac Bisera: 3
Andrijanić Ivana: 293

B

Babić Danica: 433
Beldiman Miruna: 251
Bensoussan Alain: 207
Bešić Dušan: 177
Bharadwaj S.: 183
Bjelić Nenad: 237;243
Bjelobaba Goran: 143
Bosiočić Nebojša: 93
Bosiočić Stanislava: 23
Brezina Ivan: 213
Bukvić Rajko: 55
Burnham Keith J: 415

C

Cicvarić Milan: 259
Cvetković Dragoš: 105

Ć

Ćirović Goran: 345;357;363
Ćirović Marko: 11

Č

Čelar Nikola: 427
Čičević Svetlana: 439
Čičková Zuzana: 501

D

Davidović Tatjana: 117;129;479
Delibašić Boris: 299
Deretić Nemanja: 81
Dimić Srdjan: 389
Dimitrijević Branka: 189;243;457
Dobrota Marina: 487
Dožić Slavica: 433;457
Dragović Ivana: 305
Dražić Jasmina: 351
Drobnjak Siniša: 87

Durković Miloš: 41

Đ

Dogatović Marko: 465
Đoković Aleksandar: 299
Đukić Đorđe: 371

F

Fedorko Gabriel: 201

G

Galjak Nenad: 69
Gigović Ljubomir: 75
Gladović Pavle: 81
Glavić Draženko: 527
Glazer Bradley: 415

H

Halaj Katarina: 397
Halanay Andrei: 251
Holzerová Patricia: 501
Hudec Miroslav: 313

I

Ilić Maja: 333
Iličić Žarko: 189
Ivanović Marija: 321
Ivanović Teodora: 137

J

Jaćimović Jovko: 189
Jakšić Krüger Tatjana: 129
Janković Sladjana: 287;293
Janković Irena: 61
Jeremić Veljko: 487
Jeremić Olivera: 345
Jevremović Sreten: 409
Jevtić Dimitrije: 149
Jovanović Dejan: 189
Jovanović Ivana: 421
Jovanović Vladimir: 189
Jovanović Aleksandar: 273
Jovović Aleksandar: 17

K

Kajalić Jelena: 427
Kalić Milica: 433;457
Kankaras Milan: 389
Kilibarda Milorad: 225
Klječanin Goran: 75
Kocić Anica: 427
Končar Jelena: 37
Kosić-Jeremić Sandra: 333
Kostić Miodrag: 93
Kostić-Ljubisavljević Aleksandra: 445
Kovač Milovan: 195
Kovačević Milan: 383
Kratica Jozef: 101
Krstić Ana: 515
Krstić Katarina: 363
Krstić Mladen: 195;231
Kunc Ivana: 243
Kutlača Đuro: 157;163;169
Kuzmanović Marija: 507

L

Lazarević Saša: 149

M

Maksimović Zoran: 101
Maksimović Snježana: 333
Marić Radenko: 37
Maričić Milica: 487
Marinović Minja: 3
Marković Goran: 439
Marković Ljubo: 327
Martić Milan: 17
Maslarić Marinko: 201
Matijević Luka: 479
Mikavica Branka: 445
Milanović Tijana: 17
Milenković Marina: 527
Milić Marković Ljiljana: 327
Milivojević Danas Milica: 101
Milošević Pavle: 259;265
Mimović Predrag: 515
Mirčetić Dejan: 201
Mirković Bojana: 403
Mitić Vlada: 383;389
Mitrović Milica: 219
Mitrović Snežana: 345
Mitrović Slobodan: 439
Mladenović Dušan: 287;293
Mladenović Snežana: 287
Mladenović Miloš: 527
Mladenović Nenad: 111
Mosić Sanja: 305
Mrkela Lazar: 123

Mučenski Vladimir: 351

N

Nešić Zoran: 521
Nikolić Dragan: 345
Nikolić Miloš: 243;421
Nikolić Dejan: 383
Nikolić Nebojša: 377
Nikolić Topalović Marina: 357;363
Nikoličić Svetlana: 201

O

Opačić Bojana: 281

P

Pajić Vukašin: 225
Pandžić Slobodan: 339
Pantelić Marija: 49
Paskota Mira: 397
Paunović Vladan: 521
Pejčić Jelena: 259
Pekár Juraj: 213
Peković Jelena: 31;273
Peško Igor: 351
Petković Dušan: 93
Petrović Nataša: 11;17;23
Petrović Aleksandar: 371
Petrović Bratislav: 305
Pickering James: 415
Polaček Patrik: 313
Poledica Ana: 259
Popović Dražen: 177;219;445
Popović Milena: 3
Popović-Pantić Sanja: 163
Prašćević Nataša: 321
Prokić Miroslav: 397
Puzović Sanja: 521

R

Radaković Jelena Andreja: 11;23
Radiovojević Gordana: 219
Radojičić Milan: 299
Radojičić Valentina: 439
Radovanović Sandro: 299
Rakićević Aleksandar: 259;265
Ramakrishna Viswanath: 207
Ratković Branislava: 237;243
Regodić Miodrag: 69;75
Reiff Marian: 213
Ristić Mihailo: 189
Ristić Dalibor: 111

Ružić Aleksandra: 281
Ružić Miloš: 177
Ružić Slobodan: 281

S

Savić Aleksandar: 101
Savić Ana: 143
Savić Gordana: 3;403
Sekulović Dragoljub: 87
Semenčenko Dušica: 169
Sethi Suresh: 207
Simić Nevena: 321
Spasić Miloš: 201
Stanimirović Dragan: 81
Stanimirović Zorica: 123
Stanković Stamenka: 427
Stanojević Kristina: 11;23
Stanojević Bogdana: 473
Stanojević Milan: 473
Stefanović Hana: 143
Stojanović Marko: 87
Stojanović Miloš: 265
Stojanović Tatjana: 149
Stojnić Borislava: 69
Stokić Marko: 465

Š

Šelmić Milica: 409;421
Štrbac Dijana: 169

T

Tadić Snežana: 195;231
Timotić Doroteja: 403
Todosjević Raca: 111
Tomić Slavoljub: 339
Toppur Badri: 183
Trpković Ana: 409

U

Urošević Dragan: 111
Uzelac Ana: 287;293

V

Vasić Vladimir: 493
Vasilić Nikola: 163
Veselinović Radosav: 143
Veselinović Dragana: 351
Vesić Vasović Jasmina: 521

Vidović Milorad: 177;219;237
Vladislavljević Ivana: 189
Vučenović Sonja: 37
Vujasinović Miroslav: 69;75
Vukadinović Katarina: 243;451
Vukićević Biševac Ivana: 451
Vukmirović Goran: 37

W

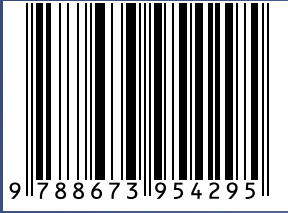
Whitaker Jack: 415

Z

Zdravković Stefan (Univ.Krag.): 31;273
Zdravkovi Stefan (Univ.Beog.):287;293
Zečević Petar: 281
Zečević Slobodan: 231
Zeljčić Drakulić Svetlana: 41

Ž

Živanović Milutin: 49
Živković Lazar: 157



SYM-OP-IS 2020



**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
САОБРАЋАЈНИ ФАКУЛТЕТ**

ПОКРОВИТЕЉИ КОНФЕРЕНЦИЈЕ



Влада Републике Србије
Министарство просвете,
науке и технолошког развоја

MILSPED
GROUP

 **Gebrüder Weiss**
Transport and Logistics

LOGIT