

XXIX međunarodna konferencija INFORMACIONE TEHNOLOGIJE



Sadašnjost i budućnost

Urednik: Prof. dr Božo Krstajić



IT2025

IT'25

**INFORMACIONE
TEHNOLOGIJE**
- SADAŠNJOST I BUDUĆNOST –

**Urednik
Božo Krstajić**

**Zbornik radova sa XXIX međunarodne konferencije
INFORMACIONE TEHNOLOGIJE - sadašnjost i budućnost
održane na Žabljaku od 19. do 22. februara 2025. godine**

Zbornik radova
INFORMACIONE TEHNOLOGIJE – sadašnjost i budućnost 2025

Glavni urednik
Prof. dr Božo Krstajić
Elektrotehnički fakultet Univerziteta Crne Gore

Izdavač
IT društvo
Podgorica, Crna Gora
www.it.ac.me

Tehnička obrada
Rajka Krstajić

CIP - Katalogizacija u publikaciji
Nacionalna biblioteka Crne Gore, Cetinje
ISBN 978-9940-8707-5-1
COBISS.CG-ID 33352708

Podgorica 2025.

Sva prava zadržavaju izdavač i autori

Organizator

IT društvo, Crna Gora

Skup podržali

The Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE

Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore

Fakultet za informacione sisteme i tehnologije, Univerzitet Donja Gorica

Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu

Čikom d.o.o. informatički inženjering

Five grupa

Programski odbor

Dr Miloš Brajović, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Chun-Yen Chang, National Taiwan Normal University, Taipei, TWN
Dr Anđela Draganić, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Boris Dumnić, Fakultet tehničkih nauka, UNS, Novi Sad, SRB
Dr Slobodan Đukanović, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Luka Filipović, Fakultet za informacione sisteme i tehnologije, UDG, Podgorica, MNE
Dr Slavko Gajin, Elektrotehnički fakultet, UB, Beograd, SRB
Dr Gordana Gardašević, Elektrotehnički fakultet, UBL, Banja Luka, BIH
Dr Sašo Gelev, Elektrotehnički fakultet, UGD, Radoviš, MKD
Dr Dragan Janković, Elektronski fakultet, UN, Niš, SRB
Dr Ana Jovanović, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Enis Kočan, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Srđan Krčo, DunavNET, Novi Sad, SRB
Dr Božo Krstajić, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Aleksandra Krstić, Elektrotehnički fakultet, UB, Beograd, SRB
Dr Vujica Lazović, Ekonomski fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Budimir Lutovac, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Luka Martinović, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Nenad Mijatović, Alstom Signaling LLC, Melbourne, FL, USA
Dr Zoran Milivojević, Visoka tehnička škola strukovnih studija, Niš, SRB
Dr Saša Mujović, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Aleksandar Nešković, Elektrotehnički fakultet, UB, Beograd, SRB
Dr Nataša Nešković, Elektrotehnički fakultet, UB, Beograd, SRB
Dr Gabriel Neagu, National Institute for Research & Development in Informatics, Bucharest, ROU
Dr Milica Pejanović-Djurišić, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Goran Popivoda, Prirodno-matematički fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Tomo Popović, Fakultet za informacione sisteme i tehnologije, UDG, Podgorica, MNE
Dr Vesna Popović-Bugarin, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Milutin Radonjić, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Milovan Radulović, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Igor Radusinović, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Vesna Rubežić, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Dušan Savić, Fakultet organizacionih nauka, UB, Beograd, SRB
Dr Ramo Šendelj, Fakultet za informacione sisteme i tehnologije, UDG, Podgorica, MNE
Dr Goran Šuković, Prirodno-matematički fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Nikša Tadić, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Milo Tomašević, Elektrotehnički fakultet, UB, Beograd, SRB
Dr Slavica Tomović, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Zoran Veljović, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Siniša Vlajić, Fakultet organizacionih nauka, UB, Beograd, SRB
Dr Sanja Vujnović, Elektrotehnički fakultet, UB, Beograd, SRB
Dr Žarko Zečević, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE

Počasni odbor

Dr Novak Jauković, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Milovan Radulović, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Zdravko Uskoković, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Zoran Veljović, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Ana Jovanović, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Saša Mujović, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE

Organizacioni odbor

Dr Božo Krstajić, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE - Predsjedavajući konferencije
Dr Žarko Zečević, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Milutin Radonjić, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Sandra Tinaj, Univerzitet Donja Gorica, Podgorica, MNE
Dr Tomo Popović, Fakultet za informacione sisteme i tehnologije, UDG, Podgorica, MNE
Dr Srđan Krčo, DunavNET, Novi Sad, SRB
Vladan Tabaš, dipl.ing., Čikom, Podgorica, MNE
Dr Enis Kočan, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE
Dr Luka Martinović, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE

P R E D G O V O R

Dragi učesnici i čitaoci,

Pred vama je zbornik radova prezentovanih na XXIX naučno-stručnoj konferenciji „INFORMACIONE TEHNOLOGIJE – sadašnjost i budućnost 2025“. Programski odbor, kroz proces anonimne međunarodne recenzije, odabrao je 75 radova, od kojih su 11 dostupni u cjelini, dok su preostalih 64 predstavljeni sažecima koji se mogu pronaći u bazi IEEE Xplore. Zbornik takođe sadrži i sažetak predavanja po pozivu.

Na konferenciji su učestvovali autori iz 24 zemlje: Crne Gore, Srbije, Bosne i Hercegovine, Indonezije, Malezije, Indije, Sjedinjenih Američkih Država, Etiopije, Egipta, Pakistana, Turske, Bangladeša, Severne Makedonije, Južne Koreje, Španije, Filipina, Albanije, Italije, Velike Britanije, Slovačke, Ukrajine, Bugarske, Nigerije i Perua. Programski odbor izražava zahvalnost autorima koji su kvalitetom svojih radova doprinijeli ugledu konferencije predstavljajući originalna dostignuća svojih istraživanja. Od ukupno 215 pristiglih radova, prihvaćeno je 36%, čime se potvrđuje rastuće interesovanje, ali i sve stroža selekcija u cilju očuvanja i unapređenja kvaliteta konferencije.

Ovogodišnja konferencija bila je izuzetno uspješna, okupivši iskusne i mlade istraživače, pasionirane i nove učesnike, uz značajan broj online prisutnih autora i posmatrača. Pored bogatog naučnog programa, učesnici su uživali u prelijepim zimskim pejzažima Durmitora, obilju snijega i sunca, šetnjama, skijanju i organizovanim druženjima. Posebno značajan doprinos dali su studenti master studija dva najveća univerziteta u Crnoj Gori (UCG i UDG), koji su kroz dvodnevno aktivno učešće osvježili konferenciju novom energijom i entuzijazmom. Takođe, na predavanjima i radionicama predstavljeni su rezultati nekoliko značajnih istraživačkih projekata.

Sinergija prirode, nauke i dobre volje među učesnicima pokreće inspiraciju za nove profesionalne i životne izazove, s nadom da ćemo se ponovo okupiti na narednim skupovima.

Sve detalje o ovom, prošlim i narednim skupovima možete naći na zvaničnoj web stranici konferencije www.it.ac.me.

Prof. dr Božo Krstajić

SADRŽAJ

PREDAVANJE PO POZIVU

Ana Poledica Tehnike računarske inteligencije za modelovanje sličnosti – IBA pristup.....	2
--	---

AUTORSKI RADOVI

Zorica Bogićević, Danijela Zubac, Uroš Jakšić, Bojan Prlinčević and Milan Mišić The influence of the IT sector in the modernization of the energy sector and the development of new competencies in higher education.....	4
A. Korunović, M. Milić, S. Vlajić Generički softverski sistem za proveru vrednosnih i strukturnih ograničenja domenskog modela.....	8
Predrag P. Imšić, Asistent, Vladimir I. Belča, Ubrzavanje upita i performansi MongoDB baze korišćenjem mehanizma indeksiranja.....	12
D. Zubac, B. Prlinčević, Z. Bogićević, M. Mišić, U. Jakšić Application of PM2 Methodology in Contemporary Project Management Application of PM2 Methodology in Contemporary Project Management	16
Vera Kapetanović, Maja Krčum, Igor Petrović, Jelena Nikčević i Tatijana Dlabac Predlog za unapređenje upravljanja rizicima u instituciji visokog obrazovanja koja se bavi obrazovanjem pomoraca	21
Žaklina Spalević, Gradimirka Popović, Filip Marković, Đorđe Sarčević, Miloš Dobrojević, Petar Spalević Veštačka inteligencija i njen uticaj na obnovljive izvore energije	25
I. Aleksić, V. Durković, V. Radulović Analiza mogućnosti primjene DC portova u distributivnoj mreži.....	30
Vladimir Đurišić1, Zoran Veljović Izazovi u implementaciji 5G mobilnih mreža	34
Lana S. Radmilović, Ilija D. Antović Analiza tehnologija za automatizaciju upravljanja infrastrukturom u kladu okruženju	38
Denis Vukašinović, Danilo Nikolić, Radmila Gagić Primjena simulatora u predviđanju širenja mrlja brodskog goriva u Bokotorskom zalivu i procjena negativnih uticaja.....	42
Ivan Lj. Marković, Tatjana D. Stojanović, Saša D. Lazarević Upotreba implementacionih idioma u konstrukciji arhitekture poslovnih aplikacija.....	46

APSTRAKTI AUTORSKIH RADOVA OBJAVLJENIH U IEEE XPLORE DIGITALNOJ BIBLIOTECI

Tahir Mavrić and Špiro Ivošević Digital Twins for Monitoring and Simulation of Ship Hull Structures: A Maritime Engineering Perspective	52
Evelyn Hendriana, Idris Gautama So, Noor Hazlina Ahmad, Sri Bramantoro Abdinagoro, and Anderes Gui The Mechanism of Virtual Tourism in Directing Visit Intention.....	53

Bhargavi Konda, Akhila Reddy Yadulla, Vinay Kumar Kasula, Mounica Yenugula and Chakradhar Adupa Enhancing Traceability and Security in mHealth Systems: A Proximal Policy Optimization-Based Multi-Authority Attribute-Based Encryption Approach	54
Andri Santoso, Gerald Christian Ongko, Jessen Hadinata, Fredy Jingga An In-Depth Exploration of Green Computing Initiatives in Information and Communication Technology (ICT): A Systematic Literature Review	55
Jovan Vukašinović, Saša Štatkić, Miloš Milovanović, Bojan Perović, Andrijana Jovanović Sensitivity Analysis of the Induction Motor's Torque-Speed Characteristic towards Equivalent Circuit Parameters Variations	56
Yevheniia Kataieva and Martin Nemec Determining software quality using code analysis metrics	57
Tamara Pavlovic, Tomo Popovic, Stevan Cakic Breast Cancer Detection Using ResNet and DenseNet Architecture	58
Jessicania Windari and Tanty Oktavia Analysis of Factors Affecting the Adoption of Digital Insurance in Jakarta	59
Daniel Yosia Arbi and Anderes Gui Assessing the Potential of Robo-Advisors in Transforming Indonesia's Insurance Sector	60
M. Mert Menevse, Melisa Gozet, Asim Egemen Yilmaz, Mehmet Karakose An Analysis Approach for Crowds with Varying Density and Complexity Using Image Data	61
Marko Raičević, Nikola Kavarić, Tomo Popović, Dejan Babić, Ivan Jovović Tuberculosis Detection From Chest X- Rays Using Convolutional Neural Network	62
Mohammad Asif Khan Tonay, Shahriar Sadman Dihan, Farid Ishraqe Zarif, Omar Rafat Adnan and Md. Nawab Yousuf Ali Laryngeal Cancer Detection and Classification Using Deep Learning on Histopathological Images	63
Ognjen Iković, Nebojša Janović, Milan Jovović, Nikola Perović, Dejan Radulović, and Nikola Žarić Harnessing the Power of the LUMI Supercomputer for Advanced Trading Simulations	64
Jelena Rastović, and Nikola Žarić An Approach to Cybersecurity Education: A Case Study of CybSafe Implementation	65
Igor Culafic, Tomo Popovic, Stevan Cakic Voice Cloning and TTS for Preservation and Enrichment of Cultural Heritage	66
Rostyslav Zatserkovnyi, Zoriana Novosad, Roksoliana Zatserkovna Large Language Models for Inclusive Image Captioning	67
Yongky Anthonychow, Sulfi Danivia, Michelle Angelica, Cadelina Cassandra, and Surjandy The Effect of Interactive Online Learning on Students' Academic Performance	68
Giovan Meidy Susanto and Tuga Mauritsius Product Backlog Recommendations Using Sentiment Analysis with Topic Modelling and Text Summarization in the XYZ E-Wallet Application	69
Amir Farmanesh, Irene Pereda Serrano, Joaquín Ordieres-Meré, Slobodan Bojanic, Bojan Prlinčević Improving Transparency on Energy Transportation Losses through Digitalization Technologies	70
Felix Koba, Aleksandr Marin, Stevan Čakić Patch-Based 3D CNN-Transformer Approach for Non-Uniformly Compressed Voxel Classification	71

Rhisa Adika Putri and Tanty Oktavia Analyzing Twitter Sentiment on Stock Using the Bidirectional Encoder Representations (BERT) Based on the Transformer Model.....	72
Seda Nur Gungor, Mehmet Karakose A Quantum Computing Based Solution Approach for NP-Complete Problems.....	73
Azra Smajić, Mohamed ElZayyat and Emina Junuz Evolution of software through Lehman's laws: Comparative analysis of open and closed source solutions.....	74
Tatjana D. Stojanović, Kristina Jovanović and Saša D. Lazarević Evaluation of GPT-generated conceptual models based on verbal descriptions: accuracy and quality analysis.....	75
Zoran Milivojević, Violeta Stojanović, Dijana Kostić, Bojan Prlinčević and Zoran Veličković Construction and optimization of the fourth- order polynomial convolution 1P kernel.....	76
Katarina Šćepanović, Milica Vukotić, David Pantović, Ivan Jovović Comparative Analysis of Linear and Polynomial Regression for Predicting Body Mass Index	77
Marija Todorović Mihajlović, Ilija D. Antović Implementation of Validation Rules in the Process of Automating Graphical User Interface Generation	78
Jelena Crnogorac, Enis Kočan and Milica Pejanović Đurišić Maturity of open-source Digital Twin platforms in IoT.....	79
Md Nasiruzzaman, Maaruf Ali, Iftekhhar Salam and Mahdi H. Miraz The Evolution of Zero Trust Architecture (ZTA) from Concept to Implementation	80
Auryns Lycaso and Anderes Gui Digital Transformation in Banking: Behavioral and Technological Factors in Indonesia	81
Furkan Göz ST-KAN: Document Classification Using Sentence Transformer and the Kolmogorov- Arnold Network.....	82
Niyazi Furkan Bar, Aysegul Ucar and Mehmet Karakose Cost-Effective Failure Mode Approach for User- Reported Faults Using LSTM and Word2Vec	83
Marko Vuksanović, Božo Krstajić, Member, IEEE Cooperative Tracking Control of Multi-Agent Systems with Collision Avoidance.....	84
Muhammed Enes Ozel, Nafiye Nur Apaydin, Orhan Yaman, Mehmet Karakose A CNN-Based Method Using Optimized Parameters for Dynamic Human Action Recognition	85
Matea D. Lukić, Danica S. Ivković, Ana M. Poledica MLOps Tools for Deployment: A Case Study on Text Classification	86
Lucija Jovanović, Kosta Pavlović, Anđela Raičković, Dražen Raičković, Stevan Šandi OXIOM - Posting Invoices using the CatBoost Algorithm and Embedded Representations.....	87
Eun Ho Kim, Yeong Gwang Choi, Young Hoon Suh, and Jae Wook Jeon Towards Robust Multi-Camera Object Tracking: A Framework for Global Coordination and ID Consistency	88
Sara Aneva, Dragan Minovski, and Vasilija Sarac Market Strategy for Enhancing the Profitability of Pumped-Storage Hydro Power Plants Using Photovoltaic Energy	89

Mitar Otašević, Luka Martinović, Žarko Zečević Distributed Guidance Law for Containment Maneuvering of Underactuated Surface Vehicles.....	90
Vasilije Lutovac, Enis Kočan Physical Layer Security in Wireless Networks – Concept, Performance and Perspectives	91
Miloš Brajović, Isidora Stanković, Miloš Daković, Ljubiša Stanković Spectral Analysis of Temporal Signals on DAGs Using Joint Time-Vertex Fourier Transform	92
Novica Trifković, Ilija D. Antović On the Applicability of Microservice Architecture in Geodetic Company	93
Nida Canpolat, Hasan Yetis, Orhan Yaman and Mehmet Karakose Advanced Data Storage Model with Blockchain Technology and Huffman Algorithm	94
Tatjana Stojadinović, Ilija D. Antović Application of Big Data in Pharma 4.0	95
Miodrag Forcan, Goran Dobrić, Amir Abed, Mileta Žarković, Marko Ikić, Jovana Forcan, Manuel Barragán-Villarejo, José María Maza-Ortega, Francisco de Paula García-López Real-Time Testing of Microgrid Control Algorithms: Development of Experimental Setup	96
Turan Goktug Altundogan, Mehmet Karakose, Member, IEEE, Fatih Mert A New Video Summarization Approach Using Object Density Based Image Similarity for Smart City Applications	97
Lazar Ašanin, Luka Martinović, Žarko Zečević Improved Line-of-Sight Guidance Law for Path Following of Autonomous Underwater Vehicle with Compensation of Drift and Lift Forces	98
Radovan Čikić, Miloš Milić, and Siniša Vlajić Comparative Analysis of Execution Time for Sequential and Data-Decomposed Parallel Program	99
Zenhom M. Zenhom, Tarek A. Boghdady, Essam El Din Abo El Zahab, Martin Calasan, and Shady H. E. Abdel Aleem Is the Minimum or Maximum Value between DG-HC and EV-HC always the Combined HC?	100
Stefan Vujović, Miloš Daković, Aleksandar Popović, and Vladimir Božović Classrooms and Classes Scheduling Software at the University of Montenegro	101
Lysa V. Comia Fish Image Instance Segmentation Using the Separation of the Mask Produced for Fish Size Measurement	102
Giovanni N. de los Santos, Lorna G. de los Santos, Jessie Richie N. de los Santos eLib: Learning Resource Center with Smartphone Mobile QR Scanner	103
Rico Jajeb Cabugatan, Cynthia Esponga, Marinel G. Giguracion, Mark Anthony Refuerzo, Jessie Richie N. de los Santos, Giovanni N. de los Santos, Lorna G. de los Santos GEOGAS App: A Geo Routing LPG Delivery Service Application	104
Cagatay Umut Ogdu, Selen Gurbuz, Mehmet Karakose, Eray Hanoglu Medical Implications of LLM Based Clinical Decision Support Systems in Healthcare.....	105
Gabrijela Dimić, Ljiljana Pecić IoT Technology Integration in Renewable Energy Systems	106

Luka Lazović, Jeffrey Neasham, Benjamin Sherlock, Ana Jovanović and Vesna Rubežić An Approach to Improving DSSS Modulation in Underwater Acoustic Communications Using Chaotic Signals	107
Ismail Ilhan and Mehmet Karaköse MesoNet-ViT: Meso Network and Vision Transformer for Deepfake Detection	108
Merve Yilmazer, Mehmet Karakose LLM-Based Video Analytics Test Scenario Generation in Smart Cities	109
Branka Rakic, Igor Dejanovic Qualitative Comparison of Vision and Vision- Language Models in Object Detection: Capabilities and Challenges	110
Aleksa Albijanic, Slavica Tomovic, Igor Radusinovic Reinforcement Learning-Based ALOHA-Q Protocol with Slot Subdivision for Underwater Acoustic Sensor Networks	111
Luka Martinović, Žarko Zečević, Marco Bibuli, Massimo Caccia Cooperative Vector Field-Based Synchronized Path Following for Underactuated USVs.....	112
Igor Dejanović and Mirjana Dejanović Developing a Domain-Specific Language for Cognitive Tests Using TextX	113
Kübra ARSLANOĞLU, Mehmet KARAKÖSE, Senior Member A Trustworthy Analysis Approach for Chatbots on Health Data: ChatGPT-4 Example	114
Z. Karaca, I. Aydin Med-VQA: Performance Analysis of Question- Answering Systems on Medical Images	115

PREDAVANJA PO POZIVU

Tehnike računarske inteligencije za modelovanje sličnosti – IBA pristup

Ana Poledica, Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, Srbija

U oblasti mašinskog učenja i računarske inteligencije, pojam sličnosti predstavlja jedan od fundamentalnih koncepata koji se javlja u različitim algoritmima mašinskog učenja. Kao centralna tema predavanja, sličnost će se razmatrati sa aspekta ljudske percepcije i alata koji se koristi pri modelovanju. Da li postoji, ili koje je odstupanje između idealizovanih matematičkih modela i stvarnog ljudskog poimanja sličnosti? Osnovna ideja je da se ukaže na ograničenja postojećih mera sličnosti i različitosti, da se razmotri izbor metrika odstojanja u zavisnosti od prirode podataka, da se osvrne na osnovne matematičke pretpostavke, i naglasi značaj uključivanja matematičke logike u modelovanje sličnosti. Značajan deo diskusije biće usmeren ka motivaciji za uvođenjem tehnika računarske inteligencije za modelovanje sličnosti kao što su fazi logika i druge viševrednosne logike. Cilj predavanja je da se prikaže mogućnost za primenu modela sličnosti zasnovanih na interpolativnoj Bulovoj algebri (IBA) u problemima klasifikacije i istakne značaj interpretabilnosti modela mašinskog učenja za donošenje uspešnih odluka.

Computational Intelligence Techniques for Modeling Similarity - IBA-based Approach

Ana Poledica, University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences

In machine learning (ML) and computational intelligence (CI), one of the fundamental concepts in various ML algorithms is the notion of similarity. As a central topic in this lecture, similarity will be reflected in terms of human perception of similarity and the tools used to measure/quantify it. Is there, or what is a discrepancy between idealized mathematical models and actual human perception of similarity? The main idea is to discuss limitations of existing similarity and dissimilarity measures, the choice of distance metric based on the nature of data, to revise basic mathematical assumptions, and to argue on the importance of including mathematical logic into similarity modeling. A significant part of the discussion will focus on motivation to introduce CI-based techniques for modeling similarity such as fuzzy logic and other multi-valued logics. This lecture aims to present the possibility of using the similarity framework based on interpolative Boolean algebra (IBA) in classification and to highlight the importance of interpretability of ML models for effective decision-making.

AUTORSKI RADOVI

The influence of the IT sector in the modernization of the energy sector and the development of new competencies in higher education

Zorica Bogičević, Danijela Zubac, Uroš Jakšić, Bojan Prlinčević and Milan Mišić

Abstract— Digitalization is a significant factor in the modernization of education, especially in the field of engineering disciplines. With a focus on EU strategic goals, such as the Green Agenda and the energy transition, the challenges facing the local energy sector were discussed in consortium of NEST4WB ERASMUS+ project. The state of the energy capacity in the EU and WB countries was analyzed. This paper presents the results of statistical methods used for a comparative analysis of the state of the energy capacity in the EU and the northern region of Kosovo and Metohija (KiM)¹. The results of the analysis and the analysis of the state of energy infrastructure indicate that the modernization of the energy sector in this region is of great importance for inclusion in the energy transition process. In response to these global challenges, it is necessary to integrate modern technologies into the teaching process of higher education.

I. INTRODUCTION

Digitalization plays a key role in the transformation of the energy sector, both in the local context and within the broader European Union. [1]. In the European Union, the digitalization of energy is one of the pillars of the Green Agenda and the energy transition, which aims to reduce carbon emissions, increase the use of renewable energy sources and ensure energy security. In this context, KiM need to modernize outdated infrastructure of energetic sector and comply with EU regulations represents a significant challenge, but also an opportunity for the development and implementation of digital solutions.

The introduction of modern digital tools and technologies, such as supervisory, control and data acquisition systems

(SCADA systems), plays a key role in this process. SCADA systems have become the foundation of the modern energy sector, enabling real-time monitoring, optimization of energy production, distribution and consumption, as well as early detection of potential problems.[2]

In this context, higher vocational schools of engineering disciplines play a key role in preparing new generations of experts capable of responding to the complex challenges of the modern energy sector. In order for students to acquire knowledge and skills, it is necessary to integrate modern technologies into the teaching process and create innovative teaching methods. This paper explores the impact of digitalization on the development of new competencies in the field of energy engineering, with a particular focus on the state of the energy sector in KiM and compliance with European standards.

II. ENERGY POTENTIAL AND RESOURCES

Energy systems in the KiM region are undergoing complex and long-term transformations driven by technological, economic and regulatory challenges. The state of infrastructure, the dominance of fossil fuels in the energy mix, low energy efficiency, and the lack of integration of renewable energy sources are some of the main characteristics of the energy sector. In the KiM region, the energy capacity lignite, wind and solar energy, biomass and water energy is presented in the Table I. [3,4].

TABLE I
ENERGY CAPACITY KiM

Fuel	Name	Year	Installed capacity [MW]	Available capacity [MW]
Lignite	Kosovo A3	1970	200	135
	Kosovo A4	1971	200	135
	Kosovo A5	1975	210	132
	Kosovo B1	1983	339	260
	Kosovo B2	1984	339	260
Wind		-	137	-
Water		-	110-132	-
PV		-	10	-
Biomass		-	1,2	-
Total		-	1546-1568	-

Z. Bogičević, Academy of Applies Studies Kosovsko Metohijska, Leposavic, zorica.bogiccevic@akademijakm.edu.rs.

D. Zubac, Academy of Applied Studies Kosovsko Metohijska, Leposavic, e-mail: danijela.zubac@akademijakm.edu.rs.

U. Jakšić, Academy of Applies Studies Kosovsko Metohijska, Leposavic, uros.jaksic@akademijakm.edu.rs.

B. Prlinčević, Academy of Applies Studies Kosovsko Metohijska, Leposavic, (+381642192267) bojan.prlincevic@akademijakm.edu.rs.

M.Mišić, Academy of Applies Studies Kosovsko Metohijska, Leposavic, milan.misic@akademijakm.edu.rs.

¹ Kosovo and Metohija is an autonomous province within the Republic of Serbia and based on the Resolution of the United Nations Security Council 1244 from 10. Jun 1999. it is under the temporary civil and military administration of the UN, <http://www.srbija.gov.rs/pages/article.php?id=45630>

The total installed power capacity in Kosovo and Metohija is 1568MW, of which 82% comes from lignite. The three units of the Kosovo A thermal power plant that are still in operation are at the end of their technical lifespan. Two of the units were put into operation more than 50 years ago. This leads to a higher probability of failures and frequent unplanned outages. The Kosovo A and Kosovo B units must be reconstructed to meet the required emission standards.

Examining the relationship between combined energy capacity (MW) in Europe (Note: These data are approximate and may vary depending on the source and period) and energy capacity in the Kosovo and Metohija region, using mathematical statistics, leads to the following results:

TABLE II
ENERGY CAPACITY EU [5]

	Energy capacity MW (KUM)	Energy capacity GW (EU)
Coal	922	150
Wind	137	300
Water	132	200
Sun	10	250
Biomass	1.2	100

The first step in correlation theory is to plot ordered pairs (x_i, y_i) and obtaining a diagram (scatter diagram), Figure 1.

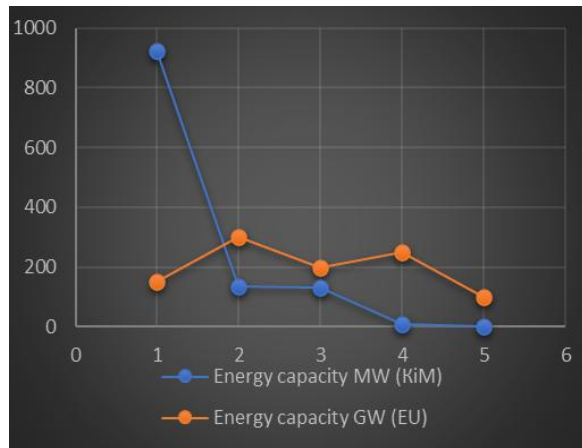


Figure 1. Scatter diagram

Based on this diagram, it can be determined:

- whether there is a stochastic dependence of the variables (correlation);
- if there is a correlation, whether it is linear or nonlinear;
- if there is a correlation, whether it is weak or strong.

The value of the correlation coefficient gives an estimate of the strength of the linear correlation [8] presented in table III.

TABLE III
VALUE OF THE CORRELATION COEFFICIENT

r_{xy}	correlation coefficient
$r_{xy} \leq 0,3$	weak correlation
$0,5 < r_{xy} < 0,7$	significant correlation
$0,7 \leq r_{xy} \leq 0,9$	strong correlation
$r_{xy} > 0,9$	very strong correlation

Correlation is function of:

$$r_{x,y} = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right) \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)}{\sqrt{\left(n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \right) \left(n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 \right)}}, |r_{xy}| \leq 1 \quad (1)$$

Two variables are required for a mathematical correlation test X and Y , with values $(x_i, i = 1, 2, \dots, n)$ and $(y_i, i = 1, 2, \dots, n)$, Table IV.

TABLE IV
PARAMETERS FOR CALCULATING THE CORRELATION COEFFICIENT

No	x	y	x^2	y^2	xy
1	922	150	850084	22500	138300
2	137	300	18769	90000	41100
3	132	200	17424	40000	26400
4	10	250	100	62500	2500
5	1.2	100	1.44	10000	120
Total	1202	1000	886378.44	225000	208420

The test result $r_{xy} = 0.262$ shows that the correlation is weak.

The weak correlation suggests that there is a weak similarity or dependence between the energy capacities of these two regions.

The result shows that renewable energy sources are underrepresented in our region. In the future, the greatest effort should be invested in the construction of these power plants.

In this context, Higher Vocational Schools of Engineering disciplines play a key role in preparing new generations of experts capable of responding to the complex challenges of the modern energy sector.

III. MODERNIZATION OF OUTDATED INFRASTRUCTURE ED KOSOVSKA MITROVICA

The modernization of the northern part of Kim, more precisely JP Elektrokosmet – Pristina, ED K. Mitrovica, began in 2011. A large project was implemented that related to the modernization of the medium-voltage electricity distribution network and the telecommunications connection of the Kosovska Mitrovica substation with the EPS telecommunications system.

The administrative building of the ED Kosovska Mitrovica is located directly next to the 35/10kV Mitrovica 1 substation.

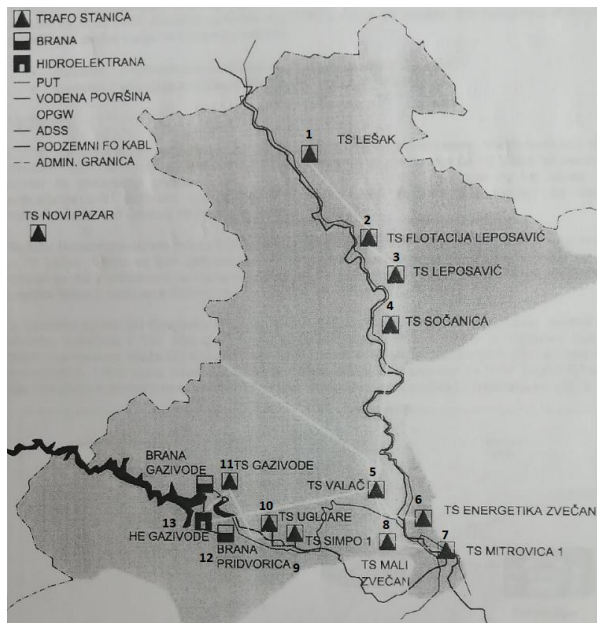


Figure 2. The facilities that are part of the Kosovska Mitrovica Municipal District [5]

The facilities that are part of the Kosovska Mitrovica Municipal District are:

Administrative building of the ED Kosovska Mitrovica, TS 35/10kV Lesak (1), TS 35/10kV Flotation Leposavić (2), TS 35/10kV Leposavić (3), TS 35/10kV Sočanica (4), TS 110/35/10kV Valač (5), TS 35/10kV Energy Zvečan (6), TS 35/10kV Mitrovica1 (7), TS 35/10kV Mali Zvečan (8), TS 35/10kV Simpo 1 (9), TS 35/10kV Ugljare (10), Gazivode Dam (11), Pridvorica Dam (12), TS 35/10kV Gazivode (13).

This project was completed in 2018 and the remote control and management system on the medium-voltage 10kV network was enabled.

All facilities of the ED Kosovska Mitrovica are connected by a telecommunications interface that enables the transmission of all necessary signals to the administrative building and connects the entire system to the main network of EPS (Electric Power Company of Serbia).

The modernization process of the ED Kosovska Mitrovica encompasses a wide range of activities, including:

- Smart grid
- Data Analytics and Artificial Intelligence (AI)
- Automation and Control
- Green Energy Resources and Renewable Energy Integration [6,7]
- Security and Protection

Infrastructure modernization involves not only technological changes but also a significant impact on the profile of knowledge and skills required to work in this sector.

This process opens up new opportunities, but also requires intensive development of competencies among engineers and other professionals.

Engineering universities play a key role in shaping the workforce that can respond to these challenges. Adapting curricula to incorporate new technologies and methodologies becomes essential.

IV. DISCUSSION

The role of higher vocational schools of engineering disciplines plays a key role in preparing new generations of experts capable of responding to the complex challenges of the modern energy sector.

In order for students to acquire the knowledge and skills necessary to work in a digitalized environment, at AASKM² it is necessary to integrate modern technologies into the teaching process and create innovative teaching methods in the field of:

Smart grid technology

Key learning outcome:

Getting to know the key technologies that make up smart energy networks, including sensors, smart metering devices, automation, protection, etc.

Study of the benefits and challenges associated with the implementation of smart grids, including increased efficiency, integration of renewable energy sources, improved reliability and security, and the need for security solutions.

Analysis and design of smart energy systems, including planning, implementation and management.

Development of awareness of the social, economic and environmental implications of smart networks at the local and global level.

Decarbonization and promotion of renewable sources

Key learning outcome:

Study of the strategy for reducing emissions of harmful gases in the energy sector, with an emphasis on renewable energy sources.

Analysis of the economic viability of RES, including production costs, competitiveness with conventional energy sources, return on investment.

Understanding the socio-ecological aspects of the use of renewable energy sources, including the impact on the local community, biodiversity and air and water quality.

Cybersecurity for Energy Systems

Key learning outcome:

Understand the unique cybersecurity challenges facing the energy sector, particularly in the context of smart grids and renewable energy systems.

² Academy of apply science of Kosovo and Metohija.

Learn more about specific security measures and technologies that can protect energy data and data storage infrastructure.

Investigate a case study of cyber security in the environment, in order to contribute to ensuring data integrity and system reliability.

Project Management in Energy Sector

Key learning outcome:

Understands the specific requirements and challenges of project management in the energy sector, including regulatory and environmental aspects.

Learn more about the project life cycle for energy sector projects, from conception to decommissioning.

Gain insight into effective stakeholder management and communication strategies tailored to energy projects.

Analyze case studies of successful and unsuccessful energy projects to identify best practices and common pitfalls.

V. CONCLUSION

The results of the analysis of the state of the energy sector in this paper indicate that accelerated modernization of Kosovo and Metohija is necessary to keep pace with new trends in the energy sector in Europe.

The incorporation of contemporary technologies and progressive pedagogical strategies within higher vocational institutions focused on engineering, such as AASKM, is essential for equipping future professionals with the skills necessary to tackle the complexities of today's energy landscape. The primary focal points—smart grid technology, decarbonization and promotion of renewable energy, cybersecurity for energy infrastructures, and project management—establish a robust foundation for training students to make meaningful contributions to sustainable and efficient energy systems.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported in part by EU under grant agreement no. 101129321 project ERASMUS+ NEST4WB: New energy competence system and technology for WB energy stability system curriculum reform. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

REFERENCES

- [1] David Bailey, *Practical SCADA for Industry*, ISBN 506 5805353, ELSEVIER, Great Britain, 2003.
- [2] Radojle M.Radetic, *Prirucnik za odrzavanje visokonaponske opreme*, ResearchGate, Bor, Novembar 2017.
- [3] Energetaska strategija Republike Kosova 2022-2031, Ministria e ekonomise, RK, 2022.

- [4] Strategija razvoja energetike do 2025 godine sa projekcijama do 2030 u Republici Srbiji, Sluzbeni glasnik RS, br.101/2015,
- [5] Tehnicka dokumentacija i podaci JP Elektrokosmet, JP Elektrokosmet – ED Kosovska Mitrovica, Casopis Energija br 1-2-2014.
- [6] Sofijska deklaracija o Zelenoj agendi za zapadni Balkan, Regional Cooperation Council, 2020.
- [7] Digitalization and energy, Interational Energy Agency IEA, October, OECD/IEA 2017.
- [8] S. Vukadinovic: "*Elementi teorije verovatnoce i matematicke ststistike*", p.171, COBISS.SR-ID – 512031651, Beograd, 1973.

Generički softverski sistem za proveru vrednosnih i strukturnih ograničenja domenskog modela

A. Korunović, M. Milić, S. Vlajić

Sadržaj— U radu je opisan generički softverski sistem za proveru vrednosnih i strukturnih ograničenja domenskog modela. Cilj istraživanja jeste da se kreira fleksibilan i održiv softverski sistem koji omogućava jednostavno dodavanje novih validacionih pravila i stanja, bez značajnije promene ostatka sistema. Razvijeno softversko rešenje omogućava dinamičko upravljanje ograničenjima i stanjima objekata. Korišćenjem *State* i *Template method* paterna projektovanja i refleksije, moguće je promeniti stanje objekta i pozivati odgovarajuće metode u vreme izvršavanja programa.

Ključne reči: *Generički softverski sistem, refleksija, vrednosna ograničenja domenskog modela, strukturna ograničenja domenskog modela, paterni projektovanja.*

I. UVOD

Definisanje vrednosnih i strukturnih ograničenja predstavlja osnovni korak u razvoju sistema u kojima je bitno osigurati tačnost, konzistentnost i integritet podataka [1]. Vrednosna ograničenja definišu dozvoljene vrednosti atributa domenskih klasa, dok strukturna ograničenja opisuju kardinalnosti preslikavanja između domenskih klasa sistema [2].

Softverski sistemi veoma često zahtevaju implementaciju pravila validacije koja se dinamički prilagođavaju potrebama korisnika. Neretko, implementacija validacionih pravila dovodi do nagomilavanja programskog koda, sa pojavom novih korisničkih zahteva, pri čemu jedno ograničenje često zahteva proveru na više mesta u programu, što povećava rizik od nekonzistentnosti u implementaciji [1]. Da bi se prevazišli ovi izazovi, neophodno je razviti generička rešenja koja omogućavaju ponovnu upotrebu validacionih pravila i lako proširenje sistema u skladu sa promenljivim zahtevima korisnika. Generičke sisteme karakteriše prisustvo standardizovanog jezgra (generičkih komponenti) koje se nadograđuje sa prilagodljivim funkcionalnim elementima, omogućavajući fleksibilnost i modularnost u njihovoj primeni [3].

Prethodna istraživanja autora ovog rada [4]-[6] bila su

Ana Korunović, Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, Jove Ilića 154, 11000 Beograd, Srbija (e mail: ana.korunovic@fon.bg.ac.rs).

Miloš Milić, Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, Jove Ilića 154, 11000 Beograd, Srbija (e mail: milos.milic@fon.bg.ac.rs).

Siniša Vlajić, Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, Jove Ilića 154, 11000 Beograd, Srbija (e mail: sinisa.vlajic@fon.bg.ac.rs).

usmerena na razvoj rešenja za proveru vrednosnih i strukturnih ograničenja u softverskim sistemima, primenom paterna projektovanja. Ovaj rad predstavlja nastavak tih istraživanja i u njemu je opisan generički softverski sistem koji omogućava proveru vrednosnih i strukturnih ograničenja domenskih klasa shodno stanju u kom se objekat nalazi (dinamičko upravljanje stanjima objekata). Razvijeni sistem omogućava lako dodavanje novih validacionih pravila i stanja, bez potrebe za bitnijim promenama u postojećoj arhitekturi sistema. Opšta struktura *State* paterna projektovanja je primenjena kako bi se efikasno upravljalo stanjima i prelazima između istih [7]. Takođe, u softverskom sistemu je korišćen koncept refleksije za dinamičko pozivanje metoda i instanciranje stanja objekata (metode za proveru ograničenja se određuju u vreme izvršavanja, u zavisnosti od trenutnog stanja objekta).

Generički softverski sistem opisan u ovom radu kreirao je profesor Siniša Vlajić. Ovaj sistem se koristi u nastavi na predmetu *Projektovanje softvera* koji je obavezan deo studijskog programa *Informacioni sistemi i tehnologije*, na modulu *Softversko inženjerstvo*. Predmet se izvodi na trećoj godini osnovnih akademskih studija na Fakultetu organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu. Studenti imaju mogućnost da ovaj sistem koriste prilikom izrade svog projekta, odnosno seminarskog rada (seminarski rad je obavezan deo ispita iz pomenutog predmeta).

Rad je organizovan u šest poglavlja. Nakon uvodnog dela rada, objašnjena su vrednosna i strukturna ograničenja domenskog modela (drugo poglavlje). U trećem poglavlju je objašnjen *State* patern projektovanja, dok je u četvrtom objašnjen koncept refleksije. U petom poglavlju objašnjen je generički softverski sistem za validaciju vrednosnih i strukturnih ograničenja domenskog modela. Šesto poglavlje sadrži zaključke rada i predloge budućih istraživanja.

II. OGRANIČENJA DOMESKOG MODELA

Vrednosna i strukturna ograničenja domenskog modela predstavljaju pravila i uslove softverskog sistema koji moraju biti ispunjeni kako bi se podaci sačuvali unutar sistema [2], [4], [5], [6]. Ukoliko se prilikom razvoja softverskog sistema jasno ne definišu ograničenja, sistemi mogu doći u stanje nekonzistentnosti i nepredvidivog ponašanja. Ograničenja se mogu podeliti na vrednosna (prosta i složena) i strukturna ograničenja [2]. Definisanjem ograničenja može se sprečiti

neželjeno ponašanja sistema, unos neispravnih i nekonzistentnih podataka, kao i neispunjenje korisničkih zahteva.

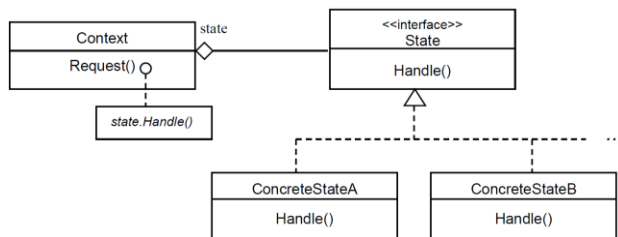
Vrednosna ograničenja definišu dozvoljene vrednosti atributa domenskih klasa i mogu se podeliti na prosta i složena vrednosna ograničenja [2]. Prosta vrednosna ograničenja podrazumevaju ograničenja na tip atributa i vrednost atributa domenskih klasa, dok složena vrednosna ograničenja obuhvataju proveru međuzavisnosti između atributa iste ili različitih domenskih klasa.

Na primer, u sistemu evidentiranja ocena studenata, prosto vrednosno ograničenje može biti da *ocena* studenta na ispitu bude u intervalu od 5 do 10. Složeno vrednosno ograničenje može uključivati proveru prilikom prijave diplomskog rada, odnosno, da li je broj položenih ispita studenta jednak ukupnom broju ispita predviđenih studijskim programom.

Strukturna ograničenja definišu odnose i kardinalnosti preslikavanja između domenskih klasa, odnosno pravila koja definišu način na koji su entiteti povezani unutar sistema [2]. Na primer, strukturna ograničenja se mogu primeniti na entitete *Student*, *Predmet* i *Ispit*. Prilikom izmene ili čuvanja, strukturno ograničenje može biti takvo da *Ispit* mora biti povezan sa tačno jednim *Predmetom* i jednim *Studentom* (INSERT (UPDATE) Ispit RESTRICTED Predmet, Student).

III. STATE PATTERN

State patern je jedan od 23 paterna projektovanja objavljenih u knjizi „*Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*“ [7]. Korišćenjem *State* paterna objektu je omogućeno da promeni svoje ponašanje kada se njegovo stanje promeni [2]. Primenom opšte strukture *State* paterna objekat može da menja svoje ponašanje dinamički, kada se njegovo stanje promeni. Na Sl. 1 prikazana je opšta struktura *State* patern, koju čini kontekst (*Context*), interfejs stanje (*State*) i konkretno stanje (*ConcreteState*). Kontekst je klijent koji upravlja stanjima u kojima se objekat nalazi. Interfejs *State* definiše metodu *Handle()*, koju sva stanja implementiraju u skladu sa svojim ponašanjem.



Slika 1. Opšta struktura *State* patern [7]

IV. REFLEKSIJA KAO GENERIČKI MEHANIZAM

Refleksija predstavlja generički mehanizam koji omogućava dobijanje informacija o klasama, njenim metodama i atributima u vreme izvršavanja programa [8]. Koristeći refleksiju moguće je dinamički inicijalizovati

objekte, postaviti vrednost atributa i/ili pozivati metode (dinamički pristupati statičkim konceptima - klasama, metodama i atributima) [9]. Jedna od osnovnih primena refleksije jeste dinamičko pozivanje metoda i instanciranje objekata. Na primer, pomoću metoda *forName(String name)* i *newInstance()* moguće je kreirati instance klasa, a pomoću klase *Method* i metode *invoke(Object obj, Object[] args)* moguće je pozvati metodu bez potrebe da se eksplicitno definišu reference u programskom kodu.

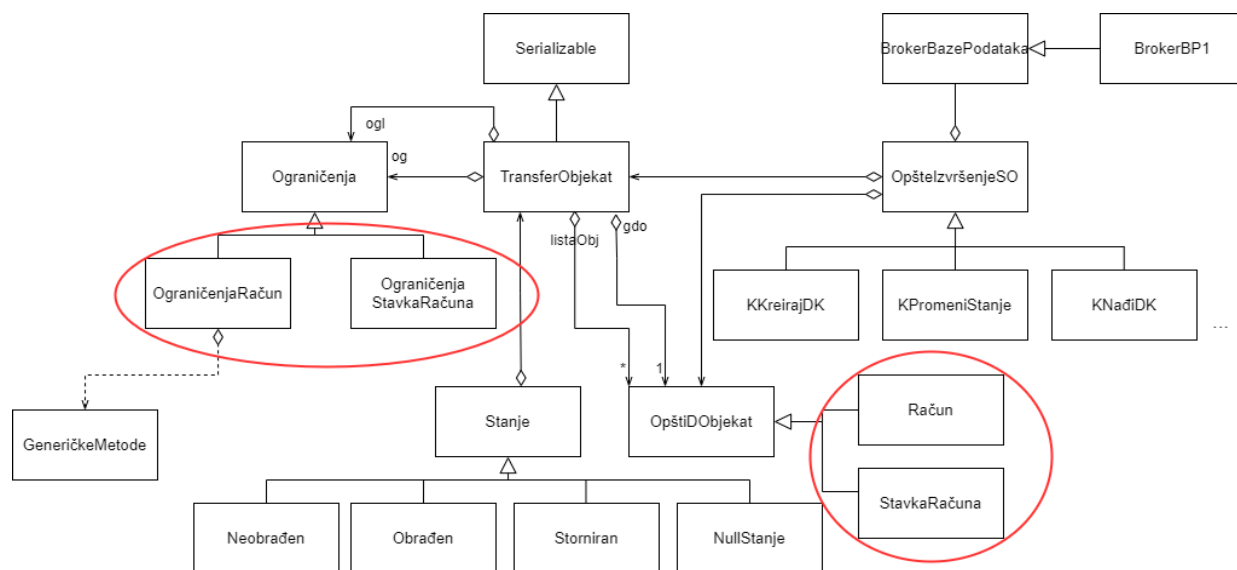
U generičkim softverskim sistemima refleksija može doprineti smanjenju kompleksnosti koda i povećanju njegove fleksibilnosti i prilagodljivosti novim korisničkim zahtevima [10].

V. GENERIČKI SOFTVERSKI SISTEM ZA PROVERU VREDNOSNIH I STRUKTURNIH OGRANIČENJA DOMENSKOG MODELA

Generički softverski sistem razvijen je sa ciljem da obezbedi proveru vrednosnih i strukturnih ograničenja domenskog modela, kako bi sistem pravilno funkcionisao. Provera ovih ograničenja vrši se prilikom izvršavanja sistemskih operacija nad domenskim modelom. Systemske operacije predstavljaju osnovne funkcije sistema, koje se mogu koristiti iz okruženja sistema (pretraga, brisanje, dodavanje i ažuriranje) [2]. Strukturna i vrednosna ograničenja se mogu proveravati pre nego što se izvrši systemska operacija (preduslovi - uslovi koji moraju biti ispunjeni da bi se izvršila systemska operacija), kao i nakon izvršenja systemske operacije (postuslovi - uslovi koji moraju biti ispunjeni nakon što se izvrši systemska operacija). U razvijenom generičkom sistemu, preduslovi uključuju proveru prostih i složenih vrednosnih ograničenja, kao i strukturnih ograničenja, dok postuslovi predstavljaju operacije provere ograničenja i promene stanja objekata.

Arhitektura razvijenog softverskog sistema se zasniva na generičkim klasama (apstrakcijama), koje čine strukturu održivom, ponovo upotrebljivom i prilagodljivom različitim korisničkim zahtevima. U razvijenom softverskom sistemu (Sl. 2) klasa *Ograničenja* definiše operacije provere vrednosnih i strukturnih ograničenja, dok klase koje je nasleđuju (*OgraničenjaRačun* i *OgraničenjaStavkaRačuna*) implementiraju specifična validaciona pravila za određene entitete sistema. Upravljanje stanjima implementirano je pomoću opšte strukture *State* patern (klase *Stanje*, *Neobrađen*, *Obrađen*, *Storniran* i *NullStanje*). Svaki račun sistema se nalazi u jednom od unapred definisanih stanja, za koje važe određena vrednosna i strukturna ograničenja.

Systemske operacije koje se mogu izvršavati nad domenskim objektima, definisane su u klasama koje nasleđuju klasu *OpšteIzvršenjeSO*. Na primer, klasa *KKreirajDK* određuje systemsku operaciju kreiranja domenskog objekta, dok klasa *KPromeniStanje* definiše operaciju promene stanja. U klasi *OpšteIzvršenjeSO* nalazi se metoda *opsteIzvršenjeSO()* koja definiše opšti tok izvršavanja sistemskih operacija (generički tok izvršavanja; korišćen je *Template method* patern [7]).

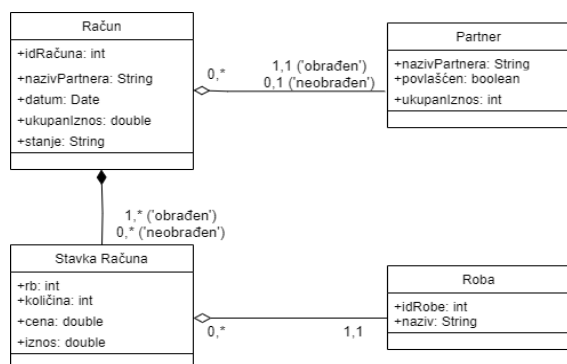


Slika 2. Dijagram klasa generičkog softverskog sistema

Klasa *TransferObjekat* odgovorna je da prenosi podatke između delova aplikacije, dok klasa *BrokerBazePodataka* sadrži generičke metode za izvršavanje operacija nad bazom podataka. Metode definisane u *BrokeruBP1* nisu specifične ni za jednu domensku klasu, već odgovaraju svim klasama koje nasleđuju klasu *OpštiDObjekat*.

Generičko svojstvo ovog sistema ogleda se u njegovoj sposobnosti da se lako prilagodi novim korisničkim zahtevima i različitim domenima problema. Dodavanje novih domenskih klasa, ograničenja za domenske klase ili stanja ne zahteva velike izmene u postojećoj strukturi. Takođe, komunikacija unutar sistema se odvija između apstrakcija, tj. generičkih (opštih) klasa. Na Sl. 2 klase *Račun*, *StavkaRačuna*, *OgraničenjaRačun* i *OgraničenjaStavkaRačuna* predstavljaju proširenje generičkog sistema, odnosno klase koju su dodate za domen problema vođenja evidencije o računima (generički softverski sistem je prilagođen domenskom modelu).

Domen problema softverskog sistema jeste vođenje evidencije o računima. Na Sl. 3 prikazan je domenski model.

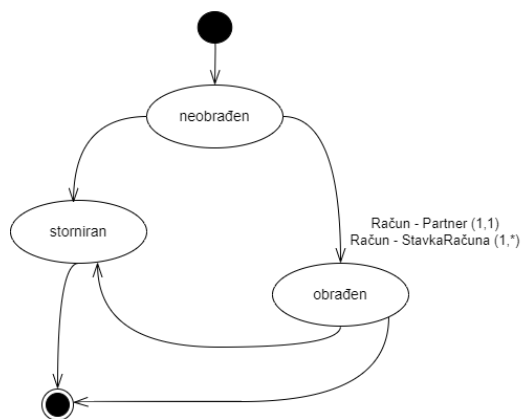


Slika 3. Domenski model generičkog softverskog sistema

Kardinalnosti preslikavanja između domenskih klasa zavise od stanja u kojem se nalazi entitet *Račun*. Ukoliko je *Račun* u

stanju *neobrađen* donja granica preslikavanja od *Računa* ka *Partneru* i od *Računa* ka *Stavci Računa* je 0. Kada se *Račun* nalazi u stanju *obrađen*, donje granice ka *Partneru* i ka *Stavci Računa* moraju biti 1. *Račun* može biti povezan sa najviše jednim *Partnerom* i više *Stavki Računa*, dok svaka *Stavka Računa* sadrži referencu na određenu *Robu*.

U sistemu je primenjena opšta struktura *State* paterna projektovanja, kako bi se obezbedilo da objekti klase *Račun* dinamički menjaju svoje ponašanje kada se njihovo stanje promeni. Za svako stanje su definisana specifična pravila za proveru vrednosnih i strukturnih ograničenja, kao i dozvoljeni prelazi u druga stanja. Na Sl. 4 dat je dijagram prelaza stanja domenske klase *Račun*.



Slika 4. Dijagram prelaza stanja *Računa*

Kada je *Račun* u stanju *neobrađen*:

- nad njim se mogu izvoditi operacije *kreiraj*, *promeni*, *obrađi* i *storniraj*, a ne može se izvesti operacija *obriši*. *Račun* iz stanja *neobrađen* može preći u stanje *obrađen* (kada se nad računom izvodi operacija *obrađi*) ili *storniran* (kada se nad računom izvodi operacija *storniraj*);

- nad njegovim stavkama mogu se izvoditi operacije *kreiraj*, *obriši* i *promeni*.

Kada je *Račun* u stanju *obrađen*:

- nad njim se ne mogu izvoditi operacije *kreiraj*, *obriši*, *promeni* i *obradi*, već se nad njim može izvesti jedino operacija *storniraj*. *Račun* iz stanja *obrađen* može preći u stanje *storniran*;
- nad njegovim stavkama ne mogu se izvoditi operacije *kreiraj*, *obriši* i *promeni*.

Kada je *Račun* u stanju *storniran*:

- nad njim se ne mogu izvoditi operacije *kreiraj*, *obriši*, *promeni*, *obradi* i *storniraj*. *Račun* iz stanja *storniran* ne može preći ni u jedno drugo stanje;
- nad njegovim stavkama ne mogu se izvoditi operacije *kreiraj*, *obriši* i *promeni*.

Prilikom izvršavanja neke od sistemskih operacija, potrebno je proveriti preduslove i postuslove. Primeri definisanih preduslova su:

- Prosta vrednosna ograničenja: datum računa mora biti jednak ili raniji od trenutnog datuma; stanje računa mora imati vrednost *neobrađen*, *obrađen* ili *storniran*; količina na stavci računa mora biti veća od nule; cena na stavci računa mora biti veća od nule.
- Složena vrednosna ograničenja: ukoliko je račun u stanju *neobrađen*, ukupan iznos na računu ne sme biti manji od nule; ukoliko je račun u stanju *obrađen*, ukupan iznos na računu ne sme biti manji ili jednak nuli; ukupan iznos računa jednak je zbiru iznosa svih stavki računa; ukupan iznos na stavci računa mora biti jednak proizvodu količine i cene te stavke.
- Strukturna ograničenja: račun u stanju *neobrađen* može postojati bez stavki i bez povezanosti sa partnerom; kada račun pređe u stanje *obrađen* ograničenje je *INSERT (UPDATE) Racun RESTRICTED Partner, StavkaRacuna*; prilikom promene ili unosa novog računa potrebno je da račun bude povezan sa partnerom koji postoji u sistemu.

Primeri definisanih postuslova su:

- Nakon unosa ili brisanja stavke računa potrebno je da se promeni ukupan iznos računa kome pripada stavka računa koja se menja;
- Nakon što se nad računom izvrši operacija *obradi* potrebno je povećati vrednost atributa ukupan iznos kod partnera tog računa za vrednost ukupnog iznosa računa.

Refleksija je primenjena u sistemu za dinamičko kreiranje objekata, pozivanje metoda i pristup atributima, na osnovu podataka dostupnih u toku izvršavanja programa. Na primer, refleksija se koristi u klasi *KPromeniStanje*, kako bi se obezbedio poziv metode za proveru preduslova, odgovarajuće klase stanja.

VI. ZAKLJUČAK

Generički softverski sistem koji je razvijen omogućava proveru vrednosnih i strukturnih ograničenja entiteta u skladu sa trenutnim stanjem objekta (primena validacionih pravila u vreme izvršavanja programa). Implementacijom *State* paterna jasno su definisana stanja i prelazi između njih, dok je refleksija omogućila fleksibilno pozivanje metoda i instanciranje stanja objekata. Razvijeni sistem je generički i može se primeniti na različite domene problema. Ovaj rad predstavlja nastavak naših prethodnih istraživanja [4]-[6], koja su usmerena na projektovanje i primenu rešenja za proveru vrednosnih i strukturnih ograničenja u softverskim sistemima. Ovom temom se bavimo sa ciljem unapređenja edukacije, tj. kako bismo studentima pružili drugačije pristupe proveru vrednosnih i strukturnih ograničenja.

Pravci daljeg istraživanja biće usmereni na nadogradnju softverskog sistema dodavanjem novih paterna projektovanja i/ili vrednosnih i strukturnih ograničenja. Takođe, planirana je i analiza uticaja refleksije na performanse razvijenog softverskog sistema.

ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju Univerzitetu u Beogradu - Fakultetu organizacionih nauka, koji je finansijski podržao ovo istraživanje.

LITERATURA

- [1] L. Frohofer, G. Glos, J. Osrael, and K. Goeschka, "Overview and Evaluation of Constraint Validation Approaches in Java," in *Proc. Int. Conf. Softw. Eng.*, 2007, pp. 313–322. doi: 10.1109/ICSE.2007.60.
- [2] S. Vlajić, *Projektovanje softvera (Skripta – Radni materijal)*, 2020. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/344459754_PROJEKTOV_NE_SOFTVERA_SKRIPTA_RADNI_MATERIJAL_2020. [Accessed: Dec. 16, 2024].
- [3] L. Silsand and G. Ellingsen, "Generification by Translation: Designing Generic Systems in Context of the Local," *J. Assoc. Inf. Syst.*, vol. 15, pp. 177–196, 2014. doi: 10.17705/1jais.00358.
- [4] A. Korunović, M. Milić, D. Savić, I. Antović, and S. Vlajić, "Projektovanje vrednosnih i strukturnih ograničenja korišćenjem paterna projektovanja," in *Sym-Op-Is 2024: 51. Međunarodni simpozijum o operacionim istraživanjima*, Tara, Serbia, 2024.
- [5] A. Korunović, M. Milić, and S. Vlajić, "Projektovanje vrednosnih ograničenja primenom Interpretera paterna," in *Proc. SymOrg 2024: Međunarodni simpozijum*, Zlatibor, Serbia, 2024.
- [6] A. Korunović, M. Milić, I. Antović, D. Savić, and S. Vlajić, "Using Design Patterns in Modeling Software System Constraints," in *Proc. 20th China-Europe Int. Symp. Softw. Eng. Educ. (CEISEE 2024)*, Belgrade, Serbia, 2024.
- [7] E. Gamma, R. Helm, R. Johnson, and J. Vlissides, *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Addison-Wesley, 1995.
- [8] S. Vlajić, D. Savić, V. Stanojević, I. Antović, and M. Milić, *Projektovanje softvera – Napredne Java tehnologije*. Beograd: Zlatni Presek, 2008.
- [9] D. Landman, A. Serebrenik, and J. J. Vinju, "Challenges for Static Analysis of Java Reflection—Literature Review and Empirical," in *Proc. 39th Int. Conf. Softw. Eng. (ICSE)*, Buenos Aires, Argentina, 2017, pp. 507–518. doi: 10.1109/ICSE.2017.53.
- [10] J. Kollár, M. Forgáč, and J. Porubán, "Adaptiveness of Software Systems Using Reflection," *Acta Electrotechnica et Informatica*, vol. 7, no. 3, pp. 1–5, 2007.

Ubrzavanje upita i performansi MongoDB baze korišćenjem mehanizma indeksiranja

Predrag P. Imšić, Asistent, FON, Vladimir I. Belča, Asistent FON¹

Sadržaj—Ovaj rad se bavi istraživanjem i pregledom tehnika za ubrzavanje upita i poboljšanje performansi *MongoDB* baza podataka korišćenjem mehanizma indeksiranja. Glavni cilj je izvršiti pregled vrsta indeksa, sagledati njihovu primenu i efekte koji se odražavaju na performanse upita tokom korišćenja u realnom softverskom sistemu. Stavljanjem ovih mehanizama u upotrebu, ovaj rad sagledava prednosti i nedostatke svakog mehanizma i donosi zaključke koji mogu biti od ključnog značaja prilikom optimizacije *MongoDB* baza podataka.

I. UVOD

Koliko je brz i efikasan pristup podacima u okviru nekog softverskog rešenja ključan za njegovu uspešnost i monetizaciju, govori činjenica da je odziv i responzivnost sistema jedan od glavnih faktora koji utiče na korisničko zadovoljstvo. Arhitekta sistema za upravljanje bazama podataka imaju nimalo lak zadatak da odluče koja je tehnologija za upravljanje podacima najpodobnija za softverski sistem. Sa rastom kompleksnosti softverskih sistema, koji upravljaju najrazličitijim strukturama podataka, dolazi se do sve izraženije pojave poliglotske perzistencije, gde jedan softverski sistem upravlja podacima koristeći različite tehnologije [1]. Bilo da je reč o poliglotskoj perzistenciji ili korišćenju jedne tehnologije za upravljanje podacima, jedno je sigurno: čitanje i upisivanje podataka mora biti maksimalno optimizovano kako bi se ispunili gore opisani zahtevi, a i kako bi se stvorila idealna podloga za budući razvoj funkcionalnosti sistema.

U ovom radu je fokus usmeren na korišćenje *NoSQL* baze podataka *MongoDB*, i, konkretnije, kako da se na najbolji način iskoriste mehanizmi indeksiranja unutar softvera koji svoje podatke skladišti unutar *MongoDB* baze. Nakon klasifikacije indeksa, rad će se osvrnuti i na prikaz načina njihove primene, prvo u teoriji, pa potom i u praksi, na primeru sistema i baze podataka iz realnog sveta. Prilikom primene mehanizama indeksiranja na realnom primeru, biće detaljno sagledan njihov efekat i razlika u odnosu na čitanje podataka bez njihovog prisustva. Rad će se osvrnuti i na prednosti njihovog korišćenja, a svakako i izlistati koji su to nedostaci sa kojima se arhitekta moraju nositi kako bi uživali pogodnosti i poboljšane performanse.

II. VRSTE INDEKSA

Značaj indeksa ogleda se u činjenici da se bez njihovog postojanja nakon izvršenja upita moraju skenirati, tj. analizirati, sva dokumenta u kolekciji nad kojom se vrši upit. Kada se kreiraju indeksi, *MongoDB* koristi te indekse kako bi ograničio broj dokumenata koje mora da analizira, što dovodi do znatno boljih performansi čitanja podataka iz baze [2]. Po svojoj složenosti, indeksi mogu biti prosti i složeni. Ova podela nije specifična, ni usko vezana za *MongoDB* baze podataka, postoji i u ostalim sistemima za upravljanje bazama podataka, što onim relacionog tipa, što nerelacionog. Još jedna vrsta indeksa čije će karakteristike ovaj rad temeljno analizirati jeste tekstualni indeks.

A. Prosti indeksi

Prosti indeksi su indeksi koji se kreiraju nad jednim poljem u kolekciji dokumenata, bilo to polje u korenu dokumenta, bilo ugnježeno u okviru nekog objekta. Ova vrsta indeksa postoji u kolekcijama čak i bez kreiranja od strane korisnika, i to nad poljem *_id*, koje se automatski kreira za svaki novi dokument u kolekciji [3].

Pomenuti indeks nad *_id* poljem je *unique* indeks koji ima istu namenu kao *unique* indeksi u relacionim bazama podataka: sprečava dupliranje dokumenata, u slučaju *MongoDB* baze, sa ponavljajućim vrednostima polja *_id*. Može se kreirati i za bilo koje drugo polje koje treba da bude jedinstveno, npr. korisničko ime. Treba imati u vidu i *sparse* i *partial* indekse koji se često mešaju i ređe se koriste od *unique* indeksa. Razlika se ogleda u tome što se *sparse* indeksi kreiraju i koriste nad poljem dokumenta samo ako dokument zaista poseduje to polje. Sa druge strane, *partial* indeksi se kreiraju nad poljem dokumenta samo ukoliko to polje zadovoljava uslov koji je postavljen prilikom kreiranja *partial* indeksa, gde primer tog uslova može biti da dužina teksta treba da bude više od 50 karaktera [4].

B. Složeni indeksi

Češći su slučajevi da arhitekta sistema za upravljanje bazama podataka treba da iskoriste indekse nad dva ili više polja, u poređenju sa potrebom za korišćenjem indeksa nad jednim poljem. Tom prilikom se analiziraju upiti čije izvršavanje predstavlja usko grlo u aplikaciji, kao i polja koja se koriste za filtriranje (bilo da je reč o poređenju sa

¹Predrag P. Imšić, Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, Jove Ilića 154, 11000 Beograd (e-mail: predrag.imsic@fon.bg.ac.rs)

Vladimir I. Belča, Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, Jove Ilića 154, 11000 Beograd (e-mail: vladimir.belca@fon.bg.ac.rs)

konkretnom vrednošću ili opsegom vrednosti) i sortiranje. Nedovoljno pažljivo odabranom strategijom indeksiranja mogu se postići čak i lošiji rezultati nego pre upotebe indeksa, o čemu će se u ovom radu posvetiti više pažnje u narednom poglavlju. Glavne preporuke za kreiranje složenih indeksa se tiču redosleda navođenja indeksa prilikom njihovog definisanja: prvo se navode indeksi koji služe za poređenje vrednosti; nakon toga se navode indeksi nad poljima koje u upitima služe za sortiranje; i na kraju, indeksi nad poljima koja sadrže nizove vrednosti [5].

C. Tekstualni indeksi

MongoDB baza podataka je nastala sa idejom da zadovolji potrebu za skladištenjem velike količine podataka, i to u najvećem procentu podataka tekstualnog tipa. Još u samom povelju ideje o nerelacionoj bazi podataka sa prethodno pomenutom karakteristikom, prirodno se nametnula potreba za osmišljavanjem što boljeg rešenja za optimizaciju performansi tekstualne pretrage. Tekstualni indeksi su mehanizam koji je tu potrebu u potpunosti zadovoljio. *MongoDB* dozvoljava kreiranje maksimalno jednog tekstualnog indeksa po kolekciji, ali se u tom indeksu može navesti više tekstualnih polja iz dokumenata. Nakon izvršene komande za kreiranje indeksa, sledi proces izdvajanja svake reči iz tih tekstualnih polja i kreiranja indeksa sa njihovom vrednošću. Imajući u vidu ovu činjenicu, ne treba zaboraviti da se svi kreirani indeksi čuvaju u RAM memoriji, stoga ne treba kreirati tekstualni indeks nad poljem ukoliko stvarno ne postoji potreba za pretragom. Za razliku od običnog *regex* izraza, pored naravno netumačenja cele kolekcije dokumenata prilikom pretrage, pretraga korišćenjem tekstualnog indeksa će vratiti rezultate koji sadrže i izvedenice reči koja je unesena u pretragu, a ne samo baš tu reč kao rezultat testiranja *regex* izraza [6].

III. REZULTATI PRIMENE INDEKSA

Ideja prikaza efekata indeksa u ovom radu se ogleda u tome da se prvo objasni kolekcija iz *MongoDB* baze podataka nekog realnog sistema, pa onda i sam slučaj korišćenja koji je prouzrokovao nastanak potrebe za optimizacijom performansi upita. Sledeći korak biće izvršavanje upita i analiza njegovih performansi korišćenjem funkcije *explain()*, pre nego što se u narednom koraku kreira indeks radi komparativne analize performansi.

Funkcija *explain()* se predefinisano izvršava u *queryPlanner* načinu izvršavanja koji daje uvid u način odabira strategije izvršavanja upita. Ukoliko ima više indeksa kandidata za primenu u izvršavanju kreiranog upita, njihove performanse se analiziraju u paralelnim nitima i rezultati upita se vraćaju primenom onog indeksa koji je imao najbolje performanse. Uvid u rezultate ovog procesa daje *queryPlanner* u *JSON* formatu, što je i očekivan format, budući da su sva dokumenta u kolekcijama *MongoDB* baze podataka u istom tom formatu. Drugi način izvršavanja, koji će i biti korišćen u ovom radu, jeste *executionStats*, koji pored pomenutog *queryPlanner*-a vraća i statističke podatke pobedničke strategije izvršavanja upita. Glavni statistički parametri koje tom prilikom funkcija *explain()* vraća, a koje će rad uzeti kao pokazatelje razlike u performansama, su:

- *nReturned* – broj dokumenata koji su dobijeni u rezultatu upita,
- *executionTimeMillis* – vreme izvršavanja upita, izraženo u milisekundama,
- *totalKeysExamined* – ukupan broj indeksa koji su analizirani prilikom izvršavanja upita,
- *totalDocsExamined* – ukupan broj dokumenata nad kojim je testiran postavljeni uslov iz upita, tj. kojima je pristupljeno, kako bi se proverilo da li treba da budu deo rezultata i
- *executionStages* – objekat u kome postoji informacija o načinu pretrage dokumenata, npr. *COLLSCAN* - pretraga cele kolekcije i *IXSCAN* – pretraga indeksa.

Treći način izvršavanja *explain()* funkcije jeste *allPlansExecutionMode* koji nam daje iste statističke pokazatelje kao i *executionStats*, ali pored pobedničke strategije, imamo i informacije o performansama ostalih strategija koje su inicijalno testirane zarad odabira najbolje.

A. Jednostavni indeksi

Ovaj rad će za bazu podataka iz realnog sveta uzeti bazu koja se koristi u jednom CRM softveru koji pored upravljanja odnosa sa klijentima, ima i proširene funkcionalnosti na prodaju proizvoda i usluga.

Kolekcija koju ćemo posmatrati počevši od jednostavnih indeksa je *clients* kolekcija koja ima preko 39.000 dokumenata sa preko 60 polja po dokumentu. U posmatranom realnom primeru korisnici softverskog rešenja, kojima je bitna brzina vraćanja rezultata pretrage, s obzirom da najvećem broju slučajeva koriste konkretan softver kada su u direktnoj komunikaciji sa klijentima, najčešće pretražuju puno ime klijenta i zbog toga je analizirana upotreba mehanizma indeksiranja koji bi trebalo da znatno ubrza pretragu.

Prost upit nad kojim pozivamo funkciju *explain()* se može videti u nastavku:

```
db.clients.find({fullName: 'Predrag (P)
Imsic'}).explain("executionStats")
```

Rezultat izvršavanja ovog upita je u *JSON* formatu dužine 1-2 stranice, tako da će u nastavku biti prikazani samo ključni parovi ključ-vrednost statističkih parametara opisanih u prethodnom delu ovog poglavlja:

```
{
  "executionStats": {
    "executionSuccess": true,
    "nReturned": 1,
    "executionTimeMillis": 34,
    "totalKeysExamined": 0,
    "totalDocsExamined": 39917,
    "executionStages": {"stage": "COLLSCAN"}
  }
}
```

nReturned parametar ima vrednost 1, što uz prethodno navedeno objašnjenje znači da je upit vratio 1 dokument iz kolekcije klijenata. *executionTimeMillis* iznosi 34 milisekunde, parametar *totalKeysExamined* nosi informaciju o tome da se nijedan indeks nije iskoristio prilikom vraćanja rezultata, a *totalDocsExamined* da su sva dokumenta iz kolekcije prošla kroz filter postavljen u upitu kako bi se

pronašao 1 dokument. Još jedna informacija koja opisuje upit koji ima neefikasno izvršavanje jeste polje *stage* u okviru objekta *executionStages*, a koje ima vrednost *COLLSCAN*, tj. pretraga celokupne kolekcije.

Iako 34 milisekunde deluje kao jako kratko vreme za pretragu, činjenica koju ne treba ostaviti po strani jeste da je ovaj upit izvršen na lokalnoj mašini koja najčešće ima mnogo veću procesnu moć i bržu memoriju od mašina koja se koriste za podizanje i rad *MongoDB* baze na produkcionim okruženjima na klijentskim okruženjima. Stoga treba istestirati neki mehanizam indeksiranja kako bi se uočilo da li je razlika značajna, kako bi se taj upit izvršavao što je brže moguće.

Naredni korak je kreiranje indeksa nad poljem *fullName*:

```
db.clients.createIndex({"fullName": 1})
```

Nakon izvršenja identičnog upita koji je izvršavan dok indeks još nije bio kreiran, dobija se sledeći rezultat:

```
{
  "executionStats": {
    "executionSuccess": true,
    "nReturned": 1,
    "executionTimeMillis": 0,
    "totalKeysExamined": 1,
    "totalDocsExamined": 0,
    "executionStages": {"stage": "IXSCAN"}
  }
}
```

Iz priloženih rezultata se vidi da za izvršenje ovog upita praktično nema čekanja iz razloga što se analizira samo jedan indeks koji u sebi sadrži pretraženu vrednost polja *fullName*, pa stoga nije ni potrebno analizirati dokument. Nađeni indeks ima referencu ka dokumentu pa taj indeks odmah potom i vraća navedeni dokument. Pored brojke *totalKeysExamined* koja je 1, dokaz da je upit koristio kreirani indeks možemo videti i u okviru *executionStages* objekta i *stage*-a *IXSCAN*. Ono što treba imati na umu prilikom kreiranja indeksa jeste da li je to polje zapravo ono koje često predstavlja izvor pretrage koja treba da bude što performantnija. Ukoliko odgovor nije potvrđen, kreiranje indeksa nad ovim poljem ne donosi benefite po sistem, jer osim što se u tom slučaju ne bi koristila njegova performantnost, usporilo bi se i vreme upisivanja novih dokumenata i ažuriranja postojećih vrednosti tog polja. Kroz te akcije moraju da se ažuriraju ili kreiraju i indeksi.

Ono što je takođe važno navesti jeste da je brojka koja stoji uz polje prilikom kreiranja indeksa i te kako bitna i značajna za same upite, i to kada oni uključuju operacije sortiranja nad više polja istovremeno. Stoga je potrebno analizirati koji su to sve upiti koji nastaju i koji se izvršavaju često, kao i nad kojim poljima se vrši operacija sortiranja. U slučaju da je u pitanju upit koji vrši sortiranje po samo jednom polju, nije naročito bitno da li se prilikom kreiranja indeksa specificira rastući ili opadajući redosled, podjednako je performantno čak i da se sam redosled u upitu i indeksu ne slažu [7].

B. Složeni indeksi

Kada je reč o složenim indeksima, rad će se fokusirati na drugu kolekciju u okviru istog sistema koja se zove *activities*. Ta kolekcija se puni dokumentima koji opisuju akcije koje se

vrše kroz samu platformu i sadrži blizu milion dokumenata. Najčešći upiti zahtevaju sortiranje datuma nastanka akcije opadajuće, a da se pritom i filtriraju po određenom tipu akcije. Imajući u vidu šta složeni indeksi predstavljaju i posedujući znanje o kreiranju jednostavnih indeksa, naredba za kreiranje složenog indeksa je samoobjašnjiva i logična, a nalazi se u nastavku:

```
db.activities.createIndex({createdAt: -1, type: 1})
```

Rezultati izvršavanja ovog upita:

```
db.activities.find({ createdAt: { $gt: new ISODate("2024-01-01T00:00:00Z") }, type:
  'Product'}).explain("executionStats")
```

će biti prikazani ispod kao i do sada:

```
{
  "executionStats": {
    "executionSuccess": true,
    "nReturned": 45020,
    "executionTimeMillis": 271,
    "totalKeysExamined": 28717,
    "totalDocsExamined": 45020,
    "executionStages": {
      "stage": "FETCH",
      "inputStage": {"stage": "IXSCAN", "nReturned": 45020}
    }
  }
}
```

Vraćeno je 45020 dokumenata za 271 milisekundu, analizirano 28717 indeksa i 45020 dokumenata. U statistici se pojavila još jedna nova informacija zbog načina izvršavanja ovog upita, a to je *inputStage* u okviru *executionStages*. Ova informacija govori o tome da je postojao još jedan korak koji je analizirao indekse kako bi rezultat njegovog izvršavanja bio skup indeksa koji sadrže reference ka dokumentima koje treba vratiti kao rezultat. *InputStage* se završio i koreni *stage* ima reference i vrši čitanje svih tih referenciranih dokumenata, što predstavlja ovog puta dva koraka u samom izvršavanju upita, pored toga što je preveliki broj indeksa analiziran i što je sam upit dugo trajao. Kada se ovaj rezultat uporedi sa efektom prostog indeksa koji je bio gotovo istovremen, može se proizvesti sumnja da složeni indeks možda nije kreiran na najbolji način za potrebe ovog upita. Kako je u praksi najbolji savet da se svi indeksi testiraju i da se njihove performanse analiziraju kako bi se došlo do optimalnog rešenja, time će se i ovaj radi detaljno baviti. Nameće se pitanje: zbog čega je ovaj upit bio ovoliko neselektivan, s obzirom da je analizirano više od 6 puta više indeksa od broja dokumenata koji je vraćen kao rezultat? Pretragom dokumenata kolekcije *activities*, ali tako da se u posebnim upitima pretražuje po datumu nastanka i tipu aktivnosti, uočava se da je mnogo veći broj dokumenata dobijen pretragom po datumu nastanka. Ova činjenica nam ukazuje da je potencijalno bolje kreirati ovaj složeni indeks tako da se promeni redosled indeksa i prvo navede tip aktivnosti, pa zatim datum nastanka aktivnosti.

```
db.activities.createIndex({type: 1, createdAt: -1})
```

Rezultati istog upita se mogu videti ispod:

```
{
  "executionStats": {
    "executionSuccess": true,
    "nReturned": 45020,
    "executionTimeMillis": 41,
    "totalKeysExamined": 45020,
    "totalDocsExamined": 45020,
    "executionStages": {
      "stage": "FETCH",
      "inputStage": {"stage": "IXSCAN", "nReturned": 45020}
    }
  }
}
```

Iz ovog primera se može zaključiti da je redosled polja prilikom kreiranja indeksa i te kako bitan, što nam potvrđuju i 6 puta brže vraćeni rezultati, kao i broj analiziranih indeksa koji je jednak broju vraćenih dokumenata.

Upravo se u okviru statistike ove pretrage može videti više kandidata indeksa koje je *MongoDB* razmatrao prilikom pronalaženja optimalnog načina za vraćanje rezultata upita. Sa različitim redosledom polja koja se odnose na tip aktivnosti i datum njenog nastanka, ističu se dva kandidata indeksa za analizu, kao i jedan indeks koji je prvobitno postojao, a kreiran je zarad potrebe sortiranja aktivnosti po datumu nastanka, tj. prost indeks nad tim poljem. U slučaju da je u upitu korišćen filter nad primarnim ključem u dokumentu, taj *unique* indeks bi takođe bio jedan od kandidata. U JSON rezultatu pod ključem *winningPlan* se navodi onaj način za izvršavanje upita koji je najbrže uspeo da vrati rezultat, dok se pod ključem *rejectedPlans* nalazi ostatak načina koji su bili manje performantni. *MongoDB* potom pamti koji je to indeks za traženi upit dao najbolje rezultate i tako vremenom ima sve bolje i bolje performanse [8].

C. Tekstualni indeksi

Za potrebe evaluacije doprinosa kreiranja tekstualnih indeksa, iz realnog sistema će opet biti uzeta kolekcija klijenata i polje iz nje pod nazivom *quickNote* u kom korisnici platforme unose opis klijenta u par rečenica prilikom kreiranja ili ažuriranja profila klijenta. Tom prilikom se mogu uneti informacije o tome kako je klijent došao u prodavnicu, da li je preporučen od strane drugog klijenta i generalni utisak o njemu. Upit čiji rezultati će biti prikazani odmah ispod se vrši nad tim poljem koje nema kreiran indeks:

```
db.clients.find({quickNote: {$regex: /gentleman/,
  $options: 'i'}}).explain("executionStats")
{
  "executionStats": {
    "executionSuccess": true,
    "nReturned": 3726,
    "executionTimeMillis": 56,
    "totalKeysExamined": 0,
    "totalDocsExamined": 40807,
    "executionStages": {"stage": "COLLSCAN"}
  }
}
```

Tekstualni indeks se kreira na sledeći način:

```
db.clients.createIndex ({ "quickNote": "text" })
```

Način na koji se pišu upiti sa ciljem iskorišćavanja tekstualnog indeksa u *MongoDB* bazi se razlikuju od drugih indeksa jer je neophodno u upitu iskoristiti operatore *\$text* i *\$search*: `db.clients.find({$text: {$search: "gentleman"}})`

Rezultati tako kreiranog upita vraćaju statističke podatke od istog broj vraćenih dokumenata za samo 4 milisekunde, pritom analizirajući istu količinu indeksa koliko i dokumenata, a u *executionStage*-u se nalazi novi *stage* *TEXT_SEARCH*. Sa preciznijim filtriranjem broj pristupanih indeksa bi bio još manji, dok je bez indeksa broj proverenih dokumenata uvek isti, koliko god da je velika kolekcija.

IV. ZAKLJUČAK

Kroz opis i analizu primene prostih, složenih i tekstualnih indeksa na realnim primerima, ovaj rad je pokazao uticaj mehanizama indeksiranja na vreme izvršavanja upita. Pored samog načina njihove primene, u ovom radu su naglašeni saveti za projektovanje i osmišljavanje indeksa u zavisnosti od samih potreba softverskog sistema i najčešćih akcija njegovih korisnika. Kako je pojava distribuiranih sistema sve češća, jedan od budućih pravaca istraživanja predstavlja sagledavanje upotrebe indeksa u distribuiranim (*sharded*) *MongoDB* klasterima.

Kako je za rad sa indeksima kroz ovaj rad naglašavan značaj procesa odlučivanja administratora baza podataka, kao i konstantno manuelno praćenje potreba sistema i podešavanje indeksa, jedan od neminovnih pravaca daljeg istraživanja jeste upotreba moć mašinskog učenja i AI algoritama za automatsko prepoznavanje potrebe za novim indeksima kao i potrebe za njihovim prilagođavanjem.

LITERATURA

- [1] Fowler, M. (2011, November 16). *Polyglot Persistence*. MartinFowler.com. Retrieved January 10, 2025, from <https://martinfowler.com/bliki/PolyglotPersistence.html>
- [2] Paudel, B (2024, July 2). *Indexing in Databases: SQL and NoSQL with Pros and Cons*. Medium.com. Retrieved January 10, 2025, from <https://medium.com/@badripaudel77/indexing-in-databases-sql-vs-nosql-advantages-and-trade-offs-c43681f91f02>
- [3] Unknown author (2022, October 11). *Single Field Indexes*. mongodb.com. Retrieved January 6, 2025, from <https://www.mongodb.com/docs/v6.1/core/index-single/>
- [4] Tonete, A. (2017, July 8). *MongoDB Indexing Types: How, When and Where Should They Be Used?* percona.com Retrieved January 15, 2025, from <https://www.percona.com/blog/mongodb-indexing-types-how-when-and-where-should-they-be-used/>
- [5] Bradshaw S., Brazil E., Chodorow K, (2020) *MongoDB The Definitive Guide, Powerful and Scalable Data Storage* (3rd ed.) O'Reilly Media
- [6] Mesut A., Ozturk E. (2021) *A method to improve full-text search performance of MongoDB*, Pamukkale University Journal of Engineering Sciences
- [7] Copeland R. (2013) *MongoDB Applied Design Patterns* (1st ed.) O'Reilly Media
- [8] Giamas, A. (2019) *Mastering MongoDB 4.x* (1st ed.) Packt Publishing Ltd

Application of PM² Methodology in Contemporary Project Management

D. Zubac, B. Prlinčević, Z. Bogićević, M. Mišić, U. Jakšić

Abstract — The evolution of project management has led to the development of different approaches and techniques over time. One of the recent methodologies, publicly presented by the European Commission in February 2018, is called PM² (pronounced P-M squared). The aim of this paper is to elaborate on the advantages and obstacles in the implementation of the PM² methodology in contemporary project management, with a special emphasis on the Erasmus+ NEST4WB project. In addition, a survey has been conducted amongst a group of professionals dealing with Project management primarily but not restricted to Erasmus+ projects, questioning the awareness about the PM2 methodology and obstacles in its implementation. This has allowed us to identify the differences between the two approaches: the traditional one, which integrates the fundamentals of a classic process-based methodology, and PM² practices that address the increasing complexity of projects through agile methodology.

I. INTRODUCTION

The motivation for this paper comes from the observation of the lack of the academic articles on integration between different approaches and concepts of Project Management. Especially, authors were interested in PM² Methodology, being in charge of coordinating one of the Erasmus+ projects NEST4WB. Herewith, the authors are aiming to firstly elaborate on differences between the traditional PMBOK based methodology and newly introduced PM² methodology, taking into account the strengths of each aspect and that is fully useful in the future since some traditional methodologies may become outdated. In order to get a closer look at the awareness about the PM2 methodology and the obstacles in its implementation, a survey has been conducted amongst a group of professionals dealing with Project management, primarily but not restricted to Erasmus+

projects.

From a methodological perspective, this paper adopts a theoretical approach on the strategic implementation of the PM2 methodology to manage activities related to the management of new and ongoing projects. It concludes that the harmonization of the steps proposed by the European Commission in the PM2 methodology makes it possible to significantly improve project management.

II. PROJECT MANAGEMENT BASELINE

A. Key project characteristics

A project can be defined as a temporary endeavor (an effort) undertaken to create a unique product or service (output). Temporary, in this case, means that each project has a definitive beginning and a definitive end. Uniqueness means that each product or service differs in some way from all similar products or services (Fig. 1). Project management is the application of knowledge, skills, tools, and techniques aimed at meeting or even exceeding the needs and expectations of the project's key stakeholders [1].

The World Bank Guide defines project management as: “The mobilization of diverse resources and the coordination of their activities in order to accumulate the work performed by each individual into a multidisciplinary team effort to achieve the investor's goal within the agreed plan, budget, and quality” [2].

Temporary	Unique	Output	Constraints
• start • end	• non routine	• products • services	• scheduling • budgeting • quality

Figure 1. Key project characteristics

B. Project Management history

The evolution of project management methodologies has adapted to the changing needs of industries and project complexities. Today, project managers can select from various methodologies, allowing them to customize their approaches to fit project requirements, team dynamics, and stakeholder expectations, ultimately enhancing efficiency and outcomes [3]. Chronogram of different methodologies developed over time is presented in Table 1.

Most commonly applied PMBOK - Management Body of

* This paper was supported in part by EU under grant agreement no. 101129321 project ERASMUS+ NEST4WB: New energy competence system and technology for WB energy stability system curriculum reform. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them

D. Zubac, Academy of Applied Studies Kosovsko Metohijska, Leposavic, +381 66 408 488; e-mail: daniijela.zubac@akademijakm.edu.rs.

B. Prlinčević, Academy of Applied Studies Kosovsko Metohijska, Leposavic, bojan.prlincevic@akademijakm.edu.rs.

Z. Bogićević, Academy of Applied Studies Kosovsko Metohijska, Leposavic, zorica.bogicevic@akademijakm.edu.rs.

M. Mišić, Academy of Applied Studies Kosovsko Metohijska, Leposavic, milan.misic@akademijakm.edu.rs.

U. Jakšić, Academy of Applied Studies Kosovsko Metohijska, Leposavic, uros.jaksic@akademijakm.edu.rs

Knowledge is a set of standard terminology and guidelines (a body of knowledge) for project management. It contains a set of fundamentals and good practices in this field. The knowledge and practices described are applicable to most projects most of the time and there is a consensus about their value and usefulness. There is a general agreement that the application of the knowledge, skills, tools, and techniques can enhance the chance of success over many projects [4].

It outlines the groups of processes involved in project management along with their descriptions:

- **Initiation** - Necessary processes are grouped to formally start and authorize a project.
- **Planning** - Everything needed for the achievement of the project is planned. This includes defining the project plan.
- **Execution** - Resources are used, and stakeholders are managed to produce the project deliverables.
- **Monitoring and Control** - The project's work is measured and compared with the plan to make corrections if necessary.
- **Closure** - The project is finalized in this group with activities like administrative closure and gathering lessons learned.

TABLE I
CHRONOGRAM OF PROJECT MANAGEMENT METHODOLOGIES

Year/Period	Event/Development
Ancient Times	Early project management practices in the Egyptian era for pyramid construction.
1950s	Formalization of the term "project management." U.S. Navy's Polaris project utilizes systematic project management techniques.
Late 1950s	Development of PERT (Program Evaluation Review Technique) by the U.S. Navy to manage complex project uncertainties.
Late 1950s	Introduction of CPM (Critical Path Method) by DuPont for construction project management.
1970s	PERT and CPM gain popularity across various industries; integrating project management practices in diverse fields.
1980s	Rise of computer technology facilitates project management software; PMI publishes the first PMBOK Guide in 1987.
1990s	Emergence of Agile methodology in response to the needs of software development; Agile Manifesto published in 2001.
2000s	Evolution of PMBOK Guide and rise of PRINCE2 (Projects in Controlled Environments) methodology in the UK.
2000s	Growing adoption of Lean and Six Sigma methodologies for efficiency and continuous improvement.
Present	Popularity of hybrid methodologies combining Agile, Lean, and traditional practices to meet specific project needs.

III. APPLICATION OF PM² METHODOLOGY IN CONTEMPORARY PROJECT MANAGEMENT

A. PM² methodology

One methodology that has gained traction in recent years is PM² (pronounced "P-M squared") Developed and firstly introduced by the European Commission in 2018, PM² is a project management methodology that emphasizes efficiency, flexibility, and improved communication among stakeholders [5]. PM² is built around a set of guiding principles aimed to improve project performance and provide a comprehensive approach to managing projects, particularly in the public sector, and is currently being rapidly adopted internationally. In 2018, EU released PM2 Guide ver. 3.0

Key elements of MP²:

- **Roles and Responsibilities:** It emphasizes clear roles and responsibilities within the project team, including the Project Manager, Team Members, and Stakeholders.
- **Documents and Artifacts:** PM² provides templates and guidelines for essential project documentation, such as the Project Charter, Work Breakdown Structure (WBS), Risk Register, and Progress Reports.
- **Tailorability:** The methodology is designed to be flexible and adaptable to different project types and organizations, allowing teams to tailor it to their specific needs.
- **Stakeholder Engagement:** PM² emphasizes the importance of engaging stakeholders throughout the project lifecycle to ensure their needs and expectations are met.
- **Quality Management:** The methodology includes a focus on delivering quality results and continuously improving processes.

PM² methodology differs from traditional project management (often referred to as the "waterfall" approach [6]) in several key ways. It is more dynamic and inclusive approach compared to traditional methodologies, making it especially suited for environments that require quick responsiveness and stakeholder collaboration. These are presented in Table II.

B. Implementing PM² methodology in contemporary management

While specific case studies may vary among different organizations, overall feedback suggests that PM² can significantly enhance project management practices when implemented effectively. Organizations often highlight the importance of commitment from leadership and thorough training to maximize the benefits of the methodology [7]-[9]. For the purpose to identify the major factors affecting PM2 implementation, a survey has been conducted among number of individuals dealing with Project Management of different types of projects and on different levels, including the Erasmus+ projects. The survey has been conducted among the 14 members of NEST4WB project consortium, being

academic and non-academic staff, but also business professionals from different companies in WB area.

Below, we are presenting the survey outcome on questions related to PM² methodology.

Sample volume was 69 individuals, 48 male and 21 female. In regards to experience in different project management, 10% of respondents was at beginners' level (0-3 yrs.' of experience), 42% was moderate (up to 5 yrs.' of experience) and 48% was advanced (over 5 yrs.' of experience).

In relation with the awareness about the PM² methodology, out of 69 respondents, majority of 52% was aware about the methodology but didn't have any experience in its implementation; only 4% of the respondents already had some experience in PM² implementation. Remaining 44% either never heard about the PM² methodology, or didn't have opportunity to learn about the principles of PM².

The major obstacles in PM² implementation, as noticed through the survey are lack of awareness on the first place and problems with integration with the existing processes. Team members are not aware of and may not fully understand PM² principles and practices. Moreover, merging PM² with current frameworks can present difficulties.

On the second place there are insufficient trainings and resource allocation. Additional resources in terms of time, personnel, and budget may be necessary for successful implementation, while without proper training, the use of PM² processes can be inconsistent.

Assessment and adaptation together with stakeholder's engagement are listed as high priority as well. Organizations may struggle with how to assess and adjust PM² for various project environments, while ensuring continuous engagement from all stakeholders can be challenging. In addition, strong management commitment is essential for PM² adoption.

Cultural resistance, team members and management may resist change preferring already established processes as well as over-customization, where excessive tailoring of PM² may complicate processes and reduce clarity are also very important factors that should be taken into account (Fig. 2).

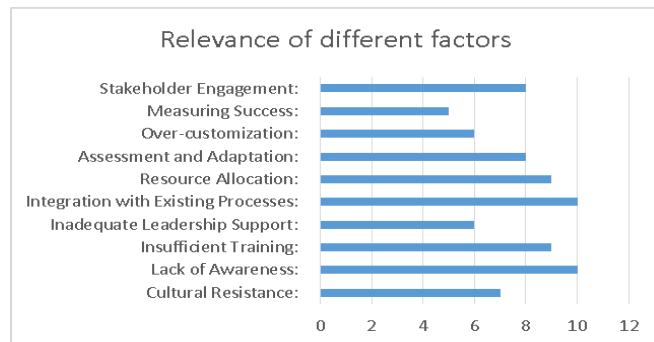


Figure 2. Relevance of factors affecting PM² implementation

Addressing these factors typically requires a well-planned change of the management strategy, including effective communication, comprehensive training, and ongoing

support from leadership, to facilitate a smooth transition to PM².

Therefore, project managers must be able to see the bigger picture and communicate effectively with stakeholders. With the rise of globalization, project managers must be equipped to navigate networks, diverse cultures, languages, geographical differences, and an environment characterized by both heightened competition and collaboration.

TABLE II
COMPARATIVE OVERVIEW PM² WITH TRADITIONAL PM

	PM ²	Traditional PM
Flexibility and Adaptability	Emphasizes flexibility and can be tailored to fit various projects and environments, accommodating changes and variations in project scope or objectives	Often follows a linear and sequential approach, making it less adaptable to changes during the project lifecycle
Stakeholder Engagement	Places a strong emphasis on stakeholder involvement throughout the project phases, ensuring their needs and inputs are integrated regularly	May involve stakeholders primarily in the initiation and closing phases, leading to potential misalignment of expectations throughout the project
Documentation and Processes	Provides specific templates and guidelines that help streamline documentation and processes, focusing on practical tools for project teams	Can sometimes be more prescriptive with documentation, which may lead to excessive paperwork without adding significant value
Iterative Approach	Allows for iterative development and delivery, which can be beneficial for adapting to new information and changes as the project progresses	Typically follows a step-by-step process where each phase must be completed before moving on to the next, making it harder to change course once the project is underway
Focus on Team Dynamics	Encourages collaboration among team members and stakeholders, fostering a team-oriented culture and effective communication	While teamwork is important, the focus may be more on following rigid processes and individual tasks rather than collaborative synergy
Continuous Improvement	Emphasizes lessons learned and continuous improvement as integral parts of the methodology to enhance future projects	May reflect on lessons learned more at the end of a project rather than incorporating them into ongoing practices

C. Implementing PM² methodology in ERASMUS+ NEST4WB project

The project "New energy competence system and technology for WB energy stability system curricula reform"– NEST4WB, aims to modernize the study programs of the Higher Education Institution of the WB through the introduction of new courses related to the Energy Sector and the ICT sector in order to digitize the energy sector at the bachelor and master levels of education at the Higher Education Institution of the WB. This will be done through the creation of new or modernization, innovation of existing study programs at the bachelor's/master's level, and through

the creation of hubs, e platforms, training center, network for knowledge and skills transfer. Also, NEST4WB moves the focus of the spectrum of energy competences from the field of clean energy, as is the case everywhere at the WB, to part of the curriculum in the field of information technologies, which introduces the fields of energy into other fields of technology and will thereby create conditions for a more efficient response to energy challenges in the open the path to an energy-responsible society.

Initially, Project Management of NEST4WB project was based on PMBOK standards. Often characterized by a linear and sequential approach, traditional project management follows a structured methodology, as described in point B. Projects planning was typically divided into distinct phases (initiation, planning, execution, monitoring, closure), where changes during the project are presumably minimized.

Presentation of Project Management Guide at the consortium level at the beginning of the execution phase, has led to the extensive discussions, taking into account all the factors from project internal and external environment, deriving to the opinion that more flexible and adaptive project management methodology should be applied.

PM² appeared to be a logical solution, as it integrates elements from various methodologies (Agile, Prince2), emphasizes collaboration, stakeholder engagement, and the iterative development of solutions, allowing continuous feedback and adaptability, enabling teams to respond to changing project needs and environments more effectively.

In order to integrate the PM² with PMBOK, it was necessary to adapt the process, dividing some activities and combining others, to better adjust to the methodology of the European Union. According to Fig. 3, the success management process was incorporated into the methodology through various activities (marked with blue background), involving planning, executing, closing, and monitoring and controlling. These activities aim to complement and direct the effective management of success throughout the project.

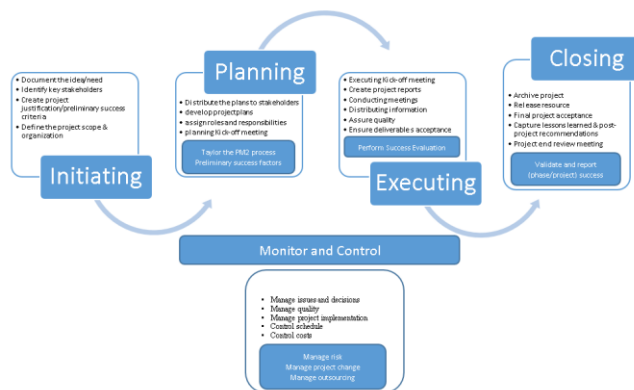


Figure 3. Integration of PM² with PMBOK methodology

For example Tailoring the PM2 process together with preliminary success factors was incorporated in the Planning phase, while Monitoring and control were expanded by

developing the Risk management plan, Project change plan, Deliverables acceptance procedure and Outsourcing management.

As the transition phase from one approach to another still undergoes at the time, challenges and lessons learned would be a subject to a following discussion. Nonetheless, benefits gained could be grouped in following points:

- **Enhanced Collaboration:** PM² emphasizes stakeholder engagement and teamwork, fostering better communication and collaboration among project team members and stakeholders.
- **Value Delivery Focus:** The methodology places a strong emphasis on delivering value and results, ensuring that project outcomes align with organizational goals and stakeholder expectations.
- **Simplicity and Clarity:** PM² offers clear guidelines and templates, making it easier for project teams to understand and implement the methodology without being overwhelmed by complex processes.
- **Risk Management:** PM² includes a proactive approach to identifying and managing risks throughout the project lifecycle, helping to mitigate potential issues before they impact the project negatively.

To ensure that the PM² Methodology effectively serves an organization's and a project's needs, some level of tailoring or/and customization may be still required.

IV. CONCLUSION

Raising project success rates is an organizational challenge. In order to contribute to overcoming this challenge, this paper presents an example of traditional management process integrated with the PM² of the European Union. The results of the survey conducted on the other hand showed that the capacity building, cultural resistance and the lack of the resources have been identified as significant obstacles to the transition from traditional to modern work methodologies.

One of the limitations is the absence of similar work. There is a lot of literature related to project management methodologies and guides. There are a lot of references related to success factors and criteria. However, there are few works linking PM² processes within project management methodologies and guides. The work will continue in order to detail the integration, developing the inclusion of PM², and then carry out the validation through a case study.

REFERENCES

- [1] M. Jeremiah, B. Kabeyi, "Evolution of project management, monitoring and evaluation, with historical events and projects that have shaped the development of project management as profession", *International Journal of Science and Research*, Vol. 7, No. 1, pp 63-79, 2018.
- [2] United Nations development programme evaluation office, Handbook on Monitoring and Evaluating for Results, 2021. Retrieved from https://erc.undp.org/pdf/UNDP_Evaluation_Guidelines.pdf.

- [3] S. Azzopardi, "The evolution of project management", Project Smart, 2024. Retrieved from <https://www.projectsmart.co.uk/history-of-project-management/evolution-of-project-management-part-2.php>.
 - [4] PMI (2017), A guide to the project management body of knowledge: (PMBOK® guide), 6th ed. Newtown Square, Pa.: Project Management Institute.
 - [5] EU (2018), The PM² Project Management Methodology Guide 3.0. Luxembourg: European Union, <https://data.europa.eu/doi/10.2799/08869>.
 - [6] A. Gurnov, "What is Waterfall project management technology?" 2024, Retrieved from: <https://www.wrike.com/project-management-guide/faq/what-is-waterfall-project-management/>
 - [7] N. Takagi, J. Varajão, Success Management and the Project Management Book of Knowledge (PMBOK): An Integrated Perspective (RIP), International Research Workshop on IT Project Management, 2020. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/347949303_Success_Management_and_the_Project_Management_Body_of_Knowledge_PMBOK_An_Integrated_Perspective_-_research-in-progress#fullTextFileContent
 - [8] N. Takagi, J. Varajão, Integration of success management into project management guides and methodologies – position paper, Procedia Computer Science, 2019. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050919322422>
 - [9] I.F.B.Zambrano, C.O.Parra, W.O.A.Aaraque, Analysis to implement the PM2 methodology in the project management of the municipal administration, AGLALA ISSN 2215-7360, Vol. 15, pp. 193-211, 2024. Retrieved from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9734832>
- Yeong, A. and Lim, T. T. (2010) "Integrating knowledge management with project management for project success". Journal of Project, Program & Portfolio Management 1(2): 8-19. doi:10.5130/pppm.v1i2.1735

Predlog za unapređenje upravljanja rizicima u instituciji visokog obrazovanja koja se bavi obrazovanjem pomoraca

Vera Kapetanović, Maja Krčum, Igor Petrović, Jelena Nikčević i Tatijana Dlabac

Sadržaj — Upravljanje rizicima je složen, ali ključan, proces za unapređenje svih aspekata rada jedne institucije. Kada se ovaj proces primjenjuje pravilno, uz korišćenje alata poput SWOT analize i korektivnih mjera, omogućava bolju efikasnost i ostvarenje definisanih ciljeva institucije. Mjerenje i praćenje rizika je veoma kompleksno i od velikog značaja za svaku instituciju bi bilo da ima mogućnost za automatsko mjerenje i praćenje. Ovaj rad ima za cilj da prikaže koncept za unapređenje mjerenja i praćenja rizika u instituciji visokog obrazovanja koja se bavi obrazovanjem pomoraca, sa fokusom na kontrolu kvaliteta, odnosno načine mjerenja i praćenja kvaliteta radnih procesa.

I. UVOD

U naučnoj i stručnoj literaturi postoje mnogobrojne definicije rizika, i on se uglavnom predstavlja kao mogućnost nastanka nekog događaja koji može nepovoljno uticati na ishod planiranih ciljeva. Rizik je i sve ono što može ugroziti rad jedne institucije i ne odnosi se samo na gubitak ili oštećenje imovine već i na sve ono što dovodi do kompromitovanja rada institucije i smanjuje povjerenje javnosti u njen rad. Sam termin „rizik” prvi put se pojavio krajem 15. vijeka i vezivao se za rizike na moru i morsku trgovinu, odnosno za opasnosti koje su prijetile plovilima odnosno cjelokupnom pomorskom poduhvatu (hrid, stijena, nasukanje i sl.) [1].

Analiza rizika i upravljanje rizicima u svim oblastima rada je od izuzetnog značaja za planiranje kao i efikasnost rada jedne institucije. Mnoge institucije zbog boljih rezultata u svom poslovanju usvajaju strategiju upravljanja rizicima kao obavezan dokument i upravo on je okosnica donošenja dobrih odluka, pravilnog planiranja procesa i povećanja efikasnosti rada [2],[3]. Kao primjer usvojenih strategija u visokom obrazovanju možemo navesti Strategiju Univerziteta

Crne Gore (UCG) za period 2019-2024. godine kao i Strategiju Pomorskog fakulteta Kotor (PFK), kao članice UCG, za isti period u kojima su definisani rizici kroz stretške pravce razvoja [4],[5]. Kontrolu kvaliteta svih institucija visokog obrazovanja u Crnoj Gori obavlja Agencija za kontrolu i obezbjeđenje kvaliteta visokog obrazovanja (AKOKVO). Njen zadatak je da prati ključne parametre u visokoškolskim institucijama, a jedan od ključnih parametara kojim se vodi AKOKVO je i upravljanje rizicima [6].

U procesu upravljanja rizicima prvi korak je uspostavljanje konteksta, strateških ciljeva organizacije i definisanje kriterijuma za procjenu i obradu rizika. Drugi korak je procjena rizika koja se sastoji od identifikacije potencijalnih opasnosti, i proračuna rizika na osnovu vjerovatnoće ostvarivanja opasnosti i posljedica ukoliko dođe do ostvarenja te opasnosti. Sledeći koraci su kategorizacija rizika (matrica rizika), izvještavanje u okviru organizacije i donošenje odluke o uočenom riziku na osnovu kriterijuma koji je uspostavljen u prvom koraku. Rizik se potom dodatno obrađuje, ukoliko je potrebno, te se vrši obavještavanje odgovornih lica u instituciji. Poslednji korak u procesu upravljanja je praćenje cjelokupnog procesa.

Rizici predstavljaju prepreku za postizanje ciljeva, dok prilike omogućavaju pronalaženje novih i boljih načina za poboljšanje poslovanja. Prilike treba da budu vođene pozitivnim stavom zaposlenih prema unapređenju i inovaciji.

Standardi zahtijevaju identifikaciju rizika i definisanje neophodnih akcija za njihovo kontrolisanje. Dobro upravljanje rizicima doprinosi strateškom planiranju i ostvarenju ciljeva institucije [7], [8].

Uvodni dio rada daje osnovne smjernice upravljanja rizicima počev od same definicije rizika pa do osvrta na važnost donošenja strategije upravljanja rizicima u institucijama. U drugom poglavlju rada akcenat je stavljen na upravljanje rizicima kroz sistem upravljanja kvalitetom na instituciji koja se bavi obrazovanjem i obukama pomoraca. Predlog unaprijeđanja upravljanja rizicima baziran na softverskom rješenju dat je u trećem poglavlju rada. U zaključnim razmatranjima ukazano je na benefite ovakvog rješenja upravljanja rizicima, koje bi bile korisne za sve institucije visokog obrazovanja bez obzira na to koji profil struke edukuju.

Vera Kapetanović (phone: +38267616846; fax: +38232303184; e-mail: verak@ucg.ac.me) Pomorski fakultet Kotor, Univerzitet Crne Gore, Put I Bokeljske brigade 44, 85330 Kotor, Crna Gora.

Maja Krčum (e-mail: mkrcum@pfst.hr) Pomorski fakultet Split, Univerzitet u Splitu, Rudera Boškovića 37, HR-21000 Split, Croatia.

Igor Petrović (e-mail: igor.p@ucg.ac.me) Pomorski fakultet Kotor, Univerzitet Crne Gore, Put I Bokeljske brigade 44, 85330 Kotor, Crna Gora.

Jelena Nikčević (e-mail: jelenag@ucg.ac.me) Pomorski fakultet Kotor, Univerzitet Crne Gore, Put I Bokeljske brigade 44, 85330 Kotor, Crna Gora.

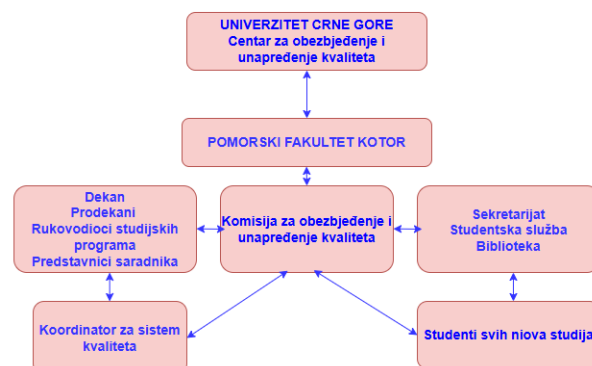
Tatijana Dlabac (e-mail: tanjav@ucg.ac.me) Pomorski fakultet Kotor, Univerzitet Crne Gore, Put I Bokeljske brigade 44, 85330 Kotor, Crna Gora.

II. UPRAVLJANJE RIZIKOM KROZ SISTEM UPRAVLJANJA KVALITETOM

PFK je institucija koja se bavi obrazovanjem i obukama pomoraca (*Maritime and Training Institution-MET*) i obavezna je uskladiti svoje poslovanje sa Međunarodnom konvencijom o standardima obuke, sertifikacije i držanja straže za pomorce (*International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers-STCW*). Zbog toga PFK i dobija sertifikat koji ukazuje da se djelatnost univerzitetskog obrazovanja u oblasti pomorskih nauka i menadžmenta u pomorstvu i logistici, kao i djelatnosti obuke pomoraca obavlja u skladu sa pomenutom konvencijom. Pored toga posjeduje i sertifikat za uspostavljeni sistem kvaliteta koji je u saglasnosti za zahtjevima ISO 9001:2015. Upravo ovaj standard donosi zahtjev procjene odnosno upravljanja rizicima. Ipak, treba napomenuti da ovaj zahtjev ne definiše obavezu postojanja formalnog sistema, već je organizacijama data fleksibilnost da odrede način na koji će upravljati rizicima u okviru svog poslovanja. Ovaj standard zahtijeva identifikaciju i procjenu rizika, ali ne zahtijeva postojanje formalnog sistema upravljanja rizicima. Umjesto toga, organizacijama se daje fleksibilnost da odrede način na koji će upravljati rizicima.

Na PFK kroz procedure osnovnih procesa (nastavni proces, obuke pomoraca i rad Centra za istraživanje, inovacije i preduzetništvo) su definisani rizici i prilike za poboljšanje. Takođe kroz SWOT analizu identifikuju se interni faktori (snage i slabosti) i eksterni faktori (prilike i prijetnje). Ova analiza omogućava prepoznavanje rizika, ali i prilika koje se mogu iskoristiti za unapređenje poslovanja. Na primjer, identifikacija slabosti omogućava sprovođenje korektivnih mjera koje smanjuju ili eliminišu rizike. SWOT analiza se realizuje godišnje, čime se procjenjuju faktori koji utiču na kvalitet rada fakulteta.

Dobra primjena sistema upravljanja kvalitetom je ključna karika za postizanje dobrih rezultata jedne institucije. U tom kontekstu dobro upravljanje rizicima i prilikama za poboljšanje je osnova sistema upravljanja kvalitetom. Visokoškolske institucije upravljanje rizicima sprovode uglavnom kroz osnovne procese i to kroz Registar rizika, te njihovo stalno praćenje, najčešće kroz matricu rizika. Ovdje je fokus na gotovo svim aktivnosti koje proizilaze upravo iz tih procesa (nastavni proces, naučno istraživačka djelatnost, međunarodna saradnja, zadovoljstvo korisnika, itd). U naučnoj literaturi na ovu temu često se nailazi na ovakav način upravljanja rizicima u visokoškolskim institucijama [9],[10],[11]. PFK kao jedna od članica UCG, koja se bavi obrazovanjem pomoraca, pored smjernica koje dobija od Komisije za unapređenje i obezbjeđenje kvaliteta od strane UCG ima obavezu implementacije STCW Konvencije i standarda ISO 9001:2015, a sve to prati Komisija za unapređenje i obezbjeđenje kvaliteta PFK. Ovu Komisiju čini najuže rukovodstvo, koordinator za sistem kvaliteta, predstavnici službi fakulteta kao i studenti svih nivoa studija, a zadatak je da prati sve procese vezane za sistem upravljanja kvalitetom. Na sl. 1. data je blok šema strukture učesnika koji učestvuju u implementaciji, praćenju i mjerenju performansi sistema kvaliteta uključujući i upravljanje rizicima i prilikama.



Slika 1. Blok šema strukture učesnika sistema upravljanja kvalitetom na PFK

U ovom radu je upravljanje rizicima prikazano na primjeru nastavnog procesa PFK. Pri tome razmatramo unutrašnje i spoljne rizike nastavnog procesa, odnosno rizike nad kojima PFK ima kontrolu i one nad kojima nema direktan uticaj. Unutrašnji rizici koji se odnose na nastavni proces i mjere se unutar institucije, obuhvataju:

- Loš uspjeh studenata;
- Nedovoljan broj upisanih studenata;
- Preopterećenost nastavnika;
- Mali broj diplomiranih studenata;
- Nemogućnost zapošljavanja diplomiranih studenata.

Upravljanje ovim rizicima omogućava proaktivno djelovanje, jer je direktno pod kontrolom PFK. Za svaki od ovih rizika, analiziraju se uzroci i definišu jasne prilike za poboljšanje. Za svaku studijsku godinu prate se performanse uspjehnosti i rezultati su mjerljivi (npr. broj upisanih studenata, procenat diplomiranih studenata po generaciji, procenat zaposlenih nakon diplomiranja, itd.).

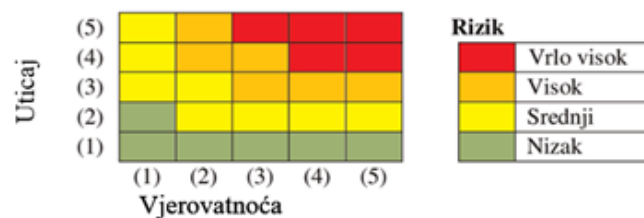
Spoljni rizici su povezani sa zakonodavnim, regulatornim i međunarodnim standardima, i oni su u velikoj mjeri izvan kontrole PFK. Ovi rizici su složeniji jer dolaze od eksternih tijela, poput ministarstava i međunarodnih organizacija, i često mogu biti kontradiktorni. Na primjer, nastavni proces mora biti usklađen s različitim propisima, poput Bolonjske deklaracije i Zakona o visokom obrazovanju, ali istovremeno mora ispunjavati zahtjeve STCW Konvencije, odgovarajućih IMO Modela kursevima i standarda ISO 9001:2015. Ovi propisi ponekad postavljaju različite, a ponekad suprotstavljene zahtjeve, što može otežati njihovu istovremenu primjenu. Na primjer prema Bolonjskoj deklaraciji ili prema Zakonu o visokom obrazovanju, studenti se ne obavezuju da budu prisutni na svim predavanjima, uključujući prisustvo na praktičnim vježbama, dok STCW Konvencija to ne prepoznaje. PFK nastoji da razvije fleksibilne interne procedure koje omogućavaju brzu reakciju na promjene zakona ili standarda. Takođe, postoji redovno komunikacija sa resornim ministarstvima i međunarodnim tijelima kako bi se blagovremeno pribavile informacije o svim promjenama.

Kao spoljni rizik koji utiče na rad PFK se može posmatrati i sam UCG iako joj kao članica pripada. Zbog toga je od izuzetnog značaja saradnja sa svim službama UCG radi nalaženja zajedničkih rješenja za unapređenje svih procesa rada. Spoljni rizici se redovno analiziraju kroz SWOT analizu, kako bi se prepoznale snage, slabosti, prilike

i prijetnje. Na taj način PFK nastoji prepoznati potencijalne prilike koje mogu nastati iz tih rizika i iskoristiti ih u svoju korist, odnosno za unapređenje rada.

Unutrašnje rizike PFK prati kvalitativno i obrađuje za svaku studijsku godinu, a fokus je na korektivnim i preventivnim mjerama kroz analizu podataka i interne procese. Ono što je planirani napredak u upravljanju rizicima je prelazak na kvantitativnu analizu rizika, koja ide dalje od jednostavnog opisivanja rizika (kvalitativnog pristupa) i koristi mjerenje, numeričke podatke i statističke metode, kako bi se rizici precizno procijenili. Matrice rizika su važan alat u ovom procesu, mada kvantitativna analiza uključuje širi spektar tehnika i metoda. Matrica rizika koristi se da se rizici klasifikuju prema njihovoj vjerovatnoći i uticaju na skali, i one se mogu koristiti u svim fazama procjene rizika (za postojeće rizike, buduće rizike i/ili rizike u nastajanju, itd). Skala koja se koristi za vjerovatnoću (učestalost) obično ima pet nivoa. Na primjer za vjerovatnoću (učestalost) rang je od 1-veoma niska, 2- niska, 3-srednja, 4-visoka i 5-veoma visoka, a za procjnu uticaja (posledica) rang je 1-zanemarljiv, 2-manji, 3- srednji, 4-teški i 5-veoma teški. Na sl. 2 je prikazana matrica rizika i kada se pomnože

odgovarajuće vjerovatnoće i uticaj dobija se vrijednost za rizik koji je u rangu od niskog do vrlo viskog.



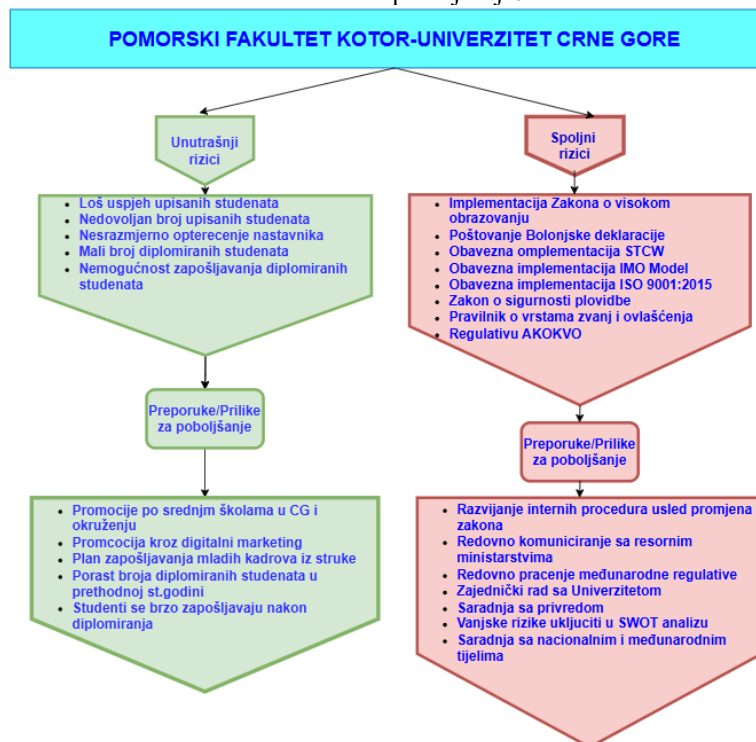
Slika 2. Matrica rizika

Matrica rizika je jednostavan način za kategorizaciju rizika, ali je ograničena na procjenu zasnovanu na subjektivnim ocjenama.

Za spoljne rizike ključ je u fleksibilnosti i komunikaciji sa eksternim učesnicima čiji uticaj kroz poštovanje odgovarajućih regulativa je potrebno poštovati.

Iako PFK ne može direktno kontrolisati ove rizike, proaktivna analiza i prilagodljivost mogu minimizirati njihov uticaj.

Na sl. 3. dat je šematski prikaz unutrašnjih i spoljnih rizika koji se prate na PFK sa preprukama/prilikama za poboljšanje.



Slika 3. Unutrašnji i spoljni rizici na PFK

III. PREDLOG UNAPRIJEĐENJA ANALIZE RIZIKA

Važan korak naprijed kada je u pitanju upravljanje rizicima, nakon prelaska na kvantitativno praćenje jeste stvaranje baze (registra rizika). Softversko rješenje sa aspekta praćenja i upravljanja rizicima moglo bi se razviti kako za potrebe PFK, tako i za ostale jedinice UCG. Pomenuta baza rizika mogla bi se zatim integrisati u već postojeći informacioni sistem UCG. Pregled i dostupnost podataka bili bi u većoj mjeri automatizovani i lakše dostupni

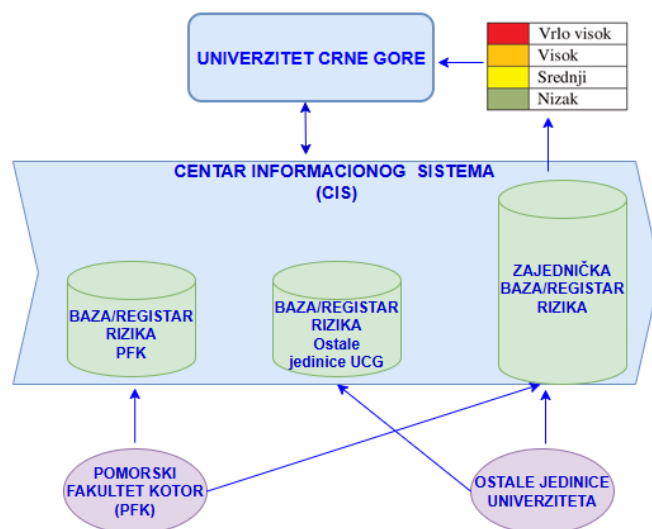
zainteresovanim korisnicima [12]. Kao što je prethodno navedeno upravljanje rizicima na osnovu matrice rizika bi olakšalo praćenje svih aktivnosti i dalo pregled rizika sa parametrima koji su bitni za njihovo otklanjanje ili minimizaciju. Svaka članica UCG ima svoje rizike koji mogu biti unutrašnji ili spoljni. Sigurno da postoje zajednički rizici za sve članice UCG, ali bilo bi i različitih, specifičnih rizika za pojedine jedinice. Sve rizike koje određeno tijelo (npr. Komisija za obezbjeđenje i unapređenje kvaliteta UCG) verifikuje mogli bi se slati Centru informacionog sistema

(CIS) na obradu. U ovom koraku veoma je važna dobra koordinacija Komisije za obezbjeđenje i unapređenje kvaliteta svih članica sa Komisijom za obezbjeđenje i unapređenje kvaliteta na UCG. Ove komisije bi u jednom sinhronizovanom postupku za početak preko matrice rizika definisali visinu i posledice svih dostavljenih rizika. Tako definisane rizike UCG prosljeđuje CIS-u, gdje bi se nalazila baza/registar rizika sveobuhvatan za cijeli UCG. Obradeni rizici se "vraćaju" Univerzitetu na dalje razmatranje u zavisnosti od visine rizika.

Organizacije koje traže centralizovano upravljanje rizicima i jednostavnu implementaciju mogle bi implementirati softverski alat *RiskWatch*. To je softverski alat za procjenu, analizu i upravljanje rizicima koji se koristi u različitim oblastima (npr. obrazovanje, zdravstvo, IT sigurnost). *Protecht.ERM (Enterprise Risk Management - ERM)* je sveobuhvatan alat za upravljanje rizicima i usklađenost, i on je pogodan za primjenu u velikim institucijama s kompleksnim procesima upravljanja rizicima. Monte Carlo je napredna tehnika za kvantitativnu analizu rizika, bazirana na simulacijama, koja koristi stohastičke (nasumične) simulacije.

Na sl. 4. dat je pregled upravljanja rizicima kroz bazu/registar rizika koja bi dovela do automatizacije u upravljanju rizicima. Odgovarajućim softverskim rješenjem iz CIS-a bi Univerzitet pratio obrađene rizike i nivo rizika

(zeleni boja-nizak nivo, žuta boja-srednji nivo, narandžasta boja visoki nivo i crvena boja-vrlo visoki nivo).



Slika 4. Pregled upravljanja rizicima kroz bazu/registar rizika

IV. ZAKLJUČAK

Svaka institucija, bez obzira na to kojom vrstom posla se bavi, teži da svoje radne procese što više digitalizuje. Kako su sve jedinice UCG korisnici resursa koje obezbjeđuje CIS, koji predstavlja ogromnu podršku cjelokupnom radu univerziteta, unapređenje svih radnji vezanih za upravljanje rizicima, u smislu kreiranja softverskog rješenja za praćenje i mjerenje istih je neminovno da bude implementiran kao dio njegovog postojećeg sistema. Pored toga rad Komisija za obezbjeđenje i unapređenje kvaliteta, kako onih na univerzitetskim jedinicama, tako i Komisije na UCG, uvođenjem ovog načina upravljanja rizicima, sigurno bi doveo do boljih rezultata u poslovanju, te lakšem i bržem praćenju, mjerenju i ostvarivanju definisanih ciljeva.

U okviru buduće strategije UCG bi trebalo predvidjeti uspostavljanje kriterijume za obradu rizika, kako bi se u prema dobijenim informacijama moglo blagovremeno djelovati i eliminisati prijetnje za rad pojedinih članica i/ili samog UCG. U skladu sa tim bi se svim rizicima koji se kategoriju kao "neprihvatljivi", morala posvetiti posebna pažnja i način djelovanja za otklanjanje istih.

Autori rada su željeli da ukažu na značaj softverskog rješenja u procesu upravljanja rizicima, kroz pomenutu bazu/registar rizika. Ovakav pristup bi doveo do povećanja efikasnosti u radu svih članica UCG i unificirao rizike za sve članice Univerziteta. Ovo je posebno važno ako se uzme u obzir dosadašnji pristup koji zahtijeva puno vremena i angažovanja zaposlenih na prikupljanju podataka, često puta traženih u veoma kratkom roku, a korišćenjem predloženog rješenja ne samo da se skraćuje vrijeme nego se dobijaju i preciznije informacije.

LITERATURA:

- [1] S.-V. Toma, I. V. Alexa, and D. A. Șarpe, "Identifying the Risk in Higher Education Institutions," *Procedia Econ. Financ.*, vol. 15, no. 14, pp. 342–349, 2014, doi: 10.1016/s2212-5671(14)00520-6.
- [2] Agencija za elektronske medije, "Strategija upravljanja rizicima u agenciji za elektronske medije," 2016.
- [3] Strategija upravljanja rizicima, Ministarstvo održivog razvoja i turizma (FMC dokument) Podgorica, april 2020.
- [4] Univerzitet Crne Gore, Pomorski fakultet Kotor, "Strategija Razvoja," pp. 1–108, 2019.
- [5] Univerzitet Crne Gore, "Strategija razvoja," 2019.
- [6] "Registar-rizika", AKOKVO 2020.
- [7] M. Krčum, I. Derado, and M. Žanić Mikuličić, Jelena, Brodarić, "How to manage risk - ISO Standard 9001: 2015?," in *8th International Maritime Science Conference (IMSC 2019)*, Pomorski fakultet, Split: 8th International Maritime Science Conference (IMSC 2019) Budva, Crna Gora, 2019. str. 187–191, 2019, p. 4.
- [8] D. Alfreahat and Z. Sebestyén, "A construction-specific extension to a standard project risk management process," *Organ. Technol. Manag. Constr.*, vol. 14, no. 1, 2022, doi: 10.2478/otmcj-2022-0011.
- [9] International Symposium, *Kvaliteta kao strategija*. 2017.
- [10] Y. Raanan, "Risk Management in Higher Education - Do We Need it?," *Ital. J. Manag. Sinergie*, vol. 78, no. 09, pp. 43–56, 2009.
- [11] S. Cvrk, V. Kapetanović, I. Petrović, T. Dlabac, and Š. Ivošević, "Unapređenje poslovanja zasnovano na upravljanju rizicima – studija slučaja Pomorski fakultet Kotor" 13th Research/Expert Conference with International Participations "QUALITY 2023", Neum, B&H, June 19 –21, 2023
- [12] Studio Ideal, "Upravljanje rizicima primenom FMEA metode na primeru mikro preduzeća," vol. 8, no. 1, pp. 24–35, 2022.

Veštačka inteligencija i njen uticaj na obnovljive izvore energije

Žaklina Spalević, Gradimirka Popović, Filip Marković, Đorđe Sarčević, Miloš Dobrojević, Petar Spalević

Sadržaj—U poslednjim decenijama, obnovljivi izvori energije (OIE) postaju ključni faktori u globalnoj tranziciji prema održivim i ekološki prihvatljivim energetske sistemima. S obzirom na izazove poput varijabilnosti u proizvodnji energije i složenosti upravljanja ovim izvorima, veštačka inteligencija (VI) se pojavljuje kao tehnološki iskorak koji može značajno unaprediti efikasnost i stabilnost energetske sistema. Ovaj rad prikazuje primenu VI u optimizaciji OIE, sa fokusom na tehnike kao što su nadgledano učenje, nenadgledano učenje i duboko učenje, koje omogućavaju precizno predviđanje proizvodnje energije, bolje upravljanje potrošnjom i efikasno održavanje energetske opreme. Takođe, prikazani su izazovi i mogućnosti u implementaciji VI u energetske sektoru, kao i globalna ulaganja i zakonodavne inicijative, uključujući i specifičnosti primene VI u Srbiji i Bosni i Hercegovini.

I. UVOD

Obnovljivi izvori energije (OIE) postaju ključni elementi u svetskoj tranziciji ka održivim i ekološki prihvatljivim energetske sistemima. S druge strane, veštačka inteligencija (VI) pojavila se kao tehnološki iskorak koji menja pravila igre i ima sposobnost da potpuno transformiše načine na koje proizvodimo, prenosimo ili trošimo energiju. Drugim rečima, integracija VI sa OIE rezultiraće efikasnijim, fleksibilnijim i personalizovanim energetske sistemima. Metode VI, kao što su veštačke neuronske mreže, mogu značajno unaprediti energetske procese povećanjem efikasnosti i smanjenjem troškova proizvodnje energije [1].

VI značajno doprinosi raznim aspektima OIE, kao što su procena energetske proizvodnje, performansi i upravljanje elektranama, kontrola opterećenja, a uz to i unapređenje sistema za skladištenje energije. Integracijom naprednih

algoritama omogućava se donošenje odluka u realnom vremenu, čime se poboljšavaju pouzdanost i performanse energetske sistema. Na primer, VI se koristi za analizu podataka u stvarnom vremenu kako bi se unapredila održivost sistema i optimizovala distribucija energije [2].

VI ima ključnu ulogu u smanjenju emisije CO₂ i drugih zagađivača kroz efikasniji nadzor i upravljanje energetske procesima [3]. Uloga VI u ovim procesima postaje sve značajnija, posebno sa porastom broja OIE koji zahtevaju preciznu kontrolu i prilagodljivost sistema.

OIE poput solarne energije, vetroenergije, hidroenergije i geotermalne energije predstavljaju ključne alternative tradicionalnim fosilnim gorivima. Njihova važnost postala je očigledna s obzirom na rastuće i sve više izražene probleme klimatskih promena i zagađenja životne sredine. Prelazak sa fosilnih goriva na OIE ne samo da smanjuje emisiju gasova sa efektom staklene bašte, već takođe obezbeđuje energetske sigurnost na duže staze [4].

U ovom radu opisaćemo ulogu VI u optimizaciji OIE. Fokusiraćemo se na ključne metode učenja, kao što su nadgledano učenje, nenadgledano učenje i duboko učenje, kao i načine primene ovih metoda u različitim kontekstima OIE. Osim toga, posmatraćemo izazove i ograničenja implementacije VI u ovoj oblasti, kao i potencijalne buduće pravce razvoja.

U poslednjih nekoliko decenija, došlo je do značajnog povećanja ulaganja u OIE. Međutim, integracija ovih izvora u postojeće energetske mreže suočava se sa brojnim izazovima, uključujući varijabilnost u proizvodnji energije, složenost upravljanja i visoke početne troškove. Upravo u ovim izazovima VI nalazi svoje primene, pružajući mogućnosti za efikasniju upotrebu resursa i bolju kontrolu nad energetske sistemima.

II. INTEGRACIJA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE U OBNOVLJIVE IZVORE ENERGIJE

Prema Franki V., i ostali [5] postoje četiri glavna područja primene VI u energetske sektoru:

1. *Optimizacija imovine*: Ovde se koristi VI za poboljšanje rada specifičnih energetske resursa, kao što su obnovljive elektrane, baterije, akumulatori, energetske sistemi zgrada i sistemi za upravljanje energijom u domaćinstvima. Kompanije u ovoj oblasti nude rešenja koja pomažu korisnicima i operaterima da bolje upravljaju energijom.

Žaklina Spalević (autor za kontakte), Pravni fakultet, Univerzitet Sinergija Bijeljina, Raje Baničića BB, 76000 Bijeljina, Bosna i Hercegovina (e-mail: zspalevic@sinergija.edu.ba).

Gradimirka Popović, Akademija strukovnih studija kosovsko metohijska, odsek Zvečan, Nušićeva 6, 38227 Zvečan, Srbija (e-mail: gradimirka.popovic@akademijakm.edu.rs).

Filip Marković, Univerzitet u Prištini, Fakultet tehničkih nauka Kosovska Mitrovica, Knjaza Miloša, 7, 38220 Kosovska Mitrovica, Srbija (e-mail: filip.markovic@pr.ac.rs).

Đorđe Sarčević, Akademija strukovnih studija Šabac, Dobropoljska 5, 15000 Šabac, Srbija (e-mail: sarcevicdjordje@gmail.com).

Miloš Dobrojević, Fakultet za računarstvo i informatiku, Univerzitet Sinergija Bijeljina, Raje Baničića BB, 76000 Bijeljina, Bosna i Hercegovina (e-mail: mdobrojevic@sinergija.edu.ba).

Petar Spalević, Fakultet za računarstvo i informatiku, Univerzitet Sinergija Bijeljina, Raje Baničića BB, 76000 Bijeljina, Bosna i Hercegovina (e-mail: pspalevic@sinergija.edu.ba).

2. *Optimizacija na nivou sistema:* Ovde VI pomaže u upravljanju energijom unutar elektroenergetске mreže, balansiranju ponude i potražnje, korišćenju kapaciteta za skladištenje energije i implementaciji odgovora na promene u potražnji. Ove usluge uglavnom koristi mrežni operatori, komunalna preduzeća i kompanije za proizvodnju energije.
3. *Analitika podataka:* VI se koristi za analizu podataka i prognozu u energetskom sektoru. Ove kompanije pružaju uvide koji pomažu u procesu donošenja odluka, ali ne optimizuju direktno imovinu. Njihove usluge najčešće koriste komunalna preduzeća i kompanije za proizvodnju energije.
4. *Rad i održavanje:* Održavanje i operacije u energetskom sektoru takođe koriste VI, posebno u prediktivnom održavanju. Kompanije koriste VI za analizu slika sa dronova ili satelita, kao i za robotizaciju održavanja, poput čišćenja solarnih panela ili inspekcije vetroturbina.

VI ubrzano transformiše energetski sektor, posebno u oblasti OIE. Ključni izazovi OIE, poput fluktuacije i nepredvidivosti u proizvodnji energije iz vetra i sunca, mogu se prevazići kroz integraciju VI tehnologija. Napredni algoritmi i analitika podataka omogućavaju pouzdanije upravljanje resursima, što doprinosi stvaranju održivog energetskog sistema usmerenog ka smanjenju ugljeničnog otiska i borbi protiv klimatskih promena.

Količina podataka generisanih iz OIE predstavlja osnovu za donošenje informisanih odluka. Prediktivno modeliranje i mašinsko učenje koriste se za analizu istorijskih podataka i vremenskih prognoza, što omogućava precizna predviđanja proizvodnje energije iz solarnih panela i vetroturbina. Ova predviđanja pomažu u planiranju proizvodnje i smanjenju rizika od energetskih nestabilnosti [6].

Mašinsko učenje, ključna komponenta VI, koristi različite pristupe, uključujući nadgledano, nenadgledano i duboko učenje. Kod nadgledanog učenja, algoritmi se treniraju na označenim podacima kako bi predviđali buduće vrednosti. Na primer, solarne elektrane koriste modele nadgledanog učenja za predviđanje proizvodnje energije na osnovu istorijskih vremenskih podataka [7]. Nenadgledano učenje analizira velike skupove podataka bez definisanih oznaka, što je korisno za otkrivanje obrazaca u kompleksnim sistemima, poput analize potrošnje energije u pametnim mrežama [8]. Duboko učenje, koje koristi složene neuronske mreže, omogućava identifikaciju složenih obrazaca i donošenje odluka u stvarnom vremenu, što je ključno za optimizaciju performansi vetroturbina i solarnih panela [9,10].

Pametne mreže, osnažene VI tehnologijama, integrišu OIE u postojeće energetske sisteme. Kroz senzore i algoritme poput slučajnih šuma (RF) i gradijentnog unapređenja (GB), pametne mreže optimizuju balans potrošnje i proizvodnje [8]. Nadgledano učenje se koristi za predviđanje potražnje energije na osnovu istorijskih obrazaca, dok nenadgledano učenje otkriva anomalije ili neefikasnosti u mreži. Duboko učenje analizira podatke u realnom vremenu, omogućavajući

adaptivno reagovanje na promene u potražnji i ponudi, smanjujući rizik od fluktuacija [9].

Prediktivno održavanje opreme je još jedna ključna oblast u kojoj VI donosi velike prednosti. Analiza podataka senzora pomoću tehnika dubokog učenja omogućava prepoznavanje obrazaca koji ukazuju na potencijalne kvarove, što doprinosi pravovremenom održavanju i produženju životnog veka opreme [7]. Kod vetroturbina, nadgledano učenje se koristi za predikciju specifičnih kvarova, dok nenadgledano učenje identifikuje nepoznate obrasce habanja opreme. Ovo smanjuje neplanirane zastoje i povećava efikasnost [9].

Skladištenje energije je ključni aspekt balansiranja potrošnje i proizvodnje. Sistemi poput baterija koriste VI algoritme, poput dugoročne kratkoročne memorije (LSTM), za optimizaciju punjenja i pražnjenja [11]. Nadgledano učenje analizira istorijske podatke o potražnji i cenama kako bi identifikovalo optimalne trenutke za skladištenje. Nenadgledano učenje otkriva anomalije u radu baterija, dok duboko učenje omogućava preciznu predikciju kapaciteta skladištenja i energetske efikasnosti [12].

Hibridni sistemi, koji kombinuju više tehnologija skladištenja, unapređuju efikasnost korišćenjem VI. Kroz analizu podataka iz različitih izvora, nadgledano učenje omogućava sinhronizaciju solarne i vetroenergije prema unapred definisanim parametrima. Nenadgledano učenje identifikuje potencijalne konflikte u korišćenju resursa, dok duboko učenje unapređuje stabilnost mreže kroz simulacije u realnom vremenu. Ove tehnologije pomažu u identifikaciji tržišnih trendova i razvoju strategija upravljanja [12].

VI donosi efikasnost i inovaciju u sektor OIE. Optimizacijom proizvodnje, distribucije i skladištenja energije, VI doprinosi stvaranju stabilnijih mreža i smanjenju operativnih troškova. Ovaj napredak stvara temelje za održivo upravljanje obnovljivim resursima i postizanje ciljeva smanjenja emisije ugljen-dioksida. Kontinuirano ulaganje u istraživanje VI ključno je za održivu budućnost globalne energetike.

Kompanija **Google** i njegov poduhvat **DeepMind** razvili su neuronsku mrežu 2019. godine koja predviđa proizvodnju energije vetrom sa velikom tačnošću, do 36 sati unapred. Ovaj sistem koristi podatke o vremenskim uslovima i lokaciji vetrogeneratora. Kao rezultat toga, Google je povećao finansijsku vrednost svoje energije vetrom za 20%.

Ovaj pristup omogućava da se predviđaju periodi visoke proizvodnje energije, u periodima visokog intenziteta vetra. Na osnovu tih prognoza, kompanije mogu bolje planirati svoju potrošnju, koristeći energiju u periodima kada je njena proizvodnja najveća, čime izbegavaju kupovinu energije po višim tržišnim cenama. Ovo poboljšava efikasnost i smanjuje operativne troškove [13].

Kompanija Siemens Gamesa, jedan od lidera u proizvodnji vetroturbina, koristi AI algoritme za unapređenje održavanja i dijagnostike svojih uređaja. Razvijen je sistem za prediktivno održavanje koji analizira podatke sa senzora i druge informacije o statusu vetroturbina. Ovaj sistem omogućava predviđanje potrebnog održavanja ili zamene

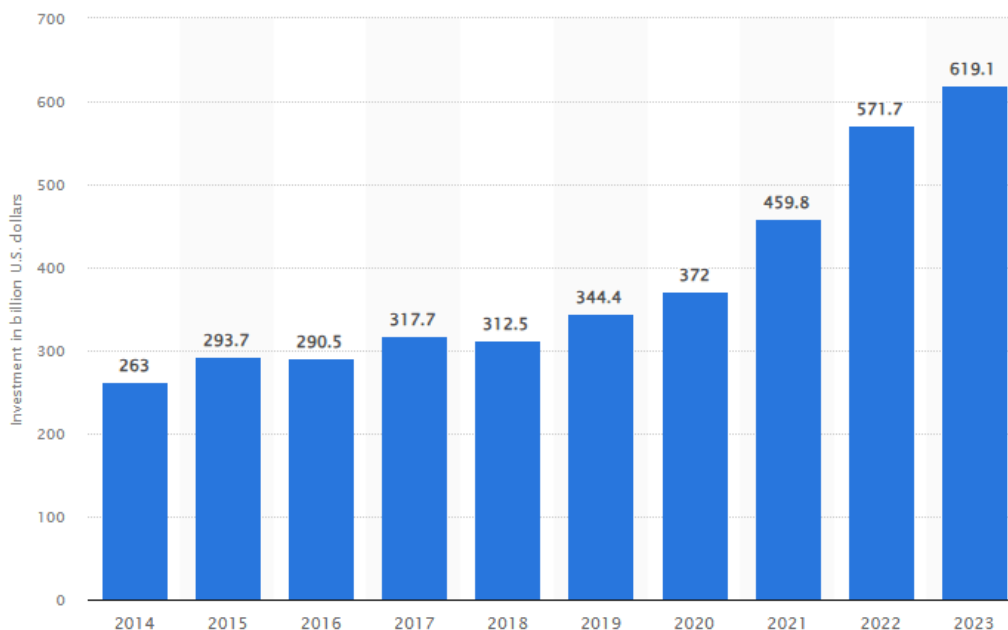
delova, što kompaniji omogućava pravovremeno planiranje i sprovođenje potrebnih radnji. Rezultati su impresivni: smanjen je broj neplaniranih zaustavljanja za 50%, efikasnost održavanja povećana za 20%, a troškovi su smanjeni za 15%.

III. VEŠTAČKA INTELIGENCIJA, ULAGANJA I ZAKONODAVNE INICIJATIVE U SRBIJI

Interesovanje za primenu VI u energetsom sektoru, posebno u oblasti OIE, širom sveta brzo raste. Sve veći broj kompanija usvaja modele VI kako bi optimizovao proizvodnju i distribuciju energije, unapredio efikasnost i smanjio troškove, čime se podržava održiviji i zeleniji energetski sistem. U 2023. godini, ukupna nova ulaganja u OIE iznosila su oko 619 milijardi američkih dolara širom sveta. To je predstavljao 8% veći iznos u poređenju sa prethodnom godinom. Iznos sredstava uložениh u čistiju energiju širom sveta postepeno je rastao u poslednjoj deceniji. 2014. godine ulaganja u čistu energiju su iznosila 263 milijarde američkih dolara, a porasla su na vrhunskih 619,1 milijardi dolara u 2023. godini. Značajan porast

ulaganja ukazuje na to da je industrija znatno sazrela. Podrška politike za razvoj OIE, ubrzanje industrije i pojavljivanje javnih preduzeća koja poseduju imovinu u oblasti OIE (poznatih i kao *yieldcos*) doprinose stalnom rastu ulaganja u čistu energiju. Država sa najvećim stepenom ulaganja u OIE je Kina, sa ulaganjima od 273 milijarde američkih dolara u 2023. godini.

Najveća ulaganja fokusirana su u solarnu i energiju vetra. Danas postoji i mnogo drugih OIE, kao što su biomasa i energija iz otpada, geotermalna i morska energija. Ipak, ulaganja u solarnu i energiju vetra su daleko najveća. Globalna ulaganja u solarnu fotonaponsku energiju su drastično porasla u poslednjim godinama, sa 126 milijardi dolara u 2019. godini na gotovo 300 milijardi dolara u 2022. godini. U 2023. godini, najveća regionalna ulaganja u OIE došla su iz Kine i Evrope. Kina je sama investirala više od 273 milijarde američkih dolara, dok je Evropa u održive energetske tehnologije uložila oko 134 milijarde dolara. Ulaganja u Sjedinjenim Američkim Državama (SAD) takođe su bila značajna na globalnom nivou.



Slika 1. Nova ulaganja u OIE širom sveta od 2014. do 2023. godine (u milijardama američkih dolara) [14]

SAD su jedan od najvećih potrošača OIE na svetu. Iako je hidroelektrična energija bila najčešći izvor obnovljive električne energije do 2018. godine, vetroenergija je tada preuzela primat, dostigavši 425 teravat-sati u 2023. godini. U poslednjim godinama, vetar i solarna energija čine većinu novih instaliranih kapaciteta. Očekuje se da će ulaganja u OIE u SAD-u značajno porasti u narednim godinama uz uvođenje *Inflation Reduction Act (IRA)* [15], najvažnijeg zakonodavnog akta koji reguliše i stimuliše izgradnju projekata, zapošljavanje radnika i proizvodnju opreme potrebne za jačanje domaćih lanaca snabdevanja, snižavanje troškova energije u domaćinstvima uz smanjenje emisije gasova staklene bašte i efikasnu isplatu dobrih plata

zaposlenih na ovim projektima.

U Evropi Nemačka zauzima značajnu poziciju kao vodeći potrošač i proizvođač OIE u svetu, posebno poznata po kapacitetu za vetroenergiju na kopnu. Velika Britanija i Francuska takođe su među najvećim instalaterima ukupnog kapaciteta vetroenergije u svetu. Biomasa je drugi veliki izvor OIE za Evropu, posebno u sektoru grejanja i hlađenja.

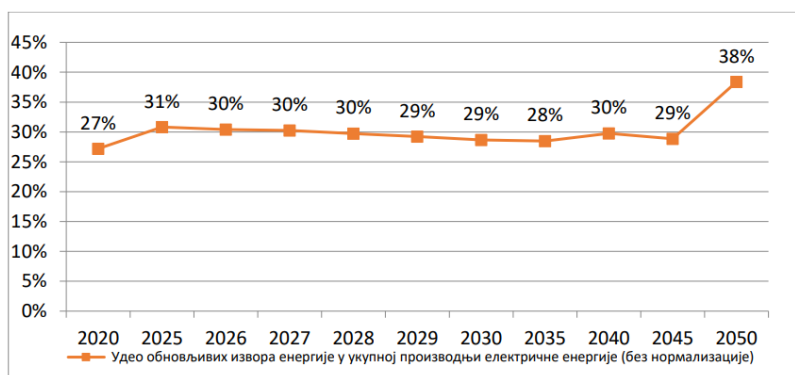
U 2022. godini, solarni fotonaponski sistemi (Solar PV) bili su obnovljiva tehnologija koja je zauzela najveći udeo u ulaganju. Ulaganja u solarne fotonaponske sisteme iznosila su skoro 300 milijardi američkih dolara te godine. Vetroenergija na kopnu zauzima drugo mesto sa uložениh 140 milijardi dolara. U međuvremenu, ulaganja u geotermalnu

energiju iznose približno oko 180 miliona dolara [16]. Upravo iz tih razloga potrebno je razviti primenljivi pravni okvir koji je elastičan u odnosu na tehnološki napredak, a istovremeno uporediv i usaglašen sa susednim državama sa kojima se formira regionalno energetska područje.

U Republici Srbiji je *donet Zakon o korišćenju obnovljivih izvora energije* [17], ključni korak ka uređenju i promociji energije iz OIE. Zakon predviđa mere za smanjenje upotrebe fosilnih goriva i povećanje učešća OIE, čime se direktno doprinosi zaštiti životne sredine i energetske nezavisnosti. Takođe, pruža okvir za otvaranje novih radnih mesta, razvoj preduzetništva u sektoru OIE, kao i podsticanje istraživanja, inovacija i konkurentnosti." Jedan od ključnih ciljeva Zakona je unapređenje digitalizacije i efikasnosti u postupcima vezanim za OIE. To uključuje optimizaciju troškova, pojednostavljenje procedura i jačanje konkurentnosti tržišta. Takođe, zakon omogućava integraciju OIE u tržište

električne energije, što će omogućiti maksimizaciju tržišnih prihoda proizvođača i obezbeđenje stabilnosti tržišta, uz uzimanje u obzir troškova povezane sa integracijom i očuvanjem stabilnosti elektroenergetske mreže. Ove mere, propisane zakonom, omogućavaju postizanje dugoročnih ciljeva u sektoru energije i razvoja održivih izvora u Srbiji [17].

Prema *Integrisanom nacionalnom energetske i klimatskom planu Republike Srbije* (INEKP) za period do 2030. godine, sa vizijom do 2050. godine [18], predviđa se značajno povećanje učešća OIE (OIE) u ukupnoj proizvodnji električne energije. Očekuje se da će udeo OIE porasti sa 27% u 2020. godini na 38% do 2050. godine. Ovaj plan ima za cilj da podrži održiv energetske razvoj zemlje, smanji zavisnost od fosilnih goriva i doprinese ostvarivanju ambicioznih klimatskih ciljeva, kroz dalju integraciju OIE u energetske sistem, slika 2.



Slika 2. Udeo OIE u ukupnoj proizvodnji električne energije u periodu 2020-2050. godine prema scenariju WEM (engl., WEM - with existing measures, koji vrši projekciju razvoja energetske sektora i drugih emisija u okviru postojećih politika i mera. Ovaj scenario ne vodi do ostvarivanja ciljeva INEKP-a, već služi kao referenca) [18].

Srbija još uvek zaostaje u odnosu na razvijenije zemlje u pogledu proizvodnje električne energije iz OIE. Zbog toga se sve veća sredstva ulažu u razvojne projekte i infrastrukturu koja će biti u stanju da podrži ovu povećanu potrebu za priključenjima OIE u elektroenergetski sistem.

Zakon o obnovljivim izvorima energije (ZOBIE) u Bosni i Hercegovini [19] usvojen je 2011. godine i reguliše upotrebu OIE pravno regulišući principe proizvodnje, transporta, distribucije i potrošnje energije iz obnovljivih izvora u skladu s međunarodnim standardima i zahtevima.

Zakon o obnovljivim izvorima energije Republike Srpske [20] iz 2022. godine je zakonski akt koji reguliše korišćenje obnovljivih izvora energije u ovom entitetu Bosne i Hercegovine. Ovaj Zakon ima sveobuhvatan pristup problematici i pruža širok okvir za korišćenje različitih tipova obnovljivih izvora energije, uključujući vetroelektrane, solarne elektrane, hidroelektrane, geotermalne elektrane, kao i drugih OIE koji će se razvijati u budućnosti. Isti daje detaljnu definiciju i pravnu karakterizaciju obnovljivih izvora energije, kao i kriterijume za proglašenje jednog izvora za obnovljiv. Osim toga, ovim aktom detaljno su definisane kategorije i klasifikacija obnovljivih izvora energije. Zakon navodi obavezu Vlade Republike Srpske da podržava i

stimuliše proizvođače električne energije iz obnovljivih izvora kroz *feed-in* tarife, subvencije i kroz druga sredstva. Uz to, jasno su navedeni zahtevi za korišćenje nacionalnih sredstava za razvoj obnovljivih izvora energije. Ovim aktom dati su detaljni preduslovi za distribuciju električne energije iz obnovljivih izvora, uključujući izradu planova distribucije, instaliranje mreža za distribuciju, kao i praksu za praćenje i regulisanje distribucije elektrane. Zakon detaljno karakteriše zahteve za *saglasnost za rad* i *instalaciju novih projekata* razvoja obnovljivih izvora energije. Isti daje detaljne pravne mehanizme za pravnu zaštitu kroz proces medijacije i sudske postupke u slučaju neslaganja između stranaka koje su uključene u postupak izgradnje ili korišćenja OIE.

Kao posledica donošenja ovog Zakona u Republici Srpskoj, došlo je do donošenja podzakonskog akta pod nazivom *Uputstvo o vođenju registra projekata iz obnovljivih izvora energije* [21]. Ovaj normativni akt institucionalno uređuje proceduru, kriterijume i metodologiju za evidenciju i praćenje projekata koji se odnose na obnovljive izvore energije na teritoriji Republike Srpske. Isti ima za cilj da obezbedi transparentnost, sistematičnost i efikasnost u upravljanju podacima o projektima koji se realizuju na osnovu *Zakona o obnovljivim izvorima energije*.

Uputstvo definiše koje vrste projekata iz obnovljivih izvora energije treba da budu obuhvaćene registrom, uključujući, ali ne ograničavajući se na projekte solarnih, vetroelektrana, hidroelektrana i biomasu. Takođe, ono propisuje specifične tehničke, ekološke i administrativne kriterijume koji moraju biti ispunjeni kako bi se projekti registrovali. Osim toga, ono sadrži detaljne procedure za unos, ažuriranje i brisanje podataka u registru, uključujući odgovornosti nadležnih institucija za vođenje registra i osiguranje tačnosti i neporecivosti podataka. Uputstvo definiše pravila o dostupnosti informacija iz registra javnosti, kao i mehanizme zaštite ličnih podataka i poslovne tajne. Isti obezbeđuje redovno praćenje projekata, kao i obavezne izveštaje o realizaciji i efektima razvoja projekata obnovljivih izvora energije, što omogućava donošenje definisanih mera, politika i strategija na nivou Republike Srpske. Ono takođe sadrži odredbe o sankcijama za nepoštovanje propisanih procedura i kriterijuma, čime se dodatno osnažuje regulativa u oblasti obnovljivih izvora energije. Samim tim, možemo zaključiti da ovo Uputstvo predstavlja suštinski instrument za uspostavljanje systemske evidencije o projektima koji koriste OIE, obezbeđujući tako transparentnost, efikasnost i podršku održivog razvoja energetskog sektora i zaštitu životne sredine u Republici Srpskoj.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je napisan kroz zajednički rad ekipa tri partnerske visokoškolske institucije u okviru Erasmus Plus Capacity-Building projekta u izgradnji visokog obrazovanja: "New energy competence system and technology for WB energy stability system curriculum reform/NEST4WB", Project No. 101129321 — NEST4WB — ERASMUS-EDU-2023-CBHE, <https://nest4wb.akademijakm.edu.rs/>.

IV. ZAKLJUČAK

VI predstavlja ključnu komponentu u transformaciji energetskih sistema, posebno kada je u pitanju integracija OIE. Iako OIE imaju značajan potencijal za smanjenje emisije CO₂ i stvaranje održivih energetskih sistema, suočavaju se s izazovima poput fluktuacije u proizvodnji i kompleksnosti u upravljanju. Integracija VI u ove sisteme omogućava optimizaciju energetske proizvodnje, distribucije i skladištenja, čime se postiže veća efikasnost i smanjenje operativnih troškova. Metode poput nadgledanog učenja, nenadgledanog učenja i dubokog učenja omogućavaju precizno predviđanje proizvodnje energije, bolje upravljanje potrošnjom i efikasno održavanje opreme, što značajno doprinosi stabilnosti i fleksibilnosti energetskih mreža.

U kontekstu globalnih ulaganja u OIE, viši nivo primene VI tehnologija, kao i podrška zakonodavnih inicijativa, postavljaju temelje za ubrzanje razvoja zelenih tehnologija i smanjenje zavisnosti od fosilnih goriva. Za Srbiju, Zakon o korišćenju OIE i Nacionalni energetski plan jasno ukazuju na prednosti integracije OIE u energetski sistem, čime se doprinosi smanjenju emisije štetnih gasova i postizanju klimatskih ciljeva. Kako bi se ovi ciljevi ostvarili, neophodna

su dalja ulaganja u istraživanje i razvoj VI tehnologija, kao i nastavak unapređenja zakonodavnog okvira i infrastrukture za podršku OIE. U budućnosti, uloga VI u energetskoj industriji biće još važnija, jer će omogućiti dalji napredak ka energetskoj efikasnosti, održivosti i smanjenju negativnih uticaja na životnu sredinu, što predstavlja ključ za održivu budućnost globalnog energetskog sektora.

LITERATURA

- [1] R. Jovanović, I. Božić, "Primena metoda veštačke inteligencije u obnovljivim izvorima energije i energetskoj efikasnosti," *Zbornik Međunarodnog kongresa o procesnoj industriji – Processing*, 31(1), 2018, pp. 63–81.
- [2] T. Majstorović, "Primena veštačke inteligencije u upravljanju projektima – analiza primene Chatgpt-a," *Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu*, 39(10), October 2024, pp. 1449–1452.
- [3] Nova ekonomija, *Primena veštačke inteligencije u energetskom sektoru – obnovljivi izvori energije*, Br. 117, Januar 2025.
- [4] G. Ali Mansoori, L. Barnie Agyarko, L. Antonio Estevez, B. Fallahi, G. Gladyshev, R. Gonçalves dos Santos, S. Niaki, O. Perišić, M. Sillanpää, K. Tumba, J. Yen, "Fuels of the Future for Renewable Energy Sources (Ammonia, Biofuels, Hydrogen)," *Physics, Applied Physics*, January 2021.
- [5] V. Franki, D. Majnarić, A. Višković, "A Comprehensive Review of Artificial Intelligence (AI) Companies in the Power Sector," *Energies*, 16(3), January 2023, 1077.
- [6] P. Boza, T. Evgeniou, "Artificial intelligence to support the integration of variable renewable energy sources to the power system," *Applied Energy*, 290, 15 May 2021, 116754.
- [7] A. Gensler, J. Henze, B. Sick, N. Raabe, "Deep Learning for solar power forecasting - An approach using AutoEncoder and LSTM Neural Networks," *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, October 2016.
- [8] N. A. Mostafa, H. S. M. Ramadan, O. M. O. Elfarouk, "Renewable energy management in smart grids by using big data analytics and machine learning," *Machine Learning with Applications*, 9(5), June 2022, 100363.
- [9] T. Ahmad, D. Zhang, C. Huang, H. Zhang, N. Dai, Y. Song, H. Chen, "Artificial intelligence in sustainable energy industry: Status Quo, challenges and opportunities," *Journal of Cleaner Production*, 289, March 2021, 125834.
- [10] M. Mirhosseini, F. Keynia, "Asset management and maintenance programming for power distribution systems: A review," *IET Generation, Transmission & Distribution*, 15(13), April 2021.
- [11] K. Nam, S. Hwangbo, C. Yoo, "A deep learning-based forecasting model for renewable energy scenarios to guide sustainable energy policy: A case study of Korea," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 122, April 2020, 109725.
- [12] K. O. Ukoba, K. O. Olatunji, E. Adeoye, T. C. Jen, D. M. Madyira, "Optimizing renewable energy systems through artificial intelligence: Review and future prospects," *Energy & Environment*, 35(7), May 2024.
- [13] K. Vuinac, "Razvoj OIE i uloga veštačke inteligencije u energetskom sistemu," *Energetski portal*, 2023.
- [14] Statista, "New investment in renewable energy worldwide from 2014 to 2023 (in billion U.S. dollars)," *Energy & Environment*, Energy, 2024.
- [15] *Inflation Reduction Act*, Public Law No. 117-169, 136 Stat. 1818, United States Congress, 2022.
- [16] Statista, "Investments in renewable energy worldwide in 2023, by region (in billion U.S. dollars)," *Energy & Environment*, Energy, 2024.
- [17] *Zakon o korišćenju obnovljivih izvora energije*, Službeni glasnik RS, br. 40/2021, 35/2023 i 94/2024 - dr. zakon.
- [18] *Integrirani nacionalni energetski i klimatski plan Republike Srbije za period do 2030. godine sa vizijom do 2050. godine*, Službeni glasnik RS, br. 70/2024.
- [19] *Zakon o korišćenju obnovljivih izvora energije i efikasne kogeneracije*, Službene novine Federacije BiH, br. 70/2013.
- [20] *Zakon o obnovljivim izvorima energije Republike Srpske*, Službeni glasnik Republike Srpske, br. 15/2022.
- [21] *Uputstvo o vođenju registra projekata iz obnovljivih izvora energije*, Službeni glasnik Republike Srpske, br. 52/2023.

Analiza mogućnosti primjene DC portova u distributivnoj mreži

I. Aleksić, V. Durković, V. Radulović

Sadržaj— Rastuća potražnja i integracija distributivnih generatora dovode do transformacije distributivnih sistema, što zahtijeva razvoj novih upravljačkih resursa. Jedni od takvih resursa su jednosmjerni portovi, bazirani na elementima energetske elektronike. Njihov cilj je optimizacija tokova snaga, s ciljem povećanja efikasnosti distributivne mreže. U radu je prikazan algoritam upravljanja jednosmjernim portovima, testiran na izvedenoj 35 kV distributivnoj mreži, kao i analiza njihovog doprinosa unapređenju efikasnosti distributivnih sistema.

I. UVOD

Sa sve većom potrebom za prelaskom s konvencionalnih izvora električne energije zbog njihovih negativnih ekoloških posljedica, u svijetu se teži tranziciji proizvodnje električne energije iz „zelenih tehnologija“ baziranih na obnovljivim izvorima električne energije (OIE). Ova tendencija prelaska na nove metode eksploatacije dovodi do novih izazova s kojima se susreću elektroenergetski sistemi (EES).

Distributivna proizvodnja ima za cilj proizvodnju na mjestu potrošnje kako bi se rasteretila potreba za proizvodnjom iz konvencionalnih izvora [1]. Za operatora distributivnog sistema, distributivna proizvodnja na mjestu potrošnje rasterećuje dalekovode i ostale elemente EES-a, što rezultira manjim gubicima i boljim naponskim prilikama u sistemu [2]. Rasterećenje sistema zbog distributivne proizvodnje takođe odlaže potrebu operatora za planiranjem razvoja novih centralizovanih proizvodnih kapaciteta i mrežnih elemenata. Za same potrošače, distributivna proizvodnja ih, u određenoj mjeri, čini nezavisnim u odnosu na distributivnu mrežu, jer će svoje potrebe za električnom energijom zadovoljavati direktno iz vlastite distributivne proizvodnje.

Razvojem energetske elektronike i fleksibilnih sistema naizmjenične struje (FACTS) došlo je do novih interesovanja za njihovu primjenu u distributivnim mrežama. Novi uređaji bazirani na elementima energetske elektronike donose nove upravljačke resurse u distributivne sisteme. Jedan od novih uređaja ili resursa su jednosmjerni (DC) portovi (eng. Soft Open Points), čija je osnovna ideja primjene u distributivnim

mrežama povezivanje dva distributivna izvoda s ciljem njihovog vezivanja u paralelan rad [3]. Vezivanjem u paralelan rad preko DC portova eliminišu se negativne strane upetljenih mreža, zahvaljujući karakteristikama konvertora energetske elektronike koji prate i regulišu snagu koja se preko njih prenosi između izvoda [4].

U radu je predstavljena strategija upravljanja savremenim distributivnim sistemima sa jednosmjernim portovima i razvoj algoritma za centralizovano upravljanje jednosmjernim portovima u distributivnim mrežama. Algoritam se zasniva na integraciji metode za proračun tokova snaga i optimizacionog algoritma, što omogućava određivanje optimalnih upravljačkih varijabli u uobičajenim radnim režimima za sve jednosmjerne portove. Algoritam je testiran na dijelovima postojećeg i izvedenog 35 kV distributivnog sistema Crne Gore.

II. DC PORTOVI

Primjena DC portova u distributivnim mrežama najviše je zastupljena na mjestima na kojima se zatvara prsten između dva nezavisna izvoda. Pri upravljanju distributivnim mrežama, praksa je da se, ukoliko postoji mogućnost zatvaranja prstena između dva izvoda koja se napajaju iz različitih transformatora ili iz jednog transformatora, izvrši kratkotrajno vezivanje prstena kako bi se izbjegla problematika paralelnog rada. DC portovi omogućavaju trajno vezivanje prstena i omogućavaju upetljavanje mreže na bezbjedan način kroz kontrolisanu razmjenu snage između izvoda [4].

A. Model DC portova

Modelovanje DC portova za proračun tokova snaga izvršeno je preko modela injektiranja, koji tretira DC konvertorske čvorove kao potrošačke [6]. Potrošački čvor je sabirnica sistema na kojoj je priključen samo potrošač, bez generatora, sa specificiranom aktivnom i reaktivnom snagom, pa se zato i naziva PQ čvor [7]. DC portovi mogu prenijeti onoliko snage koliko im određuje nominalna prividna snaga [8]. Osnova za modelovanje DC portova preko modela injektiranja proizlazi iz principa rada DC portova. Struktura DC portova sastoji se od dva VSC konvertora koji vrše nezavisne regulacije. Oba konvertora nezavisno regulišu reaktivnu snagu za izvod na koji su spojeni. Pored ove regulacije, jedan VSC konvertor vrši regulaciju aktivne snage koja ulazi u DC portove, dok drugi vrši regulaciju jednosmjernog napona. VSC konvertor reguliše jednosmjerni

I. Aleksić (autor za kontakte), Elektrotehnički fakultet u Podgorici, Univerzitet Crne Gore, Džordža Vašingtona bb, 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: ilija.aleksic-idzo@gmail.com).

V. Durković, Elektrotehnički fakultet u Podgorici, Univerzitet Crne Gore, Džordža Vašingtona bb, 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: vladan.d@ucg.ac.me.).

V. Radulović, Elektrotehnički fakultet u Podgorici, Univerzitet Crne Gore, Džordža Vašingtona bb, 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: vladanra@ucg.ac.me.).

napon održavanjem ravnoteže između snage koju dobija iz prvog VSC konvertora i snage koju daje na AC strani.

Ako smatramo da su konvertori potpuno upravljivi elementi i da se napon na DC strani konvertora održava konstantnim, tada možemo primijeniti model injektiranja DC portova [9]. Pri modelovanju DC portova preko modela injektiranja, između dva čvora 1 i 2, potrebno je da u svakom trenutku bude zadovoljena jednačina balansa (1), [8]:

$$P_{vsc1} + P_{vsc2} = P_{vsc1}^{loss} + P_{vsc2}^{loss} \quad (1)$$

gdje P_{vsc1} i P_{vsc2} aktivna snaga koja ulazi u čvorove 1 i 2 krajeva DC portova, P_{vsc1}^{loss} i P_{vsc2}^{loss} gubici aktivne snage u konvertorima DC portova.

Modelovanje gubitaka potiče od same prirode rada IGBT prekidača. Gubici u prekidačima se mogu podijeliti na gubitke prekidanja, kondukcijske gubitke i gubitke curenja. U ovom radu je korišćen linearizovan model gubitaka koji zavisi od snage koja ulazi u konvertore [8]:

$$P_{vsc1}^{loss} = k_1 \cdot P_{vsc1} \quad (2)$$

$$P_{vsc2}^{loss} = k_2 \cdot P_{vsc2} \quad (3)$$

gdje su k_1 i k_2 su koeficijenti gubitaka za konvertore. Na osnovu (2) i (3) gubici u VSC konvertorima se mogu odrediti na osnovu snage koja ulazi u njih.

B. Algoritam za centralizovano upravljanje DC-portovima

Kao što je već navedeno, krajevi DC portova se mogu tretirati kao PQ čvorovi u proračunima tokova snaga [10]. Pri tome injektiranje aktivne snage nije nezavisno jedno od drugog čvora DC portova, već je potrebno zadovoljiti jednačinu (1) [10]. U radu je uzeto da DC portovi mogu da prenose snagu u oba smjera, što znači da konvertori jednog i drugog kraja mogu da rade u invertorskom i ispravljačkom režimu. S obzirom na usvojeni model injektiranja DC portova, vektor upravljačkih promjenljivih se može definisati kao:

$$x = \begin{bmatrix} P_1^{DC} \\ Q_1^{DC} \\ Q_2^{DC} \end{bmatrix} \quad (4)$$

gdje je P_1^{DC} aktivna snaga koja ulazi ili izlazi u prvi konvertor DC portova, Q_1^{DC} i Q_2^{DC} su reaktivne snage koju daju konvertori DC portova. Snaga koja će da izlazi ili ulazi iz drugog konvertora DC portova se dobija iz jednačine (1). Na osnovu snage prvog čvora P_1^{DC} i relacije (2) dobijaju se gubici aktivne snage u prvom konvertoru. Za drugi čvor se za ulaznu ili izlaznu snagu uzima P_1^{DC} umanjeno za gubitke

prvog konvertora.

Centralizovano upravljanje DC portovima ima za cilj uspostavljanje željenog stanja u mreži. Željeno stanje u mreži može biti da se preko procesa optimizacije upravljačke promjenljive tako definišu da se u mreži uspostave: minimalni gubici, optimalne naponske prilike, rasterećenje grane i elemenata mreže, itd. [4]. Kriterijumska funkcija predstavlja funkciju koja opisuje stanje u mreži. Cilj je minimizovati ili maksimizovati kriterijumsku funkciju da bi se dobilo najbolje željeno stanje mreže. U radu, kriterijumska funkcija opisuje kriterijum minimizovanja aktivnih gubitaka u distributivnom sistemu. Pod minimizovanjem aktivnih gubitaka obuhvaćeni su svi elementi u sistemu, kao gubici u ugrađenim elementima potrebni za ugradnju DC portova u distributivnim sistemima i u samim DC portovima.

Ograničenja sistema su ograničenja koja se moraju zadovoljiti da bi se nakon procesa optimizacije osigurao bezbjedan rad distributivne mreže u normalnim uslovima rada, [5]. U radu su navedena dva ograničenja tipa nejednakosti: ograničenje da naponi u čvorovima ne prelaze 10% od referentnog napona, i ograničenje snage koja može da ide DC portovima, a da se ne naruše regioni dozvoljenog rada VSC konvertora.

Sam algoritam za određivanje najboljih uslova rada DC portova, a da imamo zadovoljene sve korake optimizacije, bazira se na proračunu tokova snaga. Nakon prikupljanja mrežnih podataka definišu se balansni i potrošački čvorovi. Čvorovi koji imaju distributivnu proizvodnju se smatraju kao potrošački čvorovi koji imaju negativnu snagu koju uzimaju, i u zavisnosti od tipa distributivne proizvodnje, u radu su uzeti s faktorom snage 0.95 kapacitivno ili sa faktorom snage 1. U proračunima u narednim poglavljima nema generatorskih čvorova nego samo balansni i potrošački čvorovi. Pozicija gdje se postavljaju DC portovi na onim lokacijama gdje distributivni sistemi imaju mogućnost vezivanja prstena, odnosno paralelnog rada izvoda i izgrađene mrežne infrastrukture za spajanje trafostanica [10]. Ove lokacije su odabrane na osnovu odabranih standardnih uklopnih stanja koje definiše operator distributivne mreže. Za potrebe određivanja upravljačkih parametara DC porta korišćen je PSO algoritam. Parametri PSO algoritma su dati u Tabeli I. U jednoj populaciji definiše se 50 čestica kojima se dodijeli upravljačka promjenljiva P_1^{DC} , Q_1^{DC} i Q_2^{DC} tako da pri proračunu tokova snaga, za te vrijednosti promjenljivih, zadovoljena su sva ograničenja optimizacije.

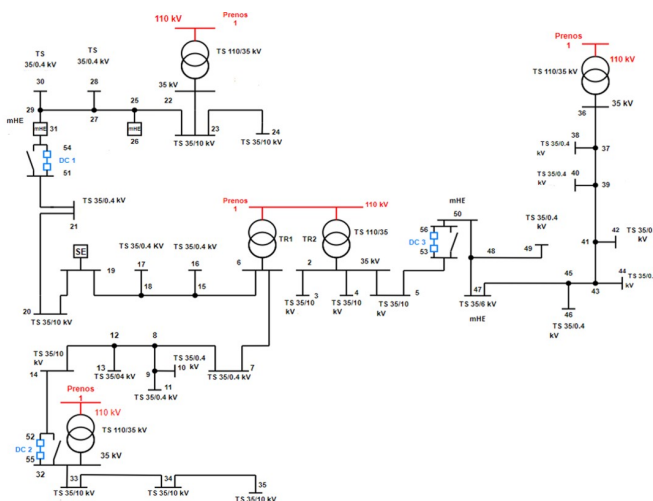
TABELA I
PARAMETRI PSO ALGORITMA

c_1	1	0.4	1.55
c_2	1	1.55	0.4
Veličina populacije	50	50	50
Kriterijum zaustavljanja	10^{-6}	10^{-6}	10^{-6}
Maksimalni broj iteracija	200	200	200

U radu su analizirana tri slučaja u kojima su korišćene različite vrijednosti koeficijenata c_1 i c_2 .

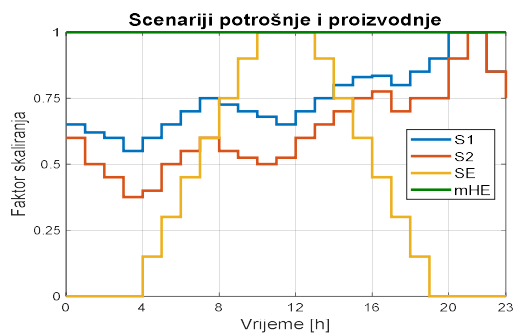
III. ANALIZA PRIMJENE DC PORTOVA

Simulacije pri pokretanju algoritma za pronalaženje optimalnih upravljačkih promjenljivih DC portova, rađene su za slučajeve normalnih uslova rada, simetrično opterećenih distributivnih sistema. Simulacije su sprovedene na djelovima 35 kV distributivnog sistema Crne Gore. Podaci o 35 kV distributivnim mrežama Crne Gore kao i o potrošnji trafostanica nabavljene su od operatora distributivne mreže Crne Gore kompanije „CEDIS“. Na Sl. 1 data je zamjenska šema sistema na kojem je sproveden algoritam.



Slika 1. Zamjenska šema 35 kV distributivnog sistema

U cilju analize uticaja DC portova na smanjenje gubitaka u periodu od 24 sata, potrebno je odrediti satne snage. Satne snage proizvodnje i potrošnje su dobijene tako što su vrijednosti funkcije scenarija pomnožene s maksimalnom aktivnom i reaktivnom snagom iz mjerenja dostavljenih od CEDIS-a. Dva scenarija su napravljena za potrošačke trafostanice, koje nemaju proizvodnju iz OIE-a, zbog manjih vremenskih varijacija u dijagramima opterećenja za periode niske i visoke potrošnje (Sl. 2).



Slika 2. Scenariji potrošnje i proizvodnje

Za čvorove u kojima su priključene elektrane napravljen je jedan scenario za proizvodnju iz solarne elektrane (SE), dok se za male hidroelektrane (mHE) smatra da rade 24 sata s

maksimalnom proizvodnjom. U Tabeli II date su nominalne snage elektrana. Nominalna snaga DC porta je 3 MVA, i pretpostavlja se da tri DC porta povezuju čvorove: 51/54, 52/55 i 53/56.

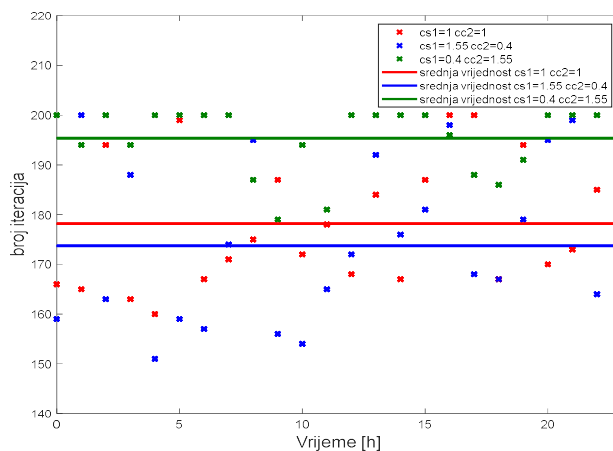
TABELA II
NOMINALNE SNAGE MHE I SE 35 kV DISTRIBUTIVNOG SISTEMA

<i>Nominalne snage mHE i SE 35 kV distributivnog sistema</i>		
<i>ČVOR</i>	<i>Elektrana</i>	<i>S [MVA]</i>
<i>19</i>	<i>SE</i>	<i>3.5</i>
<i>31</i>	<i>mHE</i>	<i>5</i>
<i>47</i>	<i>mHE</i>	<i>2.5</i>
<i>26</i>	<i>mHE</i>	<i>2.5</i>
<i>50</i>	<i>mHE</i>	<i>2.5</i>

A. Rezultati simulacije za prvi 35 kV distributivnog sistema

Analiza doprinosna bazira se na ponašanju gubitaka u distributivnom sistemu sa DC portovima i bez DC portova, za period od 24 h. Analizirane simulacije obuhvataju slučaj kada nema proizvodnje iz OIE, sa i bez DC portova, kao i slučaj kada postoji proizvodnja iz OIE, sa i bez DC portova. U poglavlju je prikazano kako različiti koeficijenti c_1 i c_2 utiču na broj iteracija potrebnih da algoritam konvergira (Sl. 3).

Iz Sl. 3 možemo zaključiti da broj iteracija potrebnih da algoritam konvergira zavisi od slučaja u kojem se algoritam pokrene. Takođe, može se primijetiti da algoritam brže konvergira kada je vrijednost koeficijenta c_2 manja, a vrijednost koeficijenta c_1 veća.

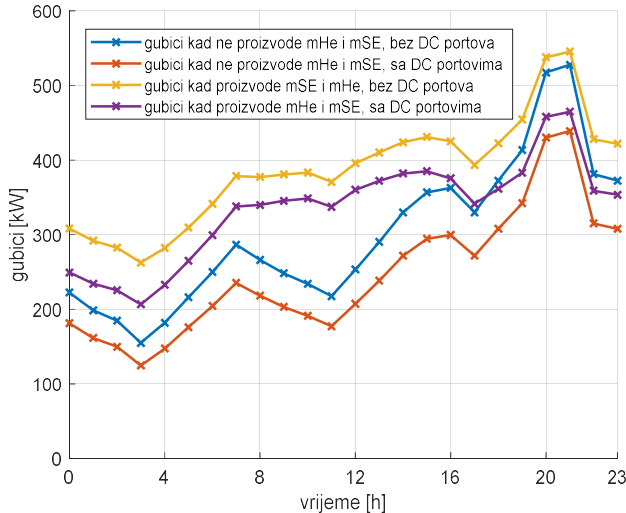


Slika 3. Broj iteracija potrebnih da algoritam konvergira za slučaj kada proizvode OIE sa DC portovima

Za koeficijente $c_1=0.4$ i $c_2=1.55$, prosječan broj iteracija potrebnih da algoritam konvergira iznosi 196 za prvi slučaj, dok za drugi slučaj iznosi 195. S druge strane, za koeficijente $c_1=1.55$ i $c_2=0.4$, prosječan broj iteracija iznosi 174 u prvom slučaju, a 176 u drugom slučaju. Za koeficijente $c_1=1$ i $c_2=1$, prosječan broj iteracija potrebnih da algoritam konvergira iznosi 179 za prvi slučaj, a 178 za drugi slučaj. Zbog najmanjeg prosječnog broja iteracija potrebnih da algoritam konvergira, u daljim analizama korišćene su vrijednosti

koefficienata $c_1=1.55$ i $c_2=0.4$.

Na Sl. 4, dati su grafici koji pokazuju kako se ponašaju gubici u distributivnom sistemu, za slučaj kada postoji i nema proizvodnje iz OIE-a, sa i bez DC portova. Na Sl.4 se vidi da sa integracijom OIE-a dolazi do povećanja gubitaka električne energije u sistemu za svaki sat, žuti graf (Sl. 4).



Slika 4. Gubici po satu za distributivni sistem

Razlog za povećanje gubitaka je lokacija OIE-a, koji se nalaze na udaljenim mjestima od centara potrošnje pa se posledično povećavaju gubici u distributivnoj mreži zbog povećanja prenosa energije kroz distributivnu mrežu. Sa smanjenom potrošnjom konzuma, ovi gubici postaju još veći, jer se onda manje energije iz OIE-a troši na potrošnju, a više energije plasira u mrežu. Navedeno dovodi do smanjene iskorišćenosti mreže manje integracije OIE-a, što se može vidjeti u jutarnjim i popodnevnom časovima, kada je manja potrošnja konzuma. U večernjim satima vidi se da je razlika između slučaja kada nema proizvodnje, plavi graf, i kada ima proizvodnje iz OIE-a, manja razlika nego u jutarnjim i večernjim satima.

Upravo u večernjim satima vidi se veća iskorišćenost OIE-a zbog povećane potrošnje. U Tabeli III, date su vrijednosti ukupne energije potrošene u danu za pokrivanje energije gubitaka za svaki analizirani slučaj. Iz Tabele III se može uočiti da se energija potrebna da pokrije ukupne gubitke s proizvodnjom iz OIE-a, povećava sa 7.1 MWh na 9.2 MWh.

TABELA III

UKUPNA ENERGIJA POTROŠENA NA GUBITKE ZA 24H U PRVOM SISTEMU

Energija potrošena na gubitke za 24 h	
<i>Gubici kad ne proizvode mHe i mSE, bez DC portova</i>	7.1 MWh
<i>Gubici kad ne proizvode mHe i mSE, sa DC portovima</i>	5.8 MWh
<i>Gubici kad proizvode mSE i mHe, bez DC portova</i>	9.2 MWh
<i>Gubici kad proizvode mHe i mSE sa DC portovima</i>	8.1 MWh

Sa ugradnjom 3 DC porta u slučaju kada ne proizvode

mHE i SE u sistemu, ukupni gubici se smanjuju za 1.3 MWh (Tabela III). Sa Sl. 10 se vidi da se ukupni gubici, crveni graf, u sistemu smanjuju za svaki sat u odnosu na slučaj kada nema DC portova, plavi graf. Razlog ovome je bolja preraspodjela opterećenja između izvoda koje vezuju DC portovi. Razlika u smanjenju gubitaka za slučaj kada proizvode mHE i SE se smanjuje sa 9.2 MWh na 8.1 MWh. DC portovi u ovom slučaju, ljubičasti graf, do 17h smanjuju gubitke u odnosu na slučaj kada proizvode SE i mHE, žuti graf, ali ih ne smanjuju u odnosu na slučaj kada nema proizvodnje iz mHE i SE, plavi graf. Od 17 h DC portovi smanjuju gubitke ispod slučaja kada ne proizvode mHE i SE.

IV. ZAKLJUČAK

U svrhu povećanja integracije i doprinosa integracije obnovljivih izvora električne energije, u radu su prikazani jednosmjerni portovi kao novi upravljački resursi, koji se baziraju na elementima energetske elektronike. Osnovna ideja jednosmjernih portova jeste povezivanje izvoda, čime se vrši balansiranje i regulacija tokova snaga u tom dijelu mreže. U radu je razvijen algoritam i model DC portova koji treba da omoguće integraciju DC portova u strategiju upravljanja distributivnom mrežom u normalnim uslovima rada. Određivanje upravljačkih promjenljivih DC portova se utvrđuje na osnovu rezultata algoritma koji se bazira na proračunu optimalnih tokova snaga u kojem je integrisan optimizacioni algoritam, koji je razvijen s ciljem određivanja upravljačkih promjenljivih DC portova, da bi se dostiglo željeno optimalno stanje mreže. U radu je prikazana implementacija ovog algoritma na 35 kV distributivnom sistemu gdje je željeno stanje minimizacija aktivnih gubitaka u sistemu.

V. LITERATURA

- [1] T.Z. Ang, M. Salem, M. Kamarol, H. S. Das: A comprehensive study of renewable energy sources: Classifications, challenges and suggestions, Energy Strategy Reviews, 2022.
- [2] R. A. Badwawi, M. Abusara, T. Mallick: A review of hybrid solar PV and wind energy system, Smart Science, 2015.
- [3] D. Treballe, B. Valecillos: Optimal operation of paralleled power transformers, RE&PQJ, 2008.
- [4] D. Freitas, L. G. Lopes, F. M. Dias: Particle Swarm Optimisation: A Historical Review Up to the Current Developments", Entropy, 2020.
- [5] H. Ji, C. Wang, P. Li, J. Zhao, G. Song, J. Wu: Quantified flexibility evaluation of soft open points to improve distributed generator penetration in active distribution networks based on difference-of-convex programming," Appl. Energy, 2018.
- [6] W. Cao, J. Wu, N. Jenkins, C. Wang, T. Green: Benefits analysis of Soft Open Points for electrical distribution network operation, Article in Applied Energy, 2016.
- [7] H. Požar: Visokonaponska rasklopna postrojenja", drugo izdanje, Tehnička knjiga, 1973.
- [8] P. Li, G. Song, H. Ji, J. Zhao, C. Wang, J. Wu: A supply restoration method of distribution system based on soft open point, IEEE Innov. Smart Grid Technol. Asia (ISGT-Asia), 2016.
- [9] D. R. Ivić: Razvoj upravljačkih algoritama za upravljanje jednosmjernim portovima u distributivnim mrežama sa distributivnim generatorima, doktorska disertacija, 2022.
- [10] W. Cao, J. Wu, N. Jenkins, C. Wang, T. Green: Benefits analysis of Soft Open Points for electrical distribution network operation, Article in Applied Energy, 2016.

Izazovi u implementaciji 5G mobilnih mreža

Vladimir Đurišić¹, Zoran Veljović²

Sadržaj— U ovom radu se analiziraju ključni izazovi u implementaciji 5G mobilnih mreža sa posebnim akcentom na implementaciju u Crnoj Gori. Identifikuju se nedostaci u početnoj fazi implementacije 5G mreža i daju se preporuke za efikasniji pristup u narednim fazama razvoja.

I. UVOD

Pojedinu generaciju standarda mobilnih radio mreža karakterišu ključne zajedničke karakteristike definisanih standarda koje se odnose na vrstu servisa koje pružaju, zahtjeve u pogledu pouzdanosti, informacionog kapaciteta i kašnjenja, kao i ključne tehnologije kojima se ostvaruju postavljeni zahtjevi. Zahtjevi koji se postavljaju pred pojedinu generaciju mobilnih mreža obično odražavaju trenutni pravac razvoja ostvaren u fiksnim telekomunikacionim mrežama. Tako je pred prvom generacijom mobilnih mreža (1G) postavljen zahtjev da se ostvari prenos analognog govora između učesnika koji su u pokretu. Na taj način 1G mreže su ustvari bile analogne mobilne telefonske mreže. Primjena koncepta digitalizacije u fiksnim mrežama definiše ključne zahtjeve koji se postavljaju pred mobilne mreže druge generacije (2G), a to je razvoj digitalnih telefonskih mreža sa ciljem postizanja boljeg subjektivnog kvaliteta govornog servisa, podrške međunarodnom romingu, implementaciji džepnih terminala koji se ostvaruje usavršavanjem baterijskog napajanja terminala uz implementaciju energetski efikasnijih tehnologija.

Snažan razvoj Interneta s kraja XX vijeka doveo je do toga da su zahtjevi korisnika za *data* saobraćajem eksponencijalno porasli, a da je govorni saobraćaj stagnirao. Shodno tome, dalji razvoj mobilnih mreža zahtjevaio je koncipiranje mreže kao integrisane mreže digitalnih službi, koja će podržavati različite servise koji između ostalog zahtjevaju i promjenljive brzine signaliziranja i asimetričan saobraćaj na direktnom (*down*) i povratnom (*up*) linku. Na taj način se došlo do specifikacija koje treba da zadovolje standardi treće generacije mobilnih mreža (3G).

Stalna potreba za povećanjem informacionog kapaciteta (brzine signaliziranja) do krajnjeg korisnika, koji će se na malim rastojanjima približiti mogućnostima optičkih vlakana, dovela je do korisničkih zahtjeva koji će odrediti ključne tehnologije za mreže četvrte generacije (4G), odnosno za LTE (*Long Term Evolution*) standard kao prvi globalni standard. Razvojem ovih mreža ostvaren je širokopojasni pristup Internetu.

¹Logate, Evropska 2, 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: vladimir.dj.pv@gmail.com)

²Elektrotehnički fakultet u Podgorici, Univerzitet Crne Gore, Džordža Vašingtona bb, 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: veljovic@ucg.ac.me)

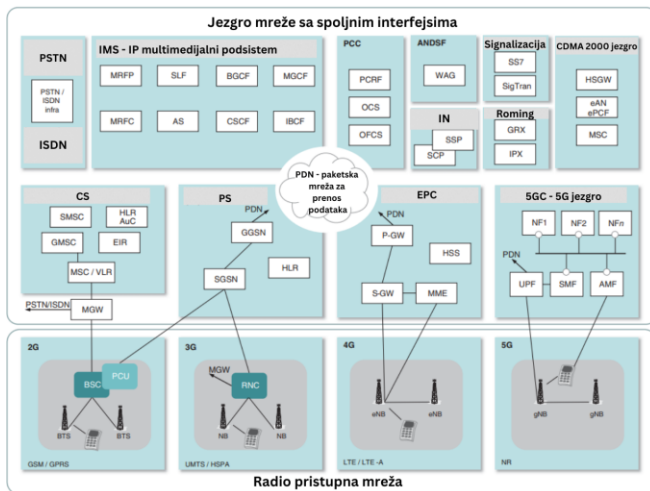
Razvojem IoT (*Internet of Things*) nametnula se potreba za komunikacijom između uređaja, odnosno nameće se prenos poruka koje ne generišu isključivo ljudi. Upravo ovaj zahtjev je doveo do potrebe osmišljavanja novih tehnologija kojima će se ostvariti potpuno nove kategorije servisa. Mobilne mreže pete generacije (5G) treba da podrže i unaprijede postojeće servise, kao i da obezbijede implementaciju potpuno novih kategorija servisa. Nakon 4G, mobilne mreže nisu isključivo usmjerene ka čovjeku kao krajnjem korisniku, već u opštem slučaju uređajima koji generišu širok dijapazon signala (poruka) koje treba preneti, poštujući širok spektar zahtjeva u pogledu kvaliteta, brzine signaliziranja i kašnjenja. Pored daljeg unapređenja širokopojasnog pristupa Internetu kroz eMBB (*Enhanced Mobile Broadband*), IMT2020 (IMT – *International Mobile Telecommunications*) familija standarda definiše i potpuno nove dvije kategorije servisa karakteristične za 5G mobilne mreže, a to su eMTC (*Enhanced Machine Type Communications*) i URLLC (*Ultra Reliable Low Latency Communications*). Upravo ove dvije kategorije servisa će u potpunosti promijeniti arhitekturu 5G mreža, kako u radio pristupnom dijelu mreže, tako i u jezgru mreže, [1].

II. OSNOVNE KARAKTERISTIKE 5G ARHITEKTURE

5G arhitektura je servisno orjentisana arhitektura, kod koje se, gdje je god to moguće, dijelovi arhitekture prikazuju mrežnim funkcijama koje se mogu konfigurisati prema konkretnim potrebama korisnika, odnosno zahtjevima pojedinih servisa, za razliku od arhitekture prethodnih generacija mobilnih mreža sa tradicionalnom arhitekturom zasnovanom na formatu referentnih tačaka. Servisno orjentisana arhitektura uz primjenu ključne tehnike segmentiranja mreže (*network slicing*), karakteristične za 5G, omogućava konfigurisanje mreže za različite tipove servisa shodno zahtjevima korisnika.

Na osnovu činjenica iznesenih u Uvodu ovog rada, može se lako primjetiti da 5G mobilne mreže treba da podrže širok dijapazon različitih zahtjeva pojedinih servisa, kako u pogledu pouzdanosti, tako i u pogledu informacionog kapaciteta i kašnjenja. To znači da treba omogućiti korisnicima one servise za koje su oni zainteresovani, pa shodno tome treba omogućiti u datoj arhitekturi ostvarivanje virtuelnih mreža za potrebe pojedinih grupa korisnika putem mrežnog segmentiranja. Dakle virtuelizacija predstavlja jedan od ključnih elemenata 5G arhitekture.

Na Slici 1 je prikazana evolucija arhitekture mobilnih mreža od druge do pete generacije iz koje se jasno vidi ključna razlika u arhitekturi 5G mreža u poređenju sa prethodnim generacijama, [2].



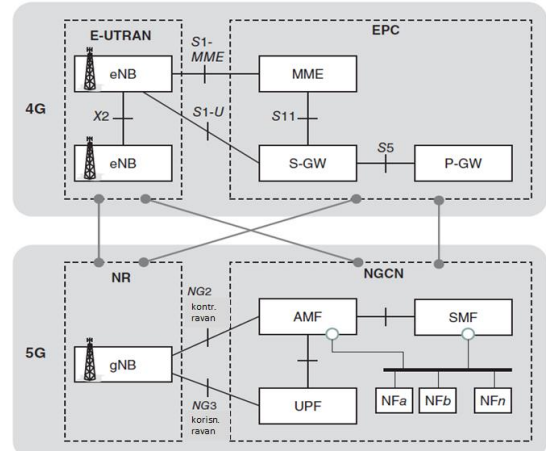
Slika 1: Evolucija arhitekture mobilnih mreža od druge do pete generacije

Radio interfejs u 5G arhitekturi je u potpunosti redizajniran korišćenjem naprednih šema modulacije i inteligentnih višestrukih antenskih sistema sa više elemenata (*advanced multi-array antenna solutions*). To prije svega podrazumjeva implementaciju MIMO i masivnog MIMO sistema (MIMO – *Multiple Input Multiple Output*) kao energetske efikasne tehnologije. Arhitektura radio pristupne mreže takođe treba da zadovolji prethodno definisane kategorije servisa. Prije svega eMTC kategorija servisa podrazumjeva veliku gustinu korisnika po jedinici površine, a to za posledicu ima nedostatak ortogonalnih resursa za razdvajanje korisnika na radio linku. Shodno tome, za realizaciju ovakvih servisa moraće se koristiti neortogonalne tehnike višestrukog pristupa (NOMA- *Non Orthogonal Multiple Access*). Korišćenje NOMA tehnika direktno ima za posledicu pojavu interferencije između korisnika (MUI – *Multi User Interference*), a samim tim i urušavanje pouzdanosti radio veze, [3]. Zbog toga se zajedno sa NOMA tehnikama moraju koristiti tehnike za otklanjanje interferencije. Samim tim javljaju se izazovi u pogledu planiranja radio pristupnog dijela mreže koji je mnogo složeniji nego u slučaju korišćenja ortogonalnih tehnika višestrukog pristupa.

Sama implementacija 5G mreža će biti fazna i u početku će se oslanjati na LTE infrastrukturu i njena unapređenja kroz nesamostalni pristup u funkcionisanju 5G mreže, da bi se postepeno prešlo na samostalnu 5G infrastrukturu sa implementiranim svim 5G elementima. Na Slici 2 su date principijske arhitekture LTE/EPC i 5G NR/NGCN koje omogućavaju oba pristupa u realizaciji 5G mreža, [4].

Na osnovu iznesenog, može se zaključiti da se 5G filozofija značajno razlikuje od prethodnih generacija po principu virtuelizacije mrežnih funkcija, što rezultuje novim, optimizovanim i dinamičnim korišćenjem mrežnih resursa putem koncepta mrežnih segmenata (*network slices*). Mrežni segmenti predstavljaju logičku mrežu unutar 5G infrastrukture, koja je prilagođena specifičnim potrebama. Svaki segment se može konfigurisati nezavisno, uključujući

parametre poput nivoa sigurnosti, kapaciteta i kvaliteta usluge.



Slika 2: Principijske arhitekture LTE/EPC i 5G NR/NGCN

Još jedan od bitnih elemenata 5G arhitekture je mogućnost pristupa mreži putem ne 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) pristupnih tačaka, direktna (D2D – *Device-to-Device*) komunikacija između uređaja, kao i mogućnost implementacije privatnih mobilnih mreža. Ovakvi elementi arhitekture zahtevaju posebnu pažnju u smislu bezbednosti komunikacije i korisničkih informacija. Ovaj izazov će se rešavati nizom bezbednosnih funkcija i protokola.

III. PREDUSLOVI ZA USPJEŠNU IMPLEMENTACIJU 5G MREŽA

Preduslovi koje je potrebno zadovoljiti za uspešnu implementaciju 5G mreža su brojni, ali se grubo mogu podeliti u dvije grupe. Problemi društvene informisanosti i (ne)spremnosti prihvatanja i korišćenja novih naprednih tehnologija i problemi tehničke prirode. U ovom radu bavimo se nekim važnim izazovima tehničke prirode.

Izazove tehničke prirode možemo podeliti na one koji su u direktnoj vezi sa dizajnom telekomunikacione mreže, odnosno razvojem energetske i spektralno efikasne tehnologije kojima se prevazilaze ograničenja prethodnih generacija mobilnih mreža i na one koji su vezani za razvoj potrebne infrastrukture, zakonskih rešenja i regulative.

Odgovarajuća zakonska rešenja treba prije svega da obezbedi država poštujući međunarodne standarde i norme za efikasnu implementaciju 5G mreža. Nacionalni regulator treba da obezbedi spektralne resurse koji omogućavaju implementaciju svih kategorija 5G servisa, kako u urbanim, tako i u ruralnim područjima, sa ciljem što ravnomjernijeg razvoja svih regiona u državi.

U cilju obezbeđenja eMBB kategorije servisa u urbanim područjima potrebno je implementirati gustu mrežu baznih stanica u visokim frekvencijskim opsezima, uključujući i milimetarsko talasno područje, koje je takođe karakteristično za 5G arhitekturu radio pristupne mreže. To podrazumjeva i razvoj robusne optičke transportne mreže u urbanim

područjima za ultra-brzi prenos podataka i ultra-nisko kašnjenje, sa ciljem postizanja onih brzina prenosa koje nije moguće postići radio-relejnim linkovima. Međutim, trenutne optičke mreže često ne ispunjavaju ove zahtjeve zbog zastarjele tehnologije i njihove dostupnosti na mikrolokacijama, posebno u gusto naseljenim mjestima.

Strategiju razvoja navedene optičke mreže i odgovarajuće podsticaje mora da osmisli država. Pored toga, potrebno je usvojiti odgovarajuću regulativu za korišćenje takve optičke infrastrukture, sa čim se u Crnoj Gori ozbiljno kasni.

Implementacija guste mreže baznih stanica u milimetarskom talasnom području podrazumjeva upotrebu mikro, veoma često piko i femto baznih stanica. Obzirom na veoma različite propagacione karakteristike elektromagnetnih talasa u različitim frekvencijskim opsezima primjena različitih opsega za 5G iziskuje i različit pristup u planiranju radio pristupne mreže. Pristup primjenjen kod operatora u Crnoj Gori u početnoj fazi realizacije mobilnih mreža je identičan pristupu planiranja mreža prethodnih generacija, što je pogrešan pristup. Evidentna je kolokacija različitih tehnologija, kao i 5G tehnologija u različitim frekvencijskim opsezima na makro lokacijama koja daje apsolutno neoptimalne rezultate. Povećava se nivo radio emisija u okolini baznih stanica, a efekti u pogledu pokrivanja, naročito *indoor*, su zanemarljivi. Obzirom na neortogonalni pristup na ovaj način se drastično povećava nivo interferencije, a samim tim opada pouzdanost sistema što je suprotan efekat od onog koji se želi postići 5G i mrežama narednih generacija. Pored toga povećava se negativan uticaj sistema na životnu sredinu, što pokazuju rezultati mjerenja nivoa električnog polja u okolini baznih stanica koje je sprovodila Laboratorija za mjerenje nivoa elektromagnetnih emisija Elektrotehničkog fakulteta u periodu od 2013-2024. godine, [5]. Dakle, na osnovu iznesenog može se zaključiti da je neophodan potpuno novi pristup u planiranju radio pristupne mreže koji zahtjeva mnogo više znanja, a koji će obezbjediti kvalitetno i *indoor* i *outdoor* pokrivanje uz minimizaciju energetske resursa, smanjenje nivoa emisija, približavanje pristupnih tačaka krajnjem korisniku na milimetarskom talasnom području, uz veće korišćenje *home* (femto) pristupnih tačaka. Pri tome zahtjev za minimiziranje interferencije mora biti ispoštovan.

Sve navedeno u pogledu planiranja radio pristupne mreže implicira potrebu angažovanja visokostručnog kadra iz oblasti radiokomunikacija, što je poseban izazov, jer u malim državama, kao što je Crna Gora, ovakva vrsta kadra predstavlja izuzetno ograničen resurs. Dakle mora se raditi strateški na obezbjeđenju ovakvog kadra, a to uključuje mnoge druge institucije van sistema telekomunikacionih operatora.

Sajber bezbjednost (*cyber security*) je takođe jedna od briga u primjeni 5G mreža. Povećana povezanost i broj uređaja proširuju prostor potencijalnog napada, čineći mreže ranjivijim na sajber napade. Efikasniji bezbjednosni protokoli, kontinuirani nadzor i sistemi za reagovanje u realnom vremenu moraju biti razvijeni i integrisani u

mrežnoj arhitekturi kako bi se zaštitili podaci i održao integritet sistema. Ovo se posebno odnosi na funkcionisanje privatnih 5G mreža.

IV. PRIVATNE 5G MREŽE

Unaprijeđeni širokopojasni pristup Internetu je samo jedna kategorija servisa u 5G mrežama, koja predstavlja prirodan slijed razvoja zasnovan na LTE standardu i njegovim unapređenjima. Pravi benefiti 5G sistema treba da se ostvare razvojem ostale dvije kategorije servisa koje između ostalog zahtjevaju veću pouzdanost, manje kašnjenje, veliku gustinu uređaja na određenom prostoru i stroge zahtjeve u pogledu bezbjednosti korisničkih podataka.

Izgrađena na 5G tehnologijama, privatna mreža ima poboljšane komunikacione karakteristike, optimizovane servise i prilagođena je novom bezbjednosnom okviru. Ovom mrežom može samostalno da upravlja njen vlasnik, koji može da kontroliše svaki aspekt mreže u potpunosti, kao što je alokacija resursa, bezbjednost komunikacije, pouzdanost, kapacitet i sl. Korisnicima mreže je dozvoljeno da definišu sopstvene strategije bezbjednosti, čime osjetljive podatke čuvaju i zadržavaju unutar privatne mreže.

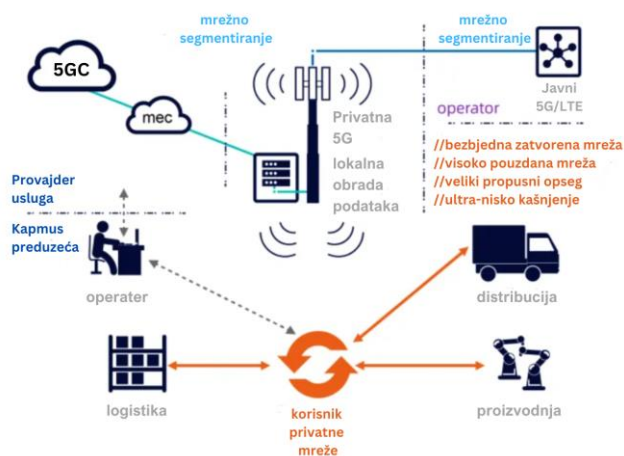
Za razliku od *Ethernet*-a, 5G privatne mreže se oslobađaju skupe i gabaritne žičane opreme, omogućavajući povezivanje velikog broja uređaja u dinamičkom okruženju. U radio domenu, privatne 5G mreže mogu obezbjediti fleksibilnost u korišćenju radio-frekvencijskog spektra, gigabitne brzine prenosa, ultra-visoku pouzdanost, ultra-nisko kašnjenje i povezivanje velikog broja uređaja (*massive connectivity*). Na nivou sistema, vertikalno mrežno segmentiranje, privatni *edge computing* i poboljšana bezbjednost su od suštinskog značaja za privatne 5G mreže. Takođe, bitno je napomenuti da privatne 5G mreže obuhvataju mnoge prednosti javnih 5G mreža, ali što je najvažnije, pojednostavljaju značajan broj izazova, kao što je upravljanje interferencijom, [6].

Na Slici 3 je prikazana jedna moguća koncepcija 5G privatne mreže.

U ovom radu razmotriće se mogući scenariji implementacije 5G privatne mreže u Crnoj Gori, imajući u vidu kapacitete u pogledu ljudskih resursa, razvoja telekomunikacione infrastrukture i ukupnog privrednog ambijenta.

Prvi izazov u implementaciji 5G mreža je edukacija potencijalnih korisnika i realizacija svih preporuka iz Studije o strategiji uvođenja 5G mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori, [7]. Mali broj preporuka je do sada realizovan i to dominantno iz djelokruga nacionalnog regulatornog tijela. Preporuke koje se odnose na državne institucije gotovo uopšte nisu do sada tretirane. U ovom trenutku se nameće potreba sagledavanja novih mogućnosti, tehničkih specifikacija i iskustava u drugim zemljama.

Kada su u pitanju privatne 5G mreže, potencijalnim korisnicima treba jasno prezentovati prednosti istih. Interes u ovim aktivnostima i proaktivnu ulogu treba da prepoznaju telekomunikacioni operatori koji moraju da imaju svoju strategiju razvoja svih kategorija 5G servisa.



Slika 3. Moguća koncepcija 5G privatne mreže

Kada je Crna Gora u pitanju realan pristup je da se privatne mreže realizuju uz dominantnu pomoć telekomunikacionih operatora. Operatori posjeduju osnovni resurs, a to je radio-frekvencijski spektar. Korišćenje ovog spektra može biti dvojako. Jedan način je da se za privatnu mrežu na tačno određenoj lokaciji, odnosno lokacijama, izdvoji određeni dio spektralnih resursa. To za korisnike privatne mreže garantuje najbolju moguću pouzdanost, ali smanjuje kapacitet javnim korisnicima u okolini predmetne lokacije. S druge strane korišćenje istih spektralnih resursa na konkretnoj lokaciji od strane obje grupe korisnika može povećati interferenciju u urbanim područjima i ograničiti kapacitet privatne mreže. Kada je Crna Gora u pitanju, gdje još uvijek ne postoji jasno izražen interes za ovakvom vrstom mreža, optimalno je koristiti ovaj drugi pristup.

U zavisnosti od korisnika privatne mreže, prije svega dislociranosti uređaja koji se povezuju u tu mrežu, privatna mreža može biti realizovana sa jednom ili više pristupnih tačaka na jednoj lokaciji ili može zahtijevati povezivanje pristupnih tačaka koji su na udaljenim lokacijama. U prvom slučaju sva oprema može biti privatno vlasništvo, što znači da je mreža potpuno zatvorena. Ovakav koncept obezbjeđuje maksimalnu bezbjednost podataka.

U drugom slučaju, kada su pristupne tačke dislocirane, postoji potreba za njihovim povezivanjem, a to znači da bi bilo korektno koristiti infrastrukturu operatora za povezivanje pristupnih tačaka privatne mreže. To znači da podaci ili djelovi podataka izlaze iz privatne u javnu mrežu, što smanjuje njihovu bezbjednost i zahtjeva rad na razvoju bezbjednosnih funkcija u cilju zaštite privatnih podataka. Ovo još uvijek ne znači i potrebu za skladištenjem podataka kod operatora. U trećem slučaju privatna mreža može biti virtualna sa svom opremom koja pripada operatoru, uključujući i skladištenje podataka. U ovakvom slučaju bezbjednosni izazovi su na najvećem mogućem nivou.

Nakon ove analize potrebno je izvući odgovarajuće zaključke o načinu implementacije privatnih 5G mreža u Crnoj Gori. Imajući sva ograničenja, a prvenstveno ona u pogledu ljudskih resursa, nameće se zaključak da razvoj privatnih mreža treba zasnivati na infrastrukturi telekomunikacionih operatora. Međutim, realizacija ovakvih

mreža najčešće zahtjeva povezivanje, konfiguraciju i održavanje velikog broja senzora, drugih uređaja, integraciju kontrole pristupa i drugih vidova fizičko-tehničke zaštite itd, pa se nameće pitanje do koje mjere je optimalno da telekomunikacioni operator vrši kompletnu integraciju i održavanje sistema. Operator to može raditi efikasno i bez većeg zahtjeva za novim ljudskim resursima u onom dijelu u kome je to njegova osnovna djelatnost, dominantno na fizičkom i nižim nivoima telekomunikacione mreže. Uključivanje operatora u punu integraciju i u održavanje zahtijevalo bi specijalizovana znanja i angažovanje značajno većeg broja zaposlenih, što bi stvorilo glomazan i neefikasan sistem i dovelo u pitanje ekonomsku održivost takve mreže sa stanovišta korisnika. Zato je za Crnu Goru od velike važnosti uključivanje već etabliranih ICT kompanija u proces integracije, održavanja i promocije ovakvih mreža, uz jasno izraženu potrebu za edukacijom potencijalnih korisnika. Sinergija između operatora i ICT kompanija bi predstavljala optimalan pristup u Crnoj Gori jer optimizuje različite ograničene resurse, a prije svega ljudske resurse.

Na kraju, ozbiljnih benefita za društvo i privredu od 5G infrastrukture neće biti do pune implementacije svih kategorija 5G servisa.

V. ZAKLJUČAK

U ovom radu se analiziraju ključni izazovi u implementaciji 5G mobilnih mreža sa posebnim akcentom na implementaciju u Crnoj Gori. Identifikovani su nedostaci u početnoj fazi implementacije 5G mreža i date su preporuke za dalji razvoj, prije svega u pogledu planiranja radio pristupne mreže i razvoja privatnih mobilnih mreža. Na osnovu ovakve analize dalje je moguće pristupiti definisanju algoritama za smanjenje interferencije u NOMA tehnikama višestrukog pristupa, detaljnije razrađivati konkretne primjere privatnih 5G mreža ili se detaljnije baviti bezbjednosnim protokolima kako u privatnim mrežama, tako i u javnim mrežama koje koriste ne 3GPP pristupne tačke.

LITERATURA

- [1] ITU-R Recommendation M.2083-0: „*IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond*“, Septembar, 2015.
- [2] Jyrki T.J.Penttinen: „*5G Explained: Security and Deployment of Advanced Mobile Communications*“, Atlanta, Georgia, USA, 2019.
- [3] M.Vaezi, Z. Ding, H.V. Poor: „*Multiple Access Techniques for 5G Wireless Networks and Beyond*“, Springer, 2019.
- [4] T-Mobile: „*5G Architecture Options - Full Set*“, RP-161266 of RAN/SA meeting, 3GPP, Busan, 2016.
- [5] Izvještaji o ispitivanju nivoa elektromagnetnih emisija, Elektrotehnički fakultet, Podgorica, 2013-2024.
- [6] Adnan Aijaz: „*Private 5G: The Future of Industrial Wireless*“, June, 2020.
- [7] M.Pejanović-Đurišić, Z.Veljović i ostali: „*Studija o strategiji uvođenja 5G mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori*“, Podgorica, 2021.

Analiza tehnologija za automatizaciju upravljanja infrastrukturom u kladu okruženju

Lana S. Radmilović, Ilija D. Antović

Sadržaj— Ovaj rad analizira vodeće alate za automatizaciju upravljanja infrastrukturom u kladu okruženju – Terraform i Ansible. Struktura rada obuhvata tri dela: prvi deo pruža teorijski pregled Terraform-a, drugi deo analizira karakteristike Ansible-a, dok treći deo nudi komparativnu analizu alata. Poseban fokus stavljen je na njihove sličnosti, razlike, prednosti i nedostatke u različitim scenarijima primene, uz pružanje smernica za izbor najprikladnijeg alata.

I. UVOD

Obezbeđivanje i upravljanje infrastrukturom kroz istoriju bilo je složeno i skupo, zahtevajući značajne resurse za postavljanje i konfiguraciju hardverskih i softverskih komponenti. Razvoj savremenih tehnologija, poput virtualizacije, kontejnera i kladu platformi, omogućio je udaljšavanje od fizičkog hardvera, ali je istovremeno povećao složenost infrastrukture i dinamiku njenog rada. Danas, veliki broj aplikacija svakodnevno ulazi u produkciju, skalira se i gasi, čime se otvaraju novi izazovi za tradicionalne metode upravljanja [1].

Manuelno upravljanje modernom infrastrukturom postalo je neodrživo zbog ponavljanja procedura, grešaka, nedostataka automatizacije i skalabilnosti, kao i teškoća u praćenju promena i verzionisanju [2]. Kao odgovor na te izazove razvijen je koncept 'Infrastruktura kao kod' (IaC), koji uvodi standardizaciju i automatizaciju kroz konfiguracione fajlove u kojima su precizno definisani svi resursi i specifikacije infrastrukture. Ovaj pristup obezbeđuje verzionisanje, praćenje promena, testiranje i visok stepen doslednosti pri postavljanju infrastrukture [3].

IaC se može implementirati kroz dva glavna pristupa. Deklarativni pristup definiše željeno stanje infrastrukture, dok alat automatski ostvaruje navedeno stanje. Proceduralni pristup zahteva precizno navođenje koraka potrebnih za postizanje željenog stanja. Popularni alati za implementaciju uključuju Chef, Puppet, Ansible, SaltStack, Terraform i AWS CloudFormation [3].

II. TEORIJSKI OSVRT NA TERRAFORM

Terraform je alat za automatizaciju postavljanja infrastrukture, razvijen od strane kompanije HashiCorp 2014.

Lana S. Radmilović, Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, Jove Ilića 154, 11000 Beograd, Republika Srbija (email: lr20233810@student.fon.bg.ac.rs).

Prof. dr Ilija Antović, Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, Jove Ilića 154, 11000 Beograd, Republika Srbija (email: ilija.antovic@fon.bg.ac.rs).

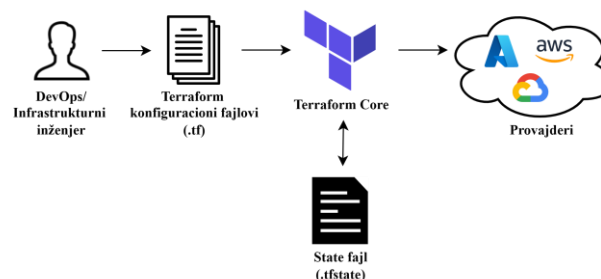
979-8-3315-1764-9/25/\$31.00 ©2025 IEEE

godine [4]. Implementira koncept IaC koristeći konfiguracione fajlove napisane u HashiCorp Configuration Language-u (HCL), specifično razvijenom za ovaj alat. Kao deklarativni alat, Terraform omogućava korisnicima da definišu željeno stanje infrastrukture, dok alat automatski određuje potrebne korake za njegovo postizanje. Terraform podržava veliki broj kladu provajdera, uključujući Amazon Web Services (AWS), koji je korišćen u ovom istraživanju [5].

Arhitekturu ovog alata čine tri glavne komponente: [6]

1. Terraform Core – centralna komponenta Terraform-a i predstavlja komandnu liniju (CLI) napisanu u Go jeziku. Njegova glavna uloga je da upravlja celokupnim procesom rada – učitava i analizira konfiguracione (.tf) fajlove, upoređuje trenutno stanje infrastrukture sa željenim, generiše plan promena, izvršava te promene i ažurira state fajl kako bi pratio stanje resursa.
2. Provajderi – moduli koji omogućavaju Terraform-u da komunicira sa kladu platformama (AWS, Azure, GCP), bazama podataka i drugim servisima. Oni definišu resurse kojima Terraform može upravljati, prevode konfiguracije u odgovarajuće API pozive specifične za svaki servis i automatski upravljaju zavisnostima između resursa.
3. State fajl (terraform.tfstate) – JSON dokument koji čuva trenutno stanje i omogućava Terraform-u da odredi koje promene treba primeniti kako bi postigao željeno stanje infrastrukture. Na osnovu ovog fajla Terraform zna koji resursi već postoje i sprečava njihovo nepotrebno ponovno kreiranje. State fajl može biti sačuvan lokalno ili na kladu-u radi sigurnosti i olakšanog rada u timu.

Dijagram arhitekture Terraform-a prikazan je na slici ispod, sl. 1.



Slika 1. Arhitektura Terraform-a

Osnovni radni tok Terraform-a sastoji se od tri ključne komande: [5]

1. *terraform init* – priprema radno okruženje instalacijom potrebnih provajdera na lokalnoj mašini.
2. *terraform plan* – generiše plan promena za kreiranje, ažuriranje ili uklanjanje resursa na osnovu trenutnog i željenog stanja infrastrukture.
3. *terraform apply* – sprovodi predložene promene nakon manuelnog odobrenja korisnika.

Jedna od ključnih karakteristika Terraform-a je centralizovani state fajl (*terraform.tfstate*), koji prati stanje infrastrukture. Ovaj fajl sadrži informacije o preslikavanju resursa definisanih u konfiguracionim fajlovima na njihove stvarne instance u udaljenim sistemima, poput klaud provajdera. Na osnovu ovih podataka, Terraform identifikuje potrebne promene kako bi infrastruktura bila usklađena sa željenim stanjem [7].

Terraform razlikuje tri glavna stanja infrastrukture:[8]

1. Željeno stanje (*Desired state*) – definiše resurse koje treba kreirati, izmeniti ili ukloniti, prema konfiguracionim fajlovima.
2. Stvarno stanje (*Actual state*) – predstavlja trenutno stanje infrastrukture kod klaud provajdera. Terraform pre svake operacije automatski osvežava ovo stanje (komandom *terraform refresh*).
3. Poznato stanje (*Known state*) – stanje sačuvano u *terraform.tfstate* fajlu, koje je rezultat prethodne komande *terraform apply*.

III. TEORIJSKI OSVRT NA ANSIBLE

Ansible je open-source alat za automatizaciju konfigurisanja i upravljanja infrastrukturom, koji je razvio Michael DeHaan 2012. godine. Danas je u vlasništvu kompanije IBM [9].

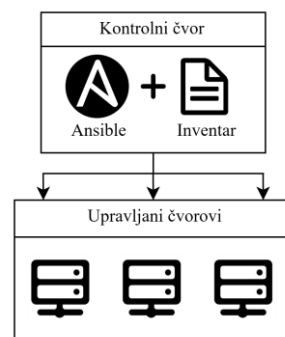
Ansible pruža podršku mnogobrojnim klaud provajderima. Implementira koncept IaC kroz upotrebu **playbook-ova** – skripti za automatizaciju zadataka napisanih u jednostavnoj i čitljivoj YAML sintaksi.

Za razliku od deklarativnih alata, Ansible je proceduralni – korisnik unosi specifične korake koje alat izvršava kako bi postigao željeno stanje infrastructure [10].

Arhitektura Ansible-a se zasniva na tri glavne komponente: [10]

1. Kontrolni čvor – sistem na kome je Ansible instaliran i pokrenut, odgovoran za izvršavanje zadataka.
2. Inventar – logički organizovana lista upravljanih čvorova kojima Ansible upravlja.
3. Upravljeni čvor – udaljeni sistem na kojem Ansible izvršava zadatke putem SSH ili WinRM, bez potrebe za instaliranjem agenta.

Komponente Ansible okruženja su prikazane na slici ispod, sl. 2.



Slika 2. Komponente Ansible okruženja

Osim osnovnih komponenti, Ansible takođe koristi module, plugin-ove i *playbook*-ove za specifične zadatke. Ansible moduli su nezavisne skripte koje se izvršavaju na upravljanim čvorovima. Većina njih prihvata parametre koji definišu željeno stanje sistema. Ansible zatim pokreće ove module i uklanja ih nakon izvršavanja. Plugin-ovi proširuju funkcionalnost Ansible-a na kontrolnom čvoru, kao što su proširenja za transformaciju podataka, logovanje izlaza, povezivanje sa inventarom i mnoga druga. *Playbook*-ovi omogućavaju orkestraciju složenih radnih tokova i mogu obuhvatiti više mašina i slojeva infrastrukture, sa velikom preciznošću [11]. *Playbook* se sastoji od jedne ili više igara (*plays*). Svaki *play* sadrži zadatke koji pozivaju Ansible module, a izvršavaju se redom, od vrha prema dnu. Ključna komanda za pokretanje *playbook*-a je: `ansible-playbook <ime_playbook-a>.yaml` [12].

Jedna od važnih karakteristika Ansible-a je idempotentnost – sposobnost prepoznavanja kada je infrastruktura već usklađena sa željenim stanjem, čime se izbegavaju nepotrebne promene čak i kada se *playbook* pokreće više puta [9].

KOMPARATIVNA ANALIZA ALATA

Kriterijumi koji su razmatrani u komparativnoj analizi temelje se na detaljnom proučavanju oba alata i predstavljaju autorova lična zapažanja u njihovom poređenju. Za svaki kriterijum, autor daje prednost jednom alatu, sa ciljem pružanja preporuka i jasnih smernica o tome koji alat koristiti u određenim situacijama, uz objašnjenje razloga.

Kriterijumi poređenja su sledeći:

A. Instalacija

Na Linux i macOS sistemima, instalacija oba alata je jednostavna putem paket menadžera (*apt*, *yum*, *brew*). Na Windows-u, Terraform zahteva samo preuzimanje izvršnog fajla i njegovo dodavanje na *PATH*, dok Ansible zahteva dodatne korake kroz *WSL* ili *Cygwin*, jer nije nativno podržan, što proces instalacije čini složenijim. Zbog jednostavnijeg postupka, Terraform ima prednost u ovoj kategoriji.

B. Jezik i sintaksa

HCL je specifično razvijen za Terraform, što omogućava

jednostavno pisanje i čitanje konfiguracija. S druge strane, Ansible koristi YAML, standardni format široko korišćen u mnogim alatima. Pisanje Ansible playbook-ova ne zahteva dodatno učenje za sve prethodne korisnike ovog formata, što ovaj alat čini pristupačnijim i lakšim za usvajanje.

C. Praćenje stanja

Terraform koristi centralizovani state fajl koji omogućava precizno praćenje stanja infrastrukture. On razlikuje da li je resurs potrebno kreirati, izmeniti, obrisati, ili ako je željeno stanje već postignuto, ne menja infrastrukturu [7]. Ansible se, s druge strane, oslanja na idempotentnost modula, osiguravajući da infrastruktura ostaje nepromenjena ako je već u željenom stanju [12]. Ipak, nisu svi Ansible moduli potpuno idempotentni. Na primer, modul za kreiranje EC2 instanci će iznova kreirati novu instancu pri svakom ponovnom pokretanju skripte, iako su specifikacije identične. Zbog ovoga, Terraform pruža pouzdanije praćenje stanja resursa.

D. Analiza troškova

Infracost je alat specifično razvijen za Terraform koji omogućava procenu i planiranje troškova infrastrukture pre implementacije [13]. S druge strane, Ansible ne nudi poseban alat za praćenje troškova; oni se mogu pratiti isključivo putem alata klaud provajdera, kao što je AWS Cost Explorer [14]. Ovaj pristup ima nedostatak jer troškovi mogu biti analizirani tek nakon implementacije, što Infracost omogućava unapred. Zbog toga, Terraform ima prednost u pogledu upravljanja troškovima.

E. Pristup

Terraform koristi deklarativni pristup, gde korisnik definiše željeno stanje infrastrukture, a alat automatski identifikuje razlike između željenog i stvarnog stanja te primenjuje odgovarajuće promene [5]. Nasuprot tome, Ansible koristi proceduralni pristup, u kojem se zadaci izvršavaju u unapred definisanom redosledu [10]. Svaki zadatak zahteva eksplicitno navođenje modula i koraka za njegovo izvršavanje, što čini ovaj alat složenijim za upotrebu.

F. Upravljanje zavisnostima

Terraform automatski detektuje i upravlja međuzavisnostima resursa, osiguravajući da se one izvršavaju u ispravnom redosledu. Zavisnosti se odnose na redosled kojim se resursi kreiraju, ažuriraju ili uništavaju. Automatski otkriva sve implicitne zavisnosti na osnovu atributa resursa [15]. Suprotno tome, Ansible izvršava playbook od vrha prema dnu, u redosledu u kojem su zadaci definisani. Ako zavisnosti nisu pravilno definisane, Ansible prekida izvršenje i prikazuje grešku [12]. Terraform na bolji način implicitno upravlja zavisnostima nego što je to slučaj sa Ansible-om.

G. Vreme izvršavanja

Vreme izvršavanja identičnih konfiguracija oba alata mereno je korišćenjem sistemске komande time na Linux OS-u. Eksperiment je sproveden u uslovima gde su svi resursi prethodno uništeni kako bi se minimalizovala

latencija, a ulazni parametri za skripte bili su identični. Tri merena parametra su: 1) real – ukupno vreme izvršenja, uključujući čekanje na druge sistemске operacije; 2) user – vreme koje je CPU potrošio na izvršavanje procesa, ne uključujući vreme čekanja; 3) sys – vreme koje je CPU proveo u jezgru tokom izvršavanja procesa [16]. Prva faza eksperimenta je uključivala kreiranje jedne EC2 instance, virtuelnog servera na AWS-u. Rezultati izraženi u sekundama su prikazani u tabeli ispod.

TABELA I
REZULTATI MERENJA VREMENA KREIRANJA JEDNE EC2 INSTANCE

Time \ Tool	Ansible	Terraform
Real	4.805	52.616
User	1.562	5.142
Sys	0.334	2.570

U pogledu ukupnog vremena izvršavanja, Ansible se sa rezultatom od 4.805 sekundi pokazao znatno bržim od Terraform-a, kojem je za isti zadatak bilo potrebno 52.616 sekundi. Obzirom da ukupno trajanje izvršavanja (*real*) uključuje čekanja na ulazno-izlazne (I/O) operacije, najmanje je relevantno za ocenu performansi alata.

Ansible ostvaruje značajnu prednost u vremenu potrošenom za izvršavanje korisničkog koda (*user*), gde je sa 1.562 sekunde bio približno **1.65 puta brži** od Terraform-a, koji je ostvario 2.570 sekundi. U sistemskom režimu (*sys*), Ansible je bio još efikasniji, sa 0.334 sekunde, što ga čini **7.7 puta bržim** od Terraform-a, čije je vreme iznosilo 2.570 sekundi.

Rezultati pokazuju da Ansible ima bolje performanse u ovom jednostavnom scenariju. Njegova prednost leži u dinamičkom izvršavanju zadataka i optimizovanim modulima, što omogućava brže postavljanje jednostavne infrastrukture u poređenju sa Terraform-om, čiji statički pristup i centralizovano upravljanje stanjem zahtevaju više vremena.

U drugom delu eksperimenta testirano je kreiranje pet EC2 instanci u istim uslovima kao u prethodnom testu. Pretpostavljeno je da će Terraform pokazati bolje performanse u većim i složenijim infrastrukturnim okruženjima koja zahtevaju detaljnije planiranje i precizno praćenje stanja infrastrukture.

Rezultati merenja, izraženi u sekundama, prikazani su u tabeli ispod i ukazuju na to da će, sa povećanjem složenosti infrastrukture, razlika u performansama između Terraform-a i Ansible-a biti manje izražena, čime Terraform postaje relativno konkurentniji.

TABELA II
REZULTATI MERENJA VREMENA KREIRANJA PET EC2 INSTANCI

Time \ Tool	Ansible	Terraform
Real	46.630	310.335
User	27.568	40.673
Sys	6.083	22.487

Ansible je i dalje brži od Terraform-a, ali je razlika u korisničkom (user) i sistemskom (sys) vremenu smanjena u poređenju sa prvim eksperimentom. U korisničkom režimu, Ansible je približno **1.5 puta** brži, dok je u sistemskom režimu Ansible oko **3.7 puta** brži. Ovi rezultati potvrđuju pretpostavku da će se sa povećanjem složenosti infrastrukture performanse Terraform-a poboljšavati, smanjujući razliku u odnosu na Ansible.

Zaključak je da je Ansible efikasniji za manju i jednostavniju infrastrukturu, gde je brzo postavljanje resursa prioritet. Međutim, kada se radi o složenijim infrastrukturnim postavkama, Terraform se pokazuje kao bolji izbor u pogledu efikasnosti, jer bolje upravlja složenostima, zavisnostima i detaljnim planiranjem potrebnim za obezbeđivanje resursa.

H. Konfiguracija

Pred oba alata postavljen je izazov instalacije i konfiguracije Apache HTTP servera na prethodno kreiranoj EC2 instanci. Ansible, zahvaljujući modularnosti, omogućava konfiguraciju servera kroz nekoliko preglednih linija koda. S druge strane, Terraform zahteva uspostavljanje veze sa serverom i dodatne korake za njegovu konfiguraciju, što dovodi do složenijeg i dužeg koda. Budući da je EC2 instanca prethodno kreirana, Terraform neće detektovati izmene napravljenje u konfiguraciji, već će prijaviti da nije potrebno ažuriranje, ostavljajući infrastrukturu neizmenjenom, čime se Ansible ističe kao efikasniji alat za konfiguraciju.

IV. ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedene analize, mogu se izdvojiti preporuke za optimalnu upotrebu Ansible-a i Terraform-a radi postizanja maksimalne efikasnosti u postavljanju i konfigurisanju infrastrukture.

Iako je Ansible pokazao bolju efikasnost u postavljanju resursa, Terraform se izdvaja u aspektima deklarativnog pristupa, preglednosti, idempotentnosti i pouzdanog upravljanja stanjem i zavisnostima. Ovo ga čini pogodnijim za server provisioning i složene infrastrukturne zahvate. S druge strane, Ansible se ističe proceduralnim pristupom, preglednošću i brzinom u zadacima konfiguracije softvera, čime postaje vodeći alat za upravljanje konfiguracijom.

Ipak, za postizanje najboljih rezultata, preporučuje se sinergijska upotreba oba alata, ilustrovana na slici ispod, sl. 3. Terraform je idealan za inicijalno postavljanje i upravljanje infrastrukturom, dok Ansible briljira u automatizaciji konfiguracija i održavanju sistema. Iako oba alata mogu pojedinačno obaviti sve zadatke, njihova kombinacija – omogućava efikasnija, optimizovanija i kvalitetnija rešenja u procesu automatizacije upravljanja infrastrukturom.



Slika 3. Komplementarna upotreba Terraform-a i Ansible-a

LITERATURA

- [1] M. Dhakad, "Overcoming the limitations of manual infrastructure provisioning and deployment," Medium, Jul. 22, 2024. [Online]. Available: https://medium.com/@mohit.d_64667/overcoming-the-limitations-of-manual-infrastructure-provisioning-and-deployment-deba8ed63d14. [Accessed: Jan. 26, 2025].
- [2] W.-K. Chen, Linear Networks and Systems, Belmont, CA: Wadsworth, 1993, pp. 123–135.
- [3] RedHat, "What is Infrastructure as Code (IaC)?," RedHat, May 11, 2022. [Online]. Available: <https://www.redhat.com/en/topics/automation/what-is-infrastructure-as-code-iac>. [Accessed: Jan. 14, 2025].
- [4] HashiCorp, "The story of HashiCorp Terraform with Mitchell Hashimoto," HashiCorp. [Online]. Available: <https://www.hashicorp.com/resources/the-story-of-hashicorp-terraform-with-mitchell-hashimoto>. [Accessed: Jan. 21, 2025].
- [5] HashiCorp, "What is Terraform | Terraform | HashiCorp Developer," HashiCorp Developer, 2024. [Online]. Available: <https://developer.hashicorp.com/terraform/intro>. [Accessed: Jan. 18, 2025].
- [6] "Terraform architecture introduction - Structure and workflow," Spacelift, 2024. [Online]. Available: <https://spacelift.io/blog/terraform-architecture>. [Accessed: Jan. 19, 2025].
- [7] "State | Terraform | HashiCorp Developer," HashiCorp Developer. [Online]. Available: <https://developer.hashicorp.com/terraform/language/state>. [Accessed: Jan. 12, 2025].
- [8] "Learn DevOps: Docker, Kubernetes, Terraform and Azure DevOps," Udemy, 2025. [Online]. Available: <https://www.udemy.com/course/devops-with-docker-kubernetes-and-azure-devops/>. [Accessed: Jan. 25, 2025].
- [9] S. Kadima, "Ansible: History of Ansible," Medium, Jul. 09, 2023. [Online]. Available: <https://medium.com/@kadamisam/ansible-history-of-ansible-4b16208c9188>. [Accessed: Jan. 13, 2025].
- [10] "Introduction to Ansible — Ansible Documentation," Ansible Documentation. [Online]. Available: https://docs.ansible.com/ansible/latest/getting_started/introduction.html. [Accessed: Jan. 17, 2025].
- [11] "Ansible architecture — Ansible Documentation," Ansible Documentation. [Online]. Available: https://docs.ansible.com/ansible/latest/dev_guide/overview_architecture.html. [Accessed: Jan. 23, 2025].
- [12] "Ansible playbooks — Ansible Documentation," Ansible Documentation. [Online]. Available: https://docs.ansible.com/ansible/latest/playbook_guide/playbooks_intro.html. [Accessed: Jan. 20, 2025].
- [13] "Usage costs | Infracost," Infracost.io, 2025. [Online]. Available: https://www.infracost.io/docs/features/usage_based_resources/. [Accessed: Jan. 22, 2025].
- [14] AWS, "AWS Cost Explorer - Amazon Web Services," Amazon Web Services, Inc., 2019. [Online]. Available: <https://aws.amazon.com/aws-cost-management/aws-cost-explorer/>. [Accessed: Jan. 15, 2025].
- [15] M. L., "Terraform - Understanding implicit and explicit dependencies," DEV Community, Feb. 14, 2024. [Online]. Available: <https://dev.to/pwd9000/terraform-understanding-implicit-and-explicit-dependencies-n9l>. [Accessed: Jan. 24, 2025].
- [16] T. Cokelaer, "Meaning of real, user and sys time statistics," Thomas Cokelaer's blog. [Online]. Available: <https://thomas-cokelaer.info/blog/2018/02/meaning-of-real-user-and-sys-time-statistics/>. [Accessed: Jan. 16, 2025].

Primjena simulatora u predviđanju širenja mrlja brodskog goriva u Bokokotorskom zalivu i procjena negativnih uticaja

Denis Vukašinović, Danilo Nikolić, Radmila Gagić

Sadržaj - Bokokotorski zaliv je postao jedan od najposjećenijih odredišta za velike putničke brodove i jahte u Mediteranu. Međutim, intenzivan pomorski promet i uska konfiguracija zaliva, uz nedostatak remorkera, povećavaju rizik od nezgoda poput nasukivanja ili sudara, što može dovesti do nekontrolisanog izlivanja brodskog goriva s katastrofalnim posljedicama po morske ekosisteme, životnu sredinu, ekonomiju i UNESCO svjetsku baštinu. Naglašavajući važnost preventivne zaštite ovog jedinstvenog ekosistema sprovedena je simulacija scenarija izlivanja brodskog goriva sa putničkog broda u akvatorijumu Bokokotorskog zaliva, čime su stečeni ključni uvidi u prijetnje, dinamiku širenja zagađenja i potencijalne ekološke posljedice.

Ključne riječi — Rizik od nezgoda, izlivanje brodskog goriva, zagađenje, simulacija, prevencija, Bokokotorski zaliv, kruzing turizam.

I. UVOD

Putnički brodovi značajno doprinose učestalosti pomorskih incidenata u svijetu. U periodu od 2014. do 2019. godine zabilježena su ukupno 5424 pomorska incidenta na različitim vrstama plovila [1]. Analiza je pokazala da kod plovila dužih od 200 metara dominiraju sudari i nasukavanja. S obzirom na tip plovila, putnički brodovi zauzimaju treće mjesto po broju incidenata, nakon teretnih brodova i tegljača. Dodatno, zvanična statistika ukazuje da se više od polovine incidenata u 2022. godini dogodilo u lukama, uključujući sidrišta i terminale [2].

Pomorski incidenti predstavljaju ozbiljan rizik, posebno u Bokokotorskom zalivu, gdje intenzitet pomorskog saobraćaja konstantno raste. Prema sprovedenom istraživanju [3], procjena rizika navigacije u zalivu, koju čine rekreativne i luksuzne jahte i veliki putnički brodovi, ukazala je na niz visokorizičnih opasnosti. Među najčešćima su gubitak

pogonske snage, sudari, povlačenje sidra i nasukavanje. Prisutan je trend povećanja dolazaka velikih putničkih brodova u luku Kotor, što potvrđuju podaci iz 2022. godine sa 435 uplovljavanja, dok je u 2023. zabilježeno čak 472 uplovljavanja [4]. Pored toga što je evidentiran porast broja dolazaka putničkih brodova, ujedno povećanje i ekonomskih benefita, povećavaju se i rizici od pomorskih nezgoda. Pored već objavljenih stručnih analiza, rizici su potvrđeni i kroz izbjegnute nezgode, poput zamalo nasukanog velikog putničkog broda na gusto naseljenoj obali u Kotoru [5].

Bokokotorski zaliv, s obzirom na njegovu geografsku konfiguraciju i intenzivan pomorski promet, predstavlja područje visokog rizika od zagađenja sa brodova. U periodu od 2001. do 2021. godine, izlivanja brodskih goriva predstavljala su značajan ekološki izazov u teritorijalnim vodama Crne Gore. Analiza podataka pokazuje da je od ukupno 13 zabilježenih lokacija izlivanja brodskih goriva, čak 10 incidenata registrovano unutar Bokokotorskog zaliva [6]. Uzimajući u obzir činjenicu da se najveći procenat incidenata dogodio u zalivu, koji je prepoznat kao jedno od najosjetljivijih područja zbog svoje ekološke, prirodne, kulturne i turističke vrijednosti, ukazuje na potrebu za posebnim definisanjem mjera upravljanja rizicima i sprječavanja zagađenja.

S obzirom na potrebu za sprječavanjem zagađenja, naročito onog izazvanog velikim ekološkim katastrofama, pojedine države su pokrenule programe koji omogućavaju bolje razumijevanje procesa nakon izlivanja brodskih goriva iz plovila, kao i bolju spremnost nadležnih timova sa reagovanje u slučaju nezgode [7]. Korištenjem savremenih simulatora za simulaciju izlivanja, moguće je predvidjeti ponašanje izlivenog brodskog goriva, procijeniti uticaj na more i obalu te dobiti ključne informacije za efektivno djelovanje u slučaju vanrednih situacija.

II. INOVATIVNI PRISTUPI U SIMULACIJI I PRAĆENJU ZAGAĐENJA MORA BRODSKIM GORIVIMA

Od druge polovine 20. vijeka razvijaju se pomorski simulatori za obuku posada i upravljanje brodovima prema međunarodnim standardima. Pored simulatora za studente i brodske oficire, uvedeni su i specijalizovani simulatori za pomorsku privredu, s ciljem smanjenja ekoloških i

mr Denis Vukašinović, Pomorski fakultet Kotor, Univerzitet Crne Gore, Dobrota 36, 85330 Kotor, Crna Gora (telefon: 382-67-267102; e-mail: denis.vukasinovic@ucg.ac.me)

prof. dr Danilo Nikolić, Pomorski fakultet Kotor, Univerzitet Crne Gore, Dobrota 36, 85330 Kotor, Crna Gora (telefon: 382-67-615512; e-mail: danilo.nikolic@ucg.ac.me)

mr Radmila Gagić, Pomorski fakultet Kotor, Univerzitet Crne Gore, Dobrota 36, 85330 Kotor, Crna Gora (telefon: 382-67-617081; e-mail: radmilag@ucg.ac.me)

ekonomskih posljedica incidenata. Njihova primjena omogućava predikciju izliva brodskog goriva, analizu potencijalnih posljedica i procjenu efikasnosti mjera odgovora. Simulatori omogućavaju rad u kontrolisanim uslovima, što omogućava unaprijeđenje procesa uvježbavanja timova za hitno reagovanje i usavršavanja strategija djelovanja u slučaju zagađenja. Korištenje simulatora pokazalo se efikasnim i kod poboljšanja kompetencija učesnika u inicijalnim reakcijama i kasnijim postupcima za suzbijanje i sanaciju izlivenog brodskog goriva. [8]. Danas na tržištu postoji značajan broj simulatora za izlivanje nafte i brodskih goriva, koji su predmet poređenja po svojim performansama, kapacitetima i tehnologijama primjenjenim u simulacijama i analizi rezultata [9].

PISCES II (eng. *Potential Incident Simulation Control and Evaluation System-PISCES II*) je komercijalni simulator, razvijen 2004. godine od strane renomirane kompanije Transas, koja je dio Wärtsilä korporacije [10]. Pomorski fakultet Kotor Univerziteta Crne Gore u okviru Centra za istraživanje, inovacije i preduzetništvo posjeduje licencirani PISCES II simulator koji je korišten u realizaciji ovog istraživanja.

Prethodna istraživanja na temu procjene pouzdanosti i preciznosti PISCES II simulatora putem rekonstrukcije slučaja izlivanja brodskog goriva s tankera *MT Baltic Carrier* pokazala su visoku korelaciju sa stvarnim posljedicama, posebno u pogledu količine brodskog goriva koja je kontaminirala obalu [11].

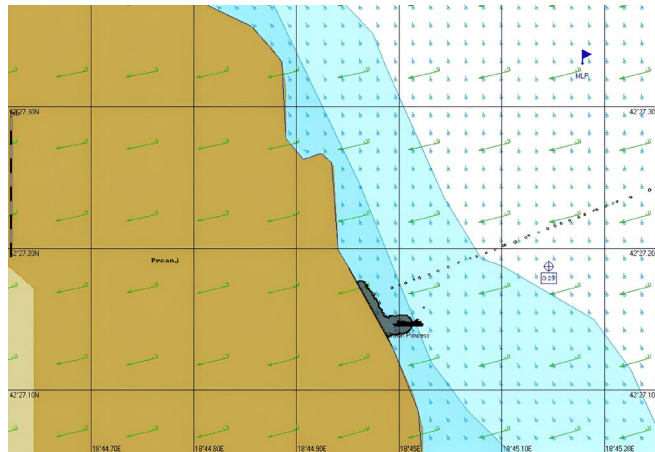
PISCES II simulator omogućava unos podataka na dva načina: automatski putem direktne veze s meteorološkim stanicama ili ručnim unosom. Za potrebe ovog istraživanja tehnički i meteorološki podaci su uneseni ručno, s obzirom na to da infrastruktura za direktnu vezu s podacima u realnom vremenu nije bila dostupna tokom perioda istraživanja.

Na smjer i brzinu kretanja naftne mrlje po površini mora ključan uticaj imaju morske struje i vjetar [12]. Kako bi rezultati simulacije bili što pouzdaniji, u obzir su uzeti precizni podaci prikupljeni u eksperimentalnim mjerenjima.

III. SIMULACIJA IZLIVANJA BRODSKOG GORIVA U BOKOKOTORSKOM ZALIVU

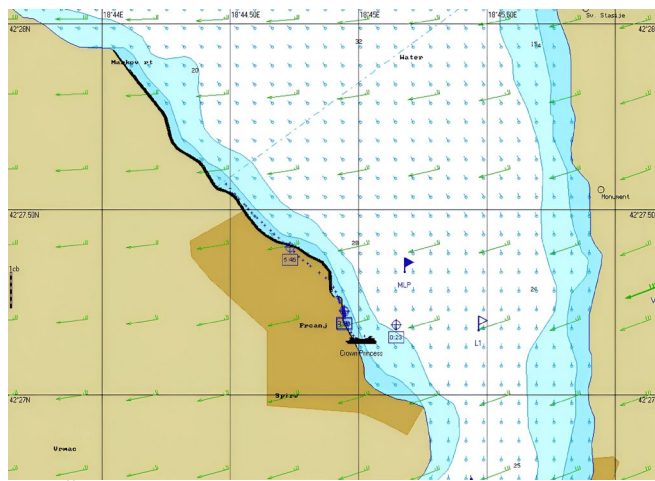
U radu je predstavljen primjer simulacije izbjegnute nezgode u slučaju putničkog broda *Princess Crown* od 03. maja 2018. godine, pri čemu je pomenuti brod izgubio kontrolu i umalo se nasukao na zapadnu obalu Bokokotorskog zaliva u blizini mjesta Prčanj [13]. Parametri vjetra istočnog smjera, koji su povremeno dostizali brzinu od 90 km/h [14], zajedno s podacima o kretanju morskih struja preuzetim iz prethodnih istraživanja autora [15], korišteni su za simulaciju izlivanja nafte u PISCES II simulatoru. Scenario je podrazumijevao simulaciju izliva brodskog goriva nakon nasukanja putničkog broda na poziciji širina: 42°45.370'N, dužina: 018°74.936'E, prema podacima iz izvještaja o izbjegnutoj nezgodi. Izliveno je destilovano brodsko gorivo (eng. *Marine Distillate Fuel – DMA, ISO*

8217-2024) [16], dok simulirana količina izlivenog goriva iznosi 52.9 t. Na ovom dijelu zaliva, kretanja površinskih morskih struja u periodu niske vode kreću se brzinom od 0.35 Nm/h u sjeverozapadnom smjeru. Kretanje mrlje brodskog goriva dominantno je bilo pod uticajem vjetra istočnog smjera, koji je povremeno dostizao brzinu od 90 km/h, u kombinaciji s površinskim morskim strujama, sjeverozapadnog smjera. Od trenutka nasukivanja broda i početka izlivanja, mrlja brodskog goriva se širila i kretala prema zapadu, te je već nakon 23 min došla u kontakt s obalom u području starog urbanog naselja Prčanj, u Kotoru (slika 1).



Sl. 1. Kontakt mrlje brodskog goriva sa naseljenom obalom

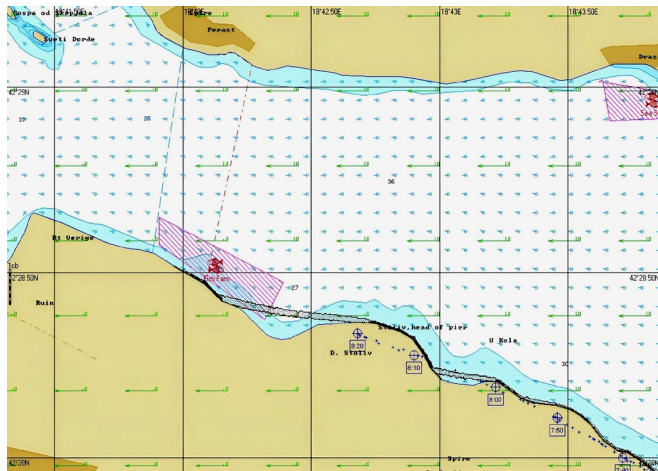
Pod uticajem snažnog istočnog vjetra i izraženih morskih struja smjera sjever, sjevero-zapad, mrlja brodskog goriva je nastavila svoje kretanje u sjeverozapadnom smjeru duž obale Bokokotorskog zaliva. Navedeni meteorološki i hidrografski uslovi značajno su uticali na dinamiku širenja mrlje brodskog goriva, pri čemu su morski strujni obrasci doprinijeli ubrzanju njenog kretanja. Nakon 7 h i 30 min od trenutka izlivanja, mrlja brodskog goriva je došla u kontakt s priobalnim područjem naselja Stoliv (slika 2).



Sl. 2. Širenje mrlje brodskog goriva naseljenom obalom

U sjeverozapadnom dijelu naselja Stoliv dolazi do konvergencije smjera morskih struja i vjetra, što rezultira

dodatnim ubrzanjem širenja mrlje brodskog goriva duž zapadne obale Bokokotorskog zaliva. Ova interakcija između meteoroloških i hidrografskih faktora značajno utiče na dinamiku kretanja mrlje brodskog goriva. Nakon 8 h i 35 min od početka izlivanja brodskog goriva s broda, mrlja dospijeva u ekološki osjetljivo područje, konkretno u zonu uzgajališta riba. (slika 3).

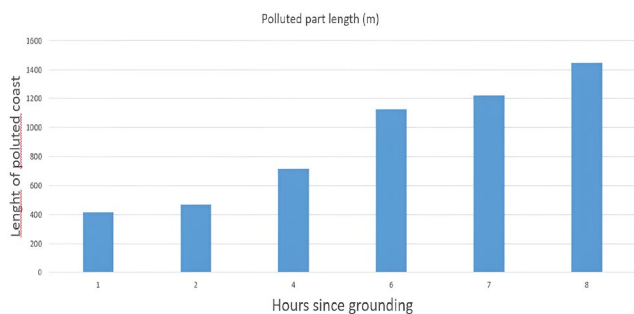


Sl. 3. Kontakt mrlje brodskog goriva sa ekološki osjetljivim područjem

Duž cijele obale Bokokotorskog zaliva se nalaze pretežno tradicionalna ribarska, pomorska i turistička naselja. Ova naselja se odlikuju time da su tradicionalne kamene kuće i zgrade smještene neposredno uz samu obalu, što, prema ovoj simulaciji, rezultira direktnim uticajem zagađenja, ne samo na marikulturu, već i na kvalitet života u ljudskim staništima koja se nalaze u blizini.

IV. ANALIZA REZULTATA

Analizom dobijenih rezultata simulacije (slika 4) jasno se uočava uticaj vremenske varijable na dužinu zagađene obale. Grafik predstavlja promjenu dužine zagađenog dijela obale u osmočasovnom vremenskom intervalu neposredno nakon početka izlivanja brodskog goriva sa broda.



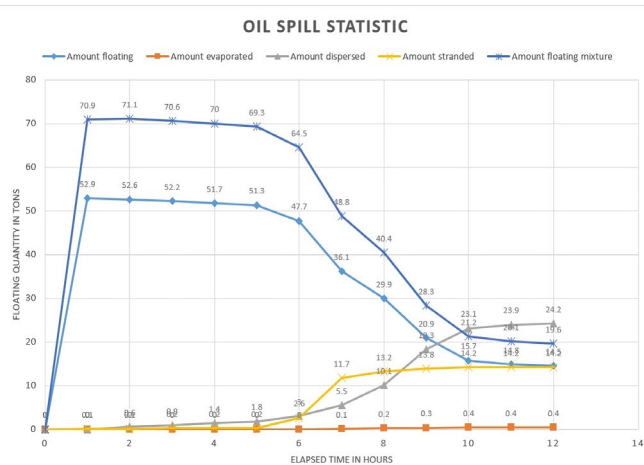
Sl. 4. Zagađenje obale u odnosu na vremenski interval

Nakon prvog sata od trenutka izlivanja brodskog goriva, dužina zagađene obale iznosi 400 m, dok nakon četiri sata poveća se na 720 m, te se prije šestog sata javlja značajno povećanje dužine zagađenja obale, što se može povezati s

konvergencijom vjetra i morskih struja. Ova interakcija rezultira ubrzanjem kretanja mrlje brodskog goriva po površini mora. Ukazuje na to da se zagađenje širi i zahvaća sve veći dio obalnog područja. Nakon 6 h dužina zagađene obale iznosi 1220 m, dok nakon 8 h dužina zagađene obale dostigla je čak 1440 m, što je ujedno i najveći opseg zagađenja obalnog područja u posmatranom vremenskom periodu.

Kada se nafta ili naftni proizvodi izliju na vodu, prolaze kroz niz promjena u svojim fizičkim i hemijskim karakteristikama. Ovaj proces obuhvaća različite prirodne procese koji dovode do razgradnje i smanjenja količine izlivena nafte ili naftnih proizvoda u moru. Neki od tih procesa uključuju isparavanje lakših ugljovodonika u atmosferu, disperziju nafte na manje kapljice koje se miješaju s morskom vodom, emulgaciju nafte i vode, fotooksidaciju pod uticajem sunčevog zračenja, biodegradaciju putem razgradnje od strane mikroorganizama te sedimentaciju težih sastojaka na dno mora [17]. Proces vremenskih uticaja na izlivena naftu je složen i zavisi od različitih faktora, kao što su vrsta nafte ili brodskog goriva, površinska temperatura vode, jačina vjetra, morske struje i prisustvo mikroorganizama.

Polazeći od prethodno navedenog predstavljeni linijski grafikon (slika 5) prikazuje proces razlaganja izlivenog brodskog goriva u morsku sredinu u posmatranom periodu od 12 h. Podaci prikazuju količinu brodskog goriva koja pluta na površini mora, isparava, disperzuje se, zadržava na obalu i miješa.



Sl.5. Statistika izlivena nafte u odnosu na vremenski interval

U prvim satima nakon izlivanja, uočava se nagli porast količine brodskog goriva na površini mora. Očekivano, uslijed inicijalnog izlivanja, već nakon prvog sata detektovano je 52.9 t brodskog goriva na površini, dok je ukupna količina, uzimajući u obzir dinamički proces emulgacije, iznosila 70.9 t.

Istovremeno, započinju i procesi isparavanja, disperzije i stvaranja emulgacije. Količina zadržanog brodskog goriva, kao direktni pokazatelj opsega zagađenja obale, konstantno je rasla tokom cijelog perioda posmatranja, dosegnuvši

vrijednost od 14.5 t u posmatranom periodu. Nakon 12 h izmjerena je disperzirana količina brodskog goriva od 24.2 t. Ovaj podatak upućuje na značajno onečišćenje vodenog stupca, što predstavlja ozbiljnu prijetnju morskom ekosistemu. Tokom posmatranog vremenskog intervala od 12 h količina brodskog goriva koja je isparila kroz oslobađanje ugljovodonika u atmosferu iznosi 0.4 t te se sa povećanjem vremenskog intervala povećava i količina oslobođenih isparenja i zagađujućih supstanci.

V. ZAKLJUČAK

U radu prikazana simulacija realizovana korištenjem PISCES II simulatora, omogućila je predikciju potencijalnih posljedica izlivanja brodskog goriva u moru. Rezultati simulacije ukazuju na ozbiljnost prijetnje koju predstavljaju takvi incidenti, uključujući značajno onečišćenje obalnih područja, degradaciju prirodnih staništa, kao i ugrožavanje morskog biodiverziteta. Posebno je istaknut uticaj na ekološki osjetljive zone, čime su naglašeni dugoročni socio-ekonomski i ekološki rizici za lokalne zajednice i prirodnu sredinu. Ovaj rad ističe važnost primjene postojećih softverskih alata za simulaciju incidentnog slučaja izliva brodskog goriva u more, procesa razvoja i razlaganja zagađivača, te razvoj efikasnih strategija za prevenciju, ublažavanje i upravljanje u vanrednim situacijama. Softverski alati, poput simulatora PISCES II, omogućavaju predviđanje procesa širenja mrlja brodskog goriva, pružajući osnove za optimizaciju hitnih odgovora i smanjenje potencijalnih štetnih posljedica. Preventivni pristup temeljen na ovakvim simulacijama ne samo da smanjuje rizik od katastrofalnih posljedica izlivanja brodskih goriva, već i doprinosi očuvanju morske okoline te održivom razvoju obalnih područja. Stoga, integracija ovih softverskih alata u procesu planiranja i upravljanja vanrednim situacijama predstavlja nezaobilazan korak ka unapređenju zaštite morskog ekosistema i osiguranju održive budućnosti.

ZAHVALNICA

Posebnu zahvalnost dugujemo Institutu za biologiju mora Univerziteta Crne Gore, koji je podržao i omogućio realizaciju mjerenja morskih struja korištenjem njihove specijalizirane opreme. Ova mjerenja su pružila precizne podatke koji su kasnije korišteni u simulacijama i izradi ovog rada.

LITERATURA

- [1] P. Panagiotidis, K. Giannakis, N. Angelopoulos, i A. Liapis. "Shipping Accidents Dataset: Data-Driven Directions for Assessing Accident's Impact and Improving Safety Onboard": MDPI, [Na mreži]. Dostupno na linku: <https://doi.org/10.3390/data6120129>, [Posljednji pristup 12.januar 2025].
- [2] Rightship, "Half of maritime incidents in 2022 occurred in ports and terminals", 2023. [Na mreži]. Dostupno na linku: <https://rightship.com/insights/half-maritime-incidents-2022-occurredports-and-terminals> [Posljednji pristup 12.januar 2025].
- [3] I. Petrović, Š. Ivošević, i M. Vukičević, "What is a Risk of Increased Traffic in Boka Bay?" u *Journal of Maritime Sciences (JMS)* god. 23, br. 2/2022. Vol. 23, November 2022, [Na mreži], pp. 65–86, Dostupno na linku: DOI: <https://doi.org/10.56080/jms221106>, [Posljednji pristup 12.januar 2025]
- [4] Uprava za statistiku – MONSTAT, (3.06.2024) *Kružna putovanja stranih brodova*. [Na mreži]. Dostupno na linku: <https://www.monstat.org/uploads/files/TURIZAM/kruznaputovanja/2023k/Kru%C5%BE%C5%99na%20putovanja%20stranih%20brodova%202023.%20godina.pdf>, [Posljednji pristup 11.januar 2025]
- [5] CDM, (03. maj 2018), "Prošla opasnost u Boki, kruzer neće udariti u obalu", [Na mreži]. Dostupno na linku: <https://www.cdm.me/drustvo/prosla-opasnost-u-boki-kruzer-neece-udariti-u-obalu/#>, [Posljednji pristup 12.januar 2025]
- [6] Državna revizorska institucija, (27.04.2021), "Revizija efikasnosti: Upravljanje intervencijama u slučaju iznenadnog zagađenja u Jadranskom moru", [Na mreži]. Dostupno na linku: <https://www.dri.co.me/doc/Izve%C5%A1taj%20o%20reviziji%20uspjeha%20%E2%80%9EUpravljanje%20intervencijama%20u%20slu%C4%8Daju%20iznenadnog%20zaga%C4%91enja%20u%20Jadranskom%20moru%E2%80%9C.pdf>, [Posljednji pristup 12.januar 2025].
- [7] United States government, Office of Response and Restoration, [Na mreži]. Dostupno na linku: <https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/oil-spills-response-tools/gnome-suite-oil-spill-modeling.html>, [Posljednji pristup 11.januar 2025].
- [8] J. Halonen i A. Lanki. (2019) 'Efficiency of Maritime Simulator Training in Oil Spill Response Competence Development', *TransNav the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, [Na mreži]. Dostupno na linku: <https://doi.org/10.12716/1001.13.01.20>. [Posljednji pristup 12.januar 2025].
- [9] P. Kرامة, K. Spanoudaki, G. Zodiatis, G. Gikas, i G. Sylaios, (2021). "Oil Spill Modeling: A Critical Review on Current Trends, Perspectives, and Challenges" *Journal of Marine Science and Engineering*, [Na mreži]. Dostupno na linku: <https://doi.org/10.3390/jmse902018>, [Posljednji pristup 12.januar 2025].
- [10] Wartsila, [Na mreži]. Dostupno na linku: <https://www.wartsila.com/marine/products/simulation-and-training/navigational-simulators/oil-spill-response-simulator>, [Posljednji pristup 31.januar 2025].
- [11] K. Lazuga, L. Gućma, i M. Perković. (2013). 'M/t "Baltic Carrier" accident. The reconstruction of oil spill with PISCES II simulator application'. *Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin*, 36(108), pp. 110–115. [Na mreži]. Dostupno na linku: <https://repository.am.szczecin.pl/handle/123456789/539>. [Posljednji pristup 12.januar 2025].
- [12] K. Lazuga K. (2012). 'Testing of a oil spill mathematical model contained in PISCES II simulator'. *Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin*, 32(104), p. 105–109. [Na mreži]. Dostupno na linku: <https://repository.am.szczecin.pl/handle/123456789/90>. [Posljednji pristup 12.januar 2025].
- [13] Siniša Luković, (03.05.2018.), "Kruzer nastavio putovanje nakon nepritike u Boki", *Vijesti*. Dostupno na linku: <https://www.vijesti.me/vijesti/4961/kruzer-nastavio-putovanje-nakon-nepritike-u-boki>. [Posljednji pristup 12.januar 2025].
- [14] Dan, (04.05.2018), "Vjetar umalo nasukao kruzer", *Dan online*, Dostupno na linku: <https://old.dan.co.me/?nivo=3&rubrika=Regioni&clanak=644975&datum=2018-05-04>. [Posljednji pristup 12.januar 2025].
- [15] D. Vukašinović, *Oil spill simulations in Port of Kotor area* [Magistarska disertacija]. University of Plymouth with MLA College, Plymouth, England, 2013.
- [16] ISO 8217:2024, Products from petroleum, synthetic and renewable sources — Fuels (class F) — Specifications of marine fuels, International Organization for Standardization, [Na mreži]. Dostupno na linku: <https://www.iso.org/standard/80579.html>, [Posljednji pristup 7.februar 2025].
- [17] United States government, Office of Response and Restoration, [Na mreži]. Dostupno na linku: <https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/oil-spills/weathering-processes-affecting-spills>. [Posljednji pristup 12.januar 2025].

Upotreba implementacionih idioma u konstrukciji arhitekture poslovnih aplikacija

Ivan Lj. Marković, Tatjana D. Stojanović, Saša D. Lazarević

Sadržaj—Rad je koncipiran sa težištem na arhitekturnalno centričan razvoj poslovnih aplikacija upotrebom implementacionih idioma. U fokusu je razvoj sloja za pristup podacima upotrebom implementacionih idioma, sa posebnim osvrtom na implementaciju idioma Fizički pogled (engl. *Physical view*), Hijerarhijski pogledi (engl. *Hierarchical views*) i Broker upita (engl. *Query broker*) u .NET tehnologiji i C# programskom jeziku.

I. UVOD

Problem koji se istražuje i koji je predstavljen u radu je neusklađenost između paradigmi sloja baze podataka i paradigmi aplikativnog sloja. Relaciona paradigma predstavlja dominantnu paradigmu sloja baze podataka, dok objektno-orijentisana paradigma predstavlja dominantnu paradigmu aplikativnog sloja. Problem neusklađenosti između relacije i objektno-orijentisane paradigme slojeva softverske strukture poslovnih aplikacija može se rešiti konstruisanjem sloja za pristup podacima - SPP (engl. *Data access layer - DAL*) upotrebom implementacionih idioma. Sloj za pristup podacima predstavlja jedan od slojeva u projektovanju softverske strukture poslovnih aplikacija. Uloga ovog sloja je da, pored rešavanja problema neusklađenosti, bude posrednik i predstavlja sloj mapiranja između sloja baze podataka i aplikativnog sloja.

U ovom radu biće predstavljen arhitekturnalno centričan razvoj poslovnih aplikacija upotrebom implementacionih idioma za razvoj sloja za pristup podacima u .NET tehnologiji i C# programskom jeziku.

II. ARHITEKTURA POSLOVNIH APLIKACIJA

Projektovanje arhitekture poslovnih aplikacija je proces definisanja struktuiranog rešenja koje ispunjava sve tehničke i operativne zahteve, uz optimizaciju zajedničkih atributa kvaliteta kao što su performanse, bezbednost i upravljivost. Ovo uključuje niz odluka zasnovanih na širokom spektru faktora, a svaka od ovih odluka može imati značajan uticaj na kvalitet, performanse, održivost i ukupan uspeh aplikacije [1].

* Zahvalnica za finansijsku podršku Ministarstvu prosvete Republike Srbije.

Ivan Lj. Marković, Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, Jove Ilića 154, 11010 Beograd, Srbija.

Tatjana D. Stojanović, Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, Jove Ilića 154, 11010 Beograd, Srbija.

Saša D. Lazarević, Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, Jove Ilića 154, 11010 Beograd, Srbija.

Arhitekturnalni stilovi predstavljaju projektne uzore i principe visokog nivoa apstrakcije koji se koriste prilikom projektovanja aplikacija. Oni predstavljaju skup principa koji obezbeđuju apstraktni okvir za skupove projektnih uzora koji čine jedan ili više sistema. Arhitekturnalni stilovi opisuju različite aspekte aplikacija, tako da se aplikacije najčešće sastoje od kombinacije više od jednog arhitekturnog uzora. Arhitekturnalni uzori promovišu i podstiču ponovnu upotrebu projektnih uzora koji pružaju rešenje za probleme koji se često ponavljaju.

Slojevitost arhitekture poslovnih aplikacija čine različiti slojevi koji su naslagani vertikalno jedan na drugi. Ova arhitektura se fokusira na grupisanje povezanih funkcionalnosti u različite slojeve, unutar aplikacije. Komponente unutar slojeva mogu da komuniciraju sa drugim komponentama unutar istog sloja ili sa komponentama iz sloja koji se nalazi ispod posmatranog sloja. Primeri slojevitosti arhitekture su: dvoslojna (engl. *2-tier*), troslojna (engl. *3-tier*), n-slojna (engl. *n-tier*). Svaki sloj sadrži određeni broj komponenti grupisanih u podslojeve, dok svaki podsloj obavlja određenu vrstu posla. Komunikacija komponenti u svakom sloju koje komuniciraju sa komponentama u drugim slojevima odvija se preko dobro definisanih interfejsa.

Tipičan primer za slojevitost arhitekture su poslovne veb aplikacije koje se sastoje od prezentacionog sloja, aplikativnog sloja, sloja za pristup podacima i sloja baze podataka. Prezentacioni sloj zadužen je za funkcionalnosti koje se odnose na korisnički interfejs, aplikativni sloj je zadužen za obradu poslovnih pravila i logike, sloj za pristup podacima je zadužen za pristup i mapiranje između različitih paradigmi slojeva, dok sloj baze podataka predstavlja perzistentno skladište podataka.

Prezentacioni sloj predstavlja sloj u slojevitoj arhitekturi poslovnih aplikacija koji sadrži funkcionalnosti orijentisane na interakciju korisnika sa sistemom i sastoji se od komponenti koje obezbeđuju zajednički pristup prema jezgru poslovne logike inkapsuliranu u aplikativnom sloju. Ovaj sloj sadrži komponente koje implementiraju i prikazuju korisnički interfejs kao i komponente koje upravljaju korisničkim interakcijama. Najčešće komponente koje sadrži prezentacioni sloj su komponente korisničkog interfejsa i komponente prezentacione logike. Aplikativni sloj implementira centralnu funkcionalnost sistema i inkapsulira relevantnu poslovnu logiku. Ovaj sloj se sastoji od različitih tipova komponenti kao što su: fasada aplikacije (engl. *application façade*), komponente poslovne logike, koje se

moгу razvrstati na komponente poslovnog toka i komponente poslovnog entiteta.

Jedan od najvažnijih slojeva slojevite arhitektura poslovnih aplikacija predstavlja sloj za pristup podacima. Ovaj sloj predstavlja podsistem za pristup perzistentnom sloju podataka u kontekstu slojevite arhitekture poslovnih aplikacija. Zadatak ovog sloja je da omogući preslikavanje između paradigmi aplikativnog sloja i sloja baze podataka uz optimalne performanse i fleksibilnost održavanja sloja u budućnosti. U zavisnosti od paradigmi aplikativnog sloja i sloja baze podataka postoje tri vrste sloja za pristup podacima [2]:

- relacioni sloj za pristup podacima
- objektno-relacioni sloj za pristup podacima
- objektni sloj za pristup podacima

Relacioni sloj za pristup podacima predstavlja sloj koji omogućava preslikavanje najčešće relacije ali i neke druge paradigme sistema za upravljanje podacima sloja baze podataka i paradigme aplikativnog sloja koja može a i ne mora da bude objektno-orijentisana i koja koristi najmanje treću generaciju programskih jezika [3].

Objektno-relacioni sloj za pristup podacima predstavlja sloj koji omogućava preslikavanje relacije paradigme sloja baze podataka i objektno-orijentisane paradigme aplikativnog sloja [4].

Objektni sloj za pristup podacima predstavlja sloj koji omogućava preslikavanje između objektno-orijentisanog sistema za upravljanje bazom podataka sloja baze podataka i objektno-orijentisane paradigme aplikativnog sloja.

Svaki od ove tri vrste sloja za pristup podacima sadrži najčešće dva podsloja, dok svaki od ovih podslojeva sadrži komponente koje imaju svoju ulogu, zaduženja i odgovornosti. Komponente koje su prikazane u ovom radu odnose se na komponente relacionog sloja za pristup podacima koje su implementirane kao idiomi.

III. IDIOMI

Idiomi su uzori najnižeg nivoa apstrakcije. Idiom predstavlja projektni uzor koji je vezan za određenu tehnologiju i implementiran je u određenom programskom jeziku. Idiom opisuje kako implementirati određene aspekte komponenti ili odnose između njih koristeći karakteristike određenog programskog jezika i tehnologije. Implementacija idioma izgleda drugačije za različite programske jezike [5].

Programski idiomi su „izrazi” programske semantike koji se mogu više puta upotrebiti, kao što su klase ponovno upotrebljive jedinice strukture programskog kôda.

Idiomi, isto tako, predstavljaju implementaciju rešenja problema u nekom kontekstu. Idiomi se mogu podeliti prema njihovoj svrsi i upotrebi na organizacione, analitičke, projektne i implementacione. Organizacioni idiomi predstavljaju uzore i prakse koji pomažu u strukturiranju i organizovanju kôda na način koji poboljšava čitljivost, održivost i skalabilnost. Analitički idiomi su uzori koji pomažu u analizi, obradi i tumačenju podataka ili logike programa. Projektni idiomi odnose se na uzore i tehnike koje

se koriste u projektovanju sistema i arhitekture aplikacija. Oni služe da strukturiraju i organizuju kôd na način koji omogućava bolju održivost, proširivost i razumevanje. Implementacioni idiomi se odnose na specifične tehnike i uzore koji se koriste za realizaciju funkcionalnosti u programskom kôdu. Oni su fokusirani na načine da se dobije trenutna korist prilikom postavljanja čistog kôda zbog lakšeg razvoja u budućnosti [6].

IV. PRIMERI IMPLEMENTACIONIH IDIOMA

U ovom poglavlju, analizirani i prikazani su primeri implementacionih idioma sloja za pristup podacima. Implementacioni idiomi koji će biti predstavljeni u ovom radu vezani su za relacioni sloj za pristup podacima. Relacioni sloj za pristup podacima deli se na dva podsloja: logički sloj za pristup podacima i fizički sloj za pristup podacima. Svaki od ovih podslojeva sadrži komponente koje imaju svoju ulogu, zaduženja i odgovornosti. Logički sloj za pristup podacima predstavlja interfejs za aplikativni sloj u slojevitoj arhitekturi poslovnih aplikacija. Ovaj sloj sadrži komponente i obezbeđuje klase koje su zadužene za upravljanje transakcijama i keširanje podataka. Fizički sloj za pristup podacima predstavlja interfejs do sistema baze podataka. Ovaj podsloj sadrži komponente fizičkih pogleda podataka i komponente pristupa podacima.

Primeri implementacionih idioma koji su prikazani su: **Fizički pogled** (*engl. Physical view*), **Hijerarhijski pogledi** (*engl. Hierarchical views*) i **Broker upita** (*engl. Query broker*).

A. Fizički pogled (*engl. Physical view*)

Implementacioni idiom koji predstavlja komponentu fizičkog sloja za pristup podacima je Fizički pogled. Fizički pogled predstavlja idiom koji omogućava kako da se inkapsulira fizička baza podataka na način da joj se može lako pristupiti i optimizovati bez uticaja na gornje slojeve softvera [2].

Problem:

Kako omogućiti interfejs, koji je jednostavan za upotrebu, do fizičke tabele u bazi podataka?

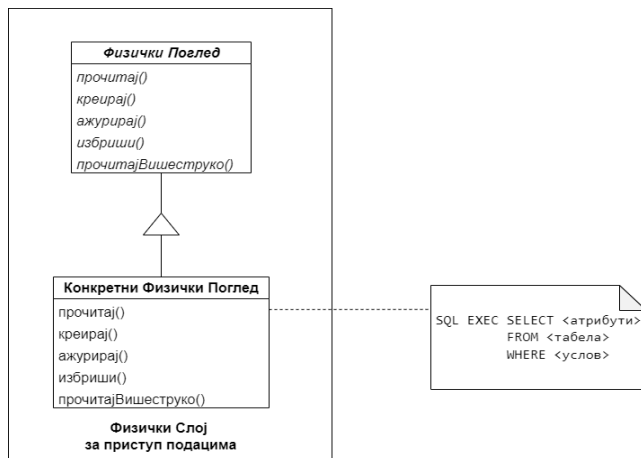
Rešenje:

Upotreba idioma Fizički pogled i Konkretni fizički pogled.

Razmatranje:

Fizički pogled definiše jednoličan opšti protokol za Konkretni fizički pogled. Isto tako omogućava optimizaciju struktura u fizičkoj bazi podataka bez uticaja na gornje slojeve strukture relacionog sloja za pristup. Upotrebom posmatranog idioma moguće je razdvajanje grupa klasa koje koriste različite fizičke baze podataka. Da bi se obezbedio konkretni fizički protokol za konkretne tabele i poglede u bazi podataka, potrebno je da klasa Konkretnog fizičkog pogleda nasleđuje klasu Fizičkog pogleda. Na ovakav način je omogućeno inkapsuliranje svake tabele i pogleda sa idiomom Konkretni fizički pogled. Ovaj idiom poziva idiom koji omogućava konekciju prema bazi podataka, slanje i prihvatanje rezultata. Klase ovog idioma, u svojim

metodama, mogu pozivati procedure, poglede, funkcije u bazi podataka. Moguća je i upotreba upita engl. SQL jezika u ovim metodama. Osnovna odlika ovog idioma da obmotava jednu tabelu ili pogled iz sloja baze podataka. Osnovno polazište je da se definiše za svaku osnovnu fizičku tabelu njen Konkretni fizički pogled, kao i za poglede koji su stvoreni u bazi podataka koji predstavljaju poglede složenih entiteta. Dijagram klasa idioma Fizički pogled prikazan je na Sl. 1.



Slika 1. Dijagram klasa idioma Fizički pogled

Implementacija implementacionog idioma Fizički pogled u .NET tehnologiji i C# programskom jeziku:

PhysicalView.cs

```
namespace PhysicalAccessLayer
{
    public abstract class PhysicalView
    {
        public abstract void Read();
        public abstract void Create();
        public abstract void Update();
        public abstract void Delete();
        public abstract void ReadMultiple();
    }
}
```

PersonPhysicalView.cs

```
using System.Data;
using System.Data.SqlClient;

namespace PhysicalAccessLayer
{
    public class PersonPhysicalView : PhysicalView
    {
        public override void Read()
        {
            // konkretna implementacija metode
        }
        // ostale metode
    }
}
```

Veza idioma fizičkog sloja za pristup podacima, u ovom slučaju Konkretnog fizičkog pogleda, i idioma logičkog sloja za pristup koji ga poziva može biti izvedeno na dva osnovna

načina: direktnom vezom ili indirektnom vezom koristeći posredni idiom.

Direktna veza između idioma Hijerarhijski pogledi i Fizički pogled može se implementirati tako da metoda idioma Hijerarhijski pogledi predstavlja Konkretni fizički pogled. Ovakva implementacija nije dovoljno fleksibilna jer nije moguće koristiti isti Konkretni fizički pogled dva ili više puta. Indirektna veza između podslojeva predstavlja upotrebu i pozivanje idioma Brokera Upita kao posrednika.

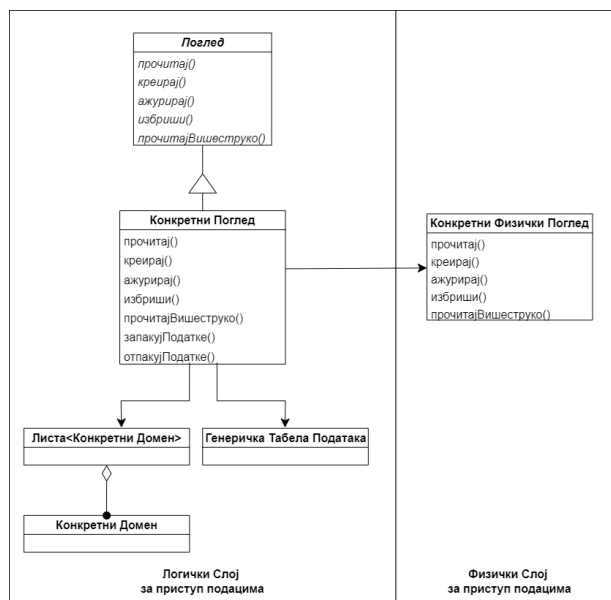
B. Hijerarhijski pogledi (engl. Hierarchical views)

Implementacioni idiom koji predstavlja komponentu logičkog sloja za pristup podacima je Hijerarhijski pogled. Hijerarhijski pogledi predstavljaju idiom koji opisuje dokazani i uobičajeni interfejs između jezgra aplikacije i sloja pristupa bazi podataka u troslojnoj arhitekturi [2].

Problem: Problem izlaganja interfejsa relacionog sloja za pristup podacima, aplikativnom sloju.

Rešenje: Upotreba idioma Hijerarhijski pogledi.

Razmatranje: Implementacija idioma Hijerarhijski pogledi sastoji se od apstraktne klase Pogled koja u svojim apstraktnim metodama kao ulazni ili izlazni tip ima generički tip koji predstavlja klasu. Konkretni pogled predstavlja klasu koja nasleđuje apstraktnu klasu Pogled. Konkretna klasa u svojim konkretnim metodama kao ulazni ili izlazni tip ima određenu domensku klasu koja proizilazi iz uslova nasleđivanja. Ova konkretna klasa popunjava vrednosti atributa domenskog nivoa direktnim pozivanjem klase Konkretni fizički pogled iz fizičkog sloja za pristup podacima. Direktno pozivanje odgovarajuće klase predstavlja prvi način kako se pristupa fizičkom sloju. Na ovaj način klase su čvrsto spregnute. Na Sl. 2 prikazan je dijagram klasa idioma Hijerarhijski pogledi.



Slika 2. Dijagram klasa idioma Hijerarhijski pogledi

Implementacija implementacionog idioma Hijerarhijski pogledi u .NET tehnologiji i C# programskom jeziku:

View.cs

```
public abstract class View<T> where T : class
{
    public abstract List<T> Read(int id);
    // ostale metode
}
```

PersonView.cs

```
public class PersonView : View <Person>{
    private DataTable? dt;
    private List<Person>? people;
    private PersonPhysicalView? ppv;
    public override void Create(Person p)
    {
        ppv = new PersonPhysicalView();
        ppv.Create(p.ID, p.FirstName, p.LastName);
    }
    public override List<Person> Read(int id)
    {
        ppv = new PersonPhysicalView();
        dt = ppv.Read(id);
        people = UnpackPerson(dt);
        return people;
    }
}
```

Ako se želi postići fleksibilnosti i labava veza između fizičkog i logičkog sloja za pristup podacima, potrebno je između ova dva sloja implementirati idiom **Broker upita** (engl. *Query broker*). Aplikacija koja koristi idiom Hijerarhijski pogledi prati strukturu logičkog modela podataka za razliku od objektno-relacionog sloja za pristup podacima gde model objekata prati unutrašnju strukturu domena. Implementacijom idioma Hijerarhijski pogledi postiže se potpuno odvajanje sloja aplikacije od fizičkog modela podataka, što omogućava da se vrši optimizacija performansi na sloju baze podataka bez uticaja na kôd aplikativnog sloja.

C. Broker upita (engl. Query broker)

Projektni uzor Broker (engl. *Broker*) predstavlja polazni uzor čija je osnovna uloga povezivanje slojeva. Uloga ovog uzora je da omogućiti standardnu tehniku razdvajanja između slojeva. Korišćenjem osnovne strukture uzora uz dodatna potrebna prilagođavanja koja su potrebna da bi se uzor mogao primeniti u sloju za pristup podacima predstavlja idiom koji je nazvan Broker upita (engl. *Query broker*).

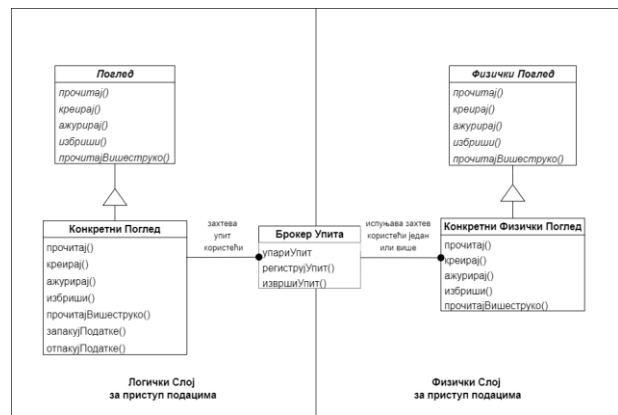
Broker upita predstavlja projektni uzor koji omogućava razdvajanje logičkog i fizičkog sloja za pristup podacima da bi se omogućila fleksibilnost i labava veza između slojeva [2].

Problem: Kako omogućiti fleksibilnu vezu između komponenti logičkog i fizičkog sloja za pristup podacima?

Rešenje: Upotreba idioma Broker upita

Razmatranje: Preduslovi koji su potrebni je da se u logičkom sloju za pristup podacima koristi idiom Hijerarhijski pogledi, a u fizičkom sloju za pristup podacima koristi idiom Fizički pogled. Potreba za primenom idioma Brokera upita javlja se kada jedan od slojeva postane nestabilan u smislu da se često i brzo menja. Ovaj slučaj događa se idiomu Fizički pogled kada su potrebne česte promene idioma koje su uzrokovane promenama u fizičkoj strukturi baze podataka. Uvođenjem posrednika između slojeva dobija se na fleksibilnosti ali se isto tako usložnjava sloj za pristup podacima. Dodavanjem složenosti sistem postaje skuplji i složeniji za održavanje.

Hijerarhijski pogledi predstavljaju klijentsku stranu Brokera upita, dok Fizički pogledi predstavljaju serversku stranu Brokera upita. Centralna uloga ovog idioma je da prosledi zahtev, a zatim i da prihvati, obradi, sastavi rezultate poziva jednog ili više Fizičkog pogleda i prosledi rezultat u odgovarajući izlaz idiomu Hijerarhijski pogled. Na Sl. 3 prikazan je dijagram klasa idioma Broker upita.



Slika 3. Dijagram klasa idioma Broker upita

Implementacija implementacionog idioma Broker upita u .NET tehnologiji i C# programskom jeziku:

QueryBroker.cs

```
public class QueryBroker{
    // atributi
    public void RegisterQueryDT(string queryName,
        Func<int, DataTable> queryFuncDT)
    {
        queriesDT[queryName] = queryFuncDT;
    }
    public DataTable ExecuteQueryDT(string
        queryName, int param)
    {
        switch (queryName)
        {
            case "PersonPhysicalViewRead":
                return personPhysicalView.Read(param);
            case "PersonPhysicalViewReadDT":
                return personPhysicalView.ReadDT(param);
        }
    }
}
```

```

    default:
    throw new ArgumentException("Query not found");
    }
}
}

```

U scenariju u kome klijent, koga predstavlja sloj aplikacije u tom slučaju, stvara objekat idioma konkretnog Hijerarhijskog pogleda koji šalje zahtev ka Brokeru upita sa ciljem dobijanja podataka iz baze podataka. Broker upita obrađuje zahtev i vrši poređenje prosleđenog zahteva, zatim na osnovu rezultata poređenja vrši prosleđivanje zahteva odgovarajućim metodama koje pozivaju različite objekte konkretnih Fizičkih pogleda čije metode pozivaju objekte u bazi podataka. Rezultati prosleđeni iz baze podataka kroz rezultujuće objekte Fizičkih pogleda se sastavljaju u odgovarajući izlaz u objektima Brokera upita i vraćaju objektu Hijerarhijski pogled koji prosleđuje rezultat klijentu u sloju aplikacije.

V. ZAKLJUČAK

Konstruisanjem sloja za pristup podacima upotrebom implementacionih idioma rešava se problem neusklađenosti između relacije i objektno-orijentisane paradigme slojeva softverske strukture poslovnih aplikacija. Idiomi predstavljaju projektne uzore koji su vezani za određenu tehnologiju i njihova implementacija zavisi od izabranog programskog jezika. Implementacioni idiom *Fizički pogled* omogućava interfejs do fizičke tabele u bazi podataka. Prednost upotrebe idioma ogleda se u mogućnosti razdvajanja grupa klasa koje koriste različite fizičke baze podataka. *Hijerarhijski pogledi* predstavljaju idiom koji omogućava interfejs između jezgra aplikacije i sloja za pristup podacima. Upotrebom idioma postiže se potpuno odvajanje sloja aplikacije od fizičkog modela podataka u odnosu na tradicionalni pristup. Vezu između idioma *Fizički pogled* i *Hijerarhijski pogledi* čini idiom *Broker upita* koji omogućava razdvajanje logičkog i fizičkog sloja za pristup podacima. Prednost upotrebe posmatranog idioma ogleda se u omogućavanju fleksibilnosti i labave veze između slojeva.

LITERATURA

- [1] Microsoft Patterns & Practices Team. *Microsoft Application Architecture Guid*, 2nd ed. Microsoft Press, 2009.
- [2] W. Keller, J. Coldewey, *Relational Database Access Layers (A Pattern Language)*. In Collected Papers from the PLoP'96 and EuroPLOP'96. Washington University, 1997.
- [3] W. Keller, J. Coldewey, *Accessing Relational Database (A Pattern Language)*. In: R. C. Martin, D. Riehle, F. Buschmann (Eds.), *Pattern Languages of Program Design 3*. Addison-Wesley, 1998.
- [4] W. Keller, *Object-Relational Access Layers: A Roadmap, Missing Links and More Patterns*. In: Proceedings of the 1998 EuroPLOP Conference, Irsee, Germany: UVK University Press Konstanz, 1998.
- [5] F. Buschmann, R. Meunier, H. Rohnert, P. Sommerlad, M. Stal. *Pattern-Oriented Software Architecture Volume 1: A System of Patterns*. John Wiley & Sons, 1996.
- [6] K. Beck. *Implementation Patterns*. Addison-Wesley Professional, 2007.

APSTRAKTI AUTORSKIH RADOVA OBJAVLJENIH U IEEE XPLORE DIGITALNOJ BIBLIOTECI

(<https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/10930229/proceeding>)

Digital Twins for Monitoring and Simulation of Ship Hull Structures: A Maritime Engineering Perspective

Tahir Mavrić and Špiro Ivošević

The key challenges in the maritime industry revolve around digital transformation, reducing carbon emissions (decarbonization), and the implementation of smart and autonomous technologies. Smart Shipping Technologies, Electronic Charts and e-Navigation are key elements of modern digitization. Digital twins have emerged as transformative tools in maritime engineering, enabling real-time monitoring, advanced simulations, and predictive maintenance of ship hull structures. This paper explores methodologies for integrating digital twin technology in ship monitoring and simulation, discusses its practical applications, and addresses challenges in implementation.

The Mechanism of Virtual Tourism in Directing Visit Intention

Evelyn Hendriana, Idris Gautama So, Noor Hazlina Ahmad, Sri Bramantoro Abdinagoro, and Anderes Gui

There is increasing interest in the use of virtual technology for tourism. Among various virtual tourism's characteristics, its authenticity and its effect on behavioral intention is often debated. This study utilized the stimulus-organism-response (SOR) model to examine the effects of perceived authenticity and telepresence on visit intention. Data from 148 respondents selected conveniently were analyzed using PLS-SEM, which fully supports the application of the SOR model to explain the effectiveness of virtual tours to direct visit intention. All proposed relationships are found positively significant. Perceived authenticity and telepresence as stimulus to give special reaction by tourists in their tourism activities. Perceived enjoyment and perceived usefulness as organism give responses by tourists in their visit intention. Virtual tourism is one way to travel in the digital era, especially for Gen Z. Tourists can use virtual tourism before making a physical visit as a preference for choosing tourist attractions.

Enhancing Traceability and Security in mHealth Systems: A Proximal Policy Optimization-Based Multi-Authority Attribute-Based Encryption Approach

Bhargavi Konda, Akhila Reddy Yadulla, Vinay Kumar Kasula, Mounica Yenugula and Chakradhar Adupa

Mobile healthcare (mHealth) is an emerging technology that facilitates the sharing of personal health records (PHR), but it also introduces risks related to the security and privacy of PHRs. To address these concerns, Attribute-Based Encryption (ABE) has been proposed as an advanced cryptographic solution to enable fine-grained access control over encrypted data. However, existing attribute-based mHealth systems often lack efficient traceability or are limited to a single authority. This paper presents a novel traceable multi-authority ABE scheme, incorporating Proximal Policy Optimization (PPO), a state-of-the-art reinforcement learning algorithm, to enhance traceability and security. The scheme is built on composite order groups and supports arbitrary monotonic access structures defined by Linear Secret Sharing Schemes (LSSS). The security of the system is validated under adaptive security assumptions, with PPO optimizing the access control decisions and identifying potential vulnerabilities in real-time. Additionally, the performance of the system is evaluated, demonstrating its efficiency, scalability, and availability for practical mHealth applications. This approach not only ensures robust access control but also guarantees high adaptability and traceability, effectively addressing privacy concerns in the sharing of sensitive health data.

An In-Depth Exploration of Green Computing Initiatives in Information and Communication Technology (ICT): A Systematic Literature Review

Andri Santoso, Gerald Christian Ongko, Jessen Hadinata, Fredy Jingga, Member, IEEE

This article presents a systematic literature review (SLR) aimed at exploring green computing initiatives in the Information and Communication Technology (ICT) sector. From an initial pool of 258 candidate studies, 35 were selected for in-depth analysis to address two key research questions. The study identifies frequently used terms in green computing and examines which areas of study contribute to advancing green computing initiatives in ICT. These findings offer insights into the critical components and strategies driving sustainable practices within the ICT domain.

Sensitivity Analysis of the Induction Motor's Torque-Speed Characteristic towards Equivalent Circuit Parameters Variations

Jovan Vukašinović, Saša Štatkić, Miloš Milovanović, Bojan Perović, Andrijana Jovanović

In this paper, a sensitivity analysis of the induction motor's torque-speed characteristic to variations in equivalent circuit parameters was carried out. The sensitivity analysis was performed on a two-pole 75 kW induction motor using Monte Carlo simulation. The analysis has shown that the influence of rotor parameters at the motor start, as well as the stator and rotor leakage reactance, on the torque-speed characteristic is the greatest. In contrast, the influence of the stator and rotor resistance is significantly smaller, and the influence of the parameters of the magnetizing branch is negligibly small.

Determining software quality using code analysis metrics

Yevheniia Kataieva and Martin Nemec

This paper addresses the evaluation of software quality through the use of code analysis metrics. Software quality is critical to ensuring functionality, reliability, and maintainability, with complexity serving as a fundamental factor affecting these aspects. The study identifies common "code smells" structural issues within code that indicate potential weaknesses and categorizes them into dispensable elements, bloaters, coupling issues, and more. Object-oriented metrics such as Lines of Code (LOC), Cyclomatic Complexity (CC), and Number of Methods per Class (NOM) are explored for their roles in measuring and managing code complexity. Furthermore, the study proposes new metrics, including Relative Complexity Index (RCI) and Interaction Complexity (IC), designed to enhance the detection of code smells and improve maintainability. Implementation results using a Maven plugin for Spring Boot projects demonstrate the practicality of these metrics in generating detailed reports for software developers.

Breast Cancer Detection Using ResNet and DenseNet Architecture

Tamara Pavlovic, Tomo Popovic, *Senior Member, IEEE*, Stevan Cakic

Artificial Intelligence is rapidly advancing the medical field by providing innovative disease diagnosis, treatment, and research approaches. This study explores the application of artificial intelligence in breast cancer diagnostics, focusing on using convolutional neural networks and deep learning to analyze mammographic images. ResNet152 and DenseNet121 models were used to classify malignant changes, achieving AUC scores exceeding 0.9, demonstrating their clinical utility. The research emphasizes how artificial intelligence can enhance screening efficiency, expedite diagnostic processes, and facilitate personalized treatment approaches. Ethical considerations, including patient safety and the transparency of artificial intelligence systems, were also analyzed. The findings underscore the potential of artificial intelligence to transform diagnostic procedures for breast cancer and highlight the importance of further research to integrate these technologies into clinical practice.

Analysis of Factors Affecting the Adoption of Digital Insurance in Jakarta

Jessicania Windari and Tanty Oktavia

This study related phenomena to the adoption of digital insurance services in Jakarta. Analysis of 403 respondents reveals that several factors have no significant impact on individual behavioral intention to use digital insurance, although facilitating conditions and performance expectations do not have a significant effect on behavioral intention. This research suggests a unique behavior among digital insurance consumers in Jakarta that requires further understanding. Utilizing SmartPLS 4.0 software for Structural Equation Modeling (SEM-PLS) analysis, the study delves beyond the technical aspects of using digital insurance applications. It needs to highlight to consider psychological and social factors such as perceived benefit, perceived risk, and trust when designing the method. This research makes a significant contribution to identifying the factors influencing digital insurance adoption in Jakarta. By using the UTAUT2 model with modification, the study successfully identifies a gap between theoretical expectations and the market in Jakarta. These results open avenues for further research to delve deeper into context-specific factors in different Indonesian big cities. Future study suggests that need for developing more comprehensive models to predict consumer behavior in the context of financial technology adoption. Insurance industry can design more targeted strategies to enhance the penetration of digital insurance service in Indonesia

Assessing the Potential of Robo-Advisors in Transforming Indonesia's Insurance Sector

Daniel Yosia Arbi and Anderes Gui

This study aims to investigate the adoption of robo-advisors in the Indonesian insurance sector, focusing on key factors influencing their acceptance, such as trust, anxiety, performance expectancy, preference for human advisors, attitude, and perceived privacy. The research employed a quantitative approach using a structural equation modeling (SEM) technique through Partial Least Squares (PLS). Data were collected via a Google Forms survey distributed to 442 valid respondents using purposive sampling, with the study conducted in Jakarta, Indonesia. The findings revealed that performance expectancy, anxiety, preference for human advisors, and perceived privacy significantly impact the intention to use robo-advisors, whereas trust and attitude showed limited influence. The study concludes that while robo-advisors hold potential in enhancing efficiency and personalization, concerns such as user privacy and the need for human interaction remain critical. Insurance companies should prioritize robust data privacy measures and consider hybrid models combining robo-advisors with human advisors to enhance user trust and satisfaction. Implications for practice include fostering user trust through transparent data handling policies and providing educational resources to mitigate technology-related anxiety. Limitations of this research include its focus on respondents in a single geographic region and its reliance on self-reported data, which may introduce biases. Future research should explore the application of robo-advisors in broader insurance markets and examine their long-term impact on user behavior and financial decision-making.

An Analysis Approach for Crowds with Varying Density and Complexity Using Image Data

M. Mert Menevse, Melisa Gozet, Asim Egemen Yilmaz, Mehmet Karakose Senior Member, IEEE

Smart cities represent urban environments that leverage advanced technologies to optimize infrastructure and services. Crowd density analysis, a critical component of smart cities, employs sensors, cameras, and data analytics to monitor population density and movement in public spaces. Deep Learning (DL) techniques enable precise and automated crowd density evaluation, transforming traditional methods. This study introduces CILHOF-CDC, a CLAHE-InceptionV3- LSTM Hyperparameter Optimization Framework for Crowd Density Classification. The framework enhances image contrast using the CLAHE method, employs Inception V3 for feature extraction, and integrates a Bidirectional LSTM model for crowd density detection and classification. Reinforcement Learning (RL) is utilized for hyperparameter optimization to further improve system performance. Experimental evaluations on a crowd density image dataset demonstrate the efficacy of the proposed framework, achieving an impressive accuracy of 99.4%, outperforming recently developed DL models. Furthermore, comparative analyses with existing models in the literature reveal that CILHOF-CDC achieves superior performance in terms of classification accuracy and adaptability across diverse crowd density scenarios.

Tuberculosis Detection From Chest X- Rays Using Convolutional Neural Network

Marko Raičević, Nikola Kavarić, Tomo Popović, Senior Member, IEEE, Dejan Babić, Ivan Jovović

This paper presents a deep learning model that enables fast and accurate diagnosis of tuberculosis based on chest X-rays. The developed model uses convolutional neural network that enable the automatic classification of chest x-rays into one of two classes: Normal or Tuberculosis with a high degree of accuracy. The model achieved an accuracy of 97.55% on the test data set, indicating its potential to open new perspectives for medical professionals in establishing a tuberculosis diagnosis. This model can significantly speed up the diagnostic process, reducing the workload of medical workers and increasing their productivity in the fight against tuberculosis, one of the most common lung diseases.

Laryngeal Cancer Detection and Classification Using Deep Learning on Histopathological Images

Mohammad Asif Khan Tonay, Shahriar Sadman Dihan, Farid Ishraque Zarif, Omar Rafat Adnan and
Md. Nawab Yousuf Ali

Laryngeal cancer has complex and subtle symptoms, which pose challenges in its early diagnosis and detection. Our research applies deep-learning-based image classification models to classify and detect the early stages of laryngeal cancer using histopathological images. Through our study, a dataset contains a collection of 1320 tissue images augmented to 5280 images which are divided into Healthy (He), Hypertrophic Blood Vessels (Hbv), IPCL-like Vessel (IPCL), and Leukoplakia (Le), preprocessed and augmented to enhance and optimize the model performance. Several deep-learning and CNN-based pre-trained models like ResNet50, DenseNet121, DenseNet201, VGG16, VGG19, MobileNetV2, and InceptionV3, were tested. We have taken our dataset from an Italian researcher. Our fine-tuned Resnet50 model has achieved a high accuracy of 99.62%, which surpasses all the previous works. Along with the accuracy our goal in this research was to improve the precision and recall of the models as it is sensitive to disease classification.

Harnessing the Power of the LUMI Supercomputer for Advanced Trading Simulations

Ognjen Iković, Nebojša Janović, Milan Jovović, Nikola Perović, Dejan Radulović, and Nikola Žarić,
Member, IEEE

Supercomputers have significantly transformed capabilities in data processing and analysis across various sectors, including finance, where they facilitate complex trading simulations and predictive modeling. This paper examines the application of the LUMI supercomputer to enhance the performance of trading algorithms within the PAID-T framework. PAID-T, a sophisticated trading software, necessitates running extensive simulations to optimize trading strategies. Given the computational demands, executing approximately 1.2 million simulations was achieved through LUMI's powerful infrastructure. The paper details the necessary adaptations for HPC execution, compares performance metrics between local PC and supercomputer, and discusses the challenges encountered during deployment. Our results highlight the remarkable efficiency gains realized by leveraging LUMI's capabilities, reducing execution time significantly and achieving real-time processing of vast market data sets. The insights drawn underscore the potential of HPC systems in advancing algorithmic trading performance and strategy optimization.

An Approach to Cybersecurity Education: A Case Study of CybSafe Implementation

Jelena Rastović, and Nikola Žarić, *Member, IEEE*

This study examines the effectiveness of the CybSafe platform as an interactive tool for cybersecurity education and assessment in a controlled academic setting. The research evaluates the platform's impact on student learning outcomes, engagement, and knowledge retention through the integration of interactive modules, real-world scenarios, and adaptive testing. The study also explores student satisfaction with the platform and assesses its potential for broader academic integration beyond IT-related disciplines. The findings highlight the role of interactive platforms like CybSafe in cybersecurity education and suggest directions for future research, including the development of more advanced assessment mechanisms to enhance digital learning approaches in cybersecurity training. Future research should focus on refining assessment methods and exploring its implementation in other academic fields.

Voice Cloning and TTS for Preservation and Enrichment of Cultural Heritage

Igor Culafic, Tomo Popovic, *Senior Member, IEEE*, Stevan Cakic

This research presents a comparative analysis of modern voice cloning systems, focusing on their ability to generate high-quality speech from limited training data. The paper aims to demonstrate that carefully curated smaller datasets can produce superior results to larger, less structured datasets. The investigation of multiple state-of-the-art models, including Realtime Voice Cloning (RVC), Tortoise AI, Bark, and Coqui AI, establishes optimal data preparation protocols and identifies critical factors in training data quality, with particular emphasis on applications for the Montenegrin language and cultural preservation.

Large Language Models for Inclusive Image Captioning

Rostyslav Zatserkovnyi, Zoriana Novosad, Roksoliana Zatserkovna

The recent rapid development of artificial intelligence (AI) has opened up many new possibilities for making digital content more accessible and inclusive. One of the most exciting advancements in this area is the use of large language models (LLMs) for image captioning. Trained on vast amounts of text data, these models, among other capabilities, can generate detailed descriptions of images – this can make visual content on the Web, which often has missing or unreliable captions, more understandable for individuals with visual impairment.

In this article, we investigate the possibility of using LLMs to improve image captioning of visual web content. We discuss the current capabilities of this new class of ML models, comparing several free and open-source LLMs that can be utilized for the task. Finally, we propose the architecture of a novel system that can be utilized by visually impaired web users to automatically caption visual content on the websites they visit.

The Effect of Interactive Online Learning on Students' Academic Performance

Yongky Anthonychow, Sulfi Danivia, Michelle Angelica, Cadelina Cassandra, and Surjandy

As of January 2024, there were 221.56 million internet users in Indonesia. This number has grown from the previous year. It is predicted to continue in the future, particularly considering the ease of internet access and the COVID-19 pandemic's impact on behavioral changes. This study aims to analyze the influence of perceived interaction, learning style, social influence, culture, facilitating conditions, and social influences that affect learning effectiveness, engagement, motivation, and satisfaction, directly impacting learning performance. Purposive sampling was used to distribute online surveys via social media platforms, utilizing Google Forms, to collect data in July 2024. The target respondents for this study were college students who have used the IOL platform. Afterwards, the SEM-PLS technique was applied to the data to validate the proposed framework. Twenty-four hypotheses were generated, seventeen of which were accepted and seven rejected.

Product Backlog Recommendations Using Sentiment Analysis with Topic Modelling and Text Summarization in the XYZ E-Wallet Application

Giovan Meidy Susanto and Tuga Mauritsius

Abstract— This research investigates sentiment analysis of user reviews for the XYZ e-wallet application on the Google Play Store, which currently holds a low rating of 2.7 out of 5. A preliminary study, including a focus group discussion with key stakeholders, revealed that this rating is primarily due to insufficient consideration of user feedback during the Software Development Life Cycle (SDLC). This study employs word2vec and Long Short-Term Memory (LSTM) models to analyze user sentiments, using a dataset comprising reviews collected between July 1, 2023, and June 30, 2024. The developed sentiment analysis model achieved an accuracy of 91.40%. Subsequently, the model was applied to predict sentiments from new review data spanning July 1, 2024, to July 31, 2024. The results were visualized using BERTopic for topic modeling and BART for text summarization. Insights from these visualizations informed recommendations for application improvement, particularly addressing frequent issues with balance top-ups that fail to update, which were incorporated into the product backlog to enhance user satisfaction. This study is limited to a single sentiment analysis model, topic modeling technique, and summarization method. Future research should explore applying the proposed model to other applications and evaluating alternative algorithms for improved performance.

Improving Transparency on Energy Transportation Losses through Digitalization Technologies

Amir Farmanesh, Irene Pereda Serrano, Joaquín Ordieres-Meré, Slobodan Bojanic, Bojan Prlinčević

Energy loss in power distribution networks remains a significant economic and environmental concern, often exacerbated by a lack of transparent data and limited realtime visibility. This paper introduces an Internet of Things (IoT) based monitoring system designed to capture, analyze, and securely store granular information on energy flow across a distribution grid. Through strategically and intervally placed sensors and a decentralized data ledger, the proposed system not only improves the spatial resolution of loss detection but also provide trust among stakeholders by preventing data tampering. Unlike traditional solutions reliant on centralized architectures, this approach combines lowcost hardware, scalable communication protocols, and immutable record, keeping to pinpoint inefficiencies in real time. A demonstration scenario validates its potential to identify localized anomalies, stemming from voltage drops, resistive heating, or other factors, more accurately than conventional methods, thereby enabling proactive maintenance and informed resource allocation. By striking a balance between affordability, security, and operational insight, the system lays the groundwork for more resilient and transparent energy distribution networks.

Patch-Based 3D CNN-Transformer Approach for Non-Uniformly Compressed Voxel Classification

Felix Koba, Aleksandr Marin, Stevan Čakić

Three-dimensional (3D) voxel models have wide applications in fields such as robotics, medical imaging, autonomous navigation, and augmented reality. To address challenges of spatial sparsity and computational efficiency, this research proposes a voxel-based 3D convolutional neural network (3D CNN) integrated with a Transformer encoder for object classification on the ModelNet10 dataset. The 3D models are non-uniformly compressed into a $16 \times 16 \times 16$ voxel grid, with compression factors incorporated as inputs to reduce sparsity. An in-house augmentation tool further enhances the dataset size and diversity by performing real-time voxel editing and labeling. The proposed method achieves an accuracy of 92.15% while utilizing only 184k trainable parameters, demonstrating an efficient and lightweight approach to object classification.

Analyzing Twitter Sentiment on Stock Using the Bidirectional Encoder Representations (BERT) Based on the Transformer Model

Rhisa Adika Putri and Tanty Oktavia

This study explores sentiment analysis on Indonesian social media data related to stock investments, focused on GOTO stocks. Using the Knowledge Discovery in Database (KDD) methodology, data was collected from the social media platform X (formerly Twitter) during the period from January 2023 to December 2024, preprocessed, and manually labeled into positive, neutral, and negative categories. A deep learning model, Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT), was employed to analyze the data. The model demonstrated strong performance, achieving a weighted average precision, recall, and F1-score of 0.95 on the test set, with precision scores of 0.99 for positive sentiments and recall scores of 0.97 for neutral sentiments. However, the F1-score for negative sentiments was comparatively lower at 0.87, indicating an area for improvement. These results highlight the effectiveness of sentiment analysis for monitoring stock market trends and public opinion. However, the study is limited by its reliance on data from a single platform (Twitter) and the relatively small dataset size. Future research should incorporate data from multiple platforms, such as Instagram and Facebook, and explore alternative models alongside BERT to enhance performance and generalizability.

A Quantum Computing Based Solution Approach for NP-Complete Problems

Seda Nur Gungor, Mehmet Karakose

Although NP-complete problems have solutions that can be verified in polynomial time, their exponential computational complexity presents significant challenges for classical computing methods. This study focuses on transferring various NP-complete problems into the quantum computing framework. The application of specific quantum computing algorithms is proposed for solving these problems. Within the scope of this study, a reusable quantum component with problem-specific constraints is designed, and a quantum circuit model is introduced to adapt the Quantum Feasibility Labeling algorithm for solving the Maximum Clique problem. Additionally, the Quick Quantum Search algorithm, which performs a search with a single oracle call, is integrated into the solution of the Maximum Independent Set problem. The proposed quantum circuits provide illustrative examples of how the components of an NP-complete problem can be represented in a quantum computing environment and how problem-specific constraints can be implemented within a quantum circuit. The utilization of modular circuit designs effectively demonstrates the applicability of larger and more complex problems in quantum environments. These approaches not only enable more efficient use of computational resources compared to traditional methods but also lead to significant reductions in solution times. This study provides a comprehensive framework that not only demonstrates the practicality of quantum circuits for small-scale NP-complete problems but also lays the groundwork for addressing larger and more complex challenges in future quantum computing applications.

Evolution of software through Lehman's laws: Comparative analysis of open and closed source solutions

Azra Smajić, Mohamed ElZayyat and Emina Junuz

This paper addresses gaps in prior research on empirical validation of Lehman's laws of software evolution, which often focus on isolated aspects (e.g., defect frequency or architecture) and selected laws, overlooking broader trends and interdependencies. Through a comparative analysis of open-source and closed-source software, this paper introduces the impact of licensing models on software evolution. By examining real-world projects, the study evaluates Lehman's laws in the context of modern software practices and user needs. This research shows that open-source solutions exhibit adaptability and continuous growth driven by contributor communities, while closed-source solutions prioritize development efforts aligned with business objectives. Adopting an open-source development approach may yield faster initial results but lead to significant technical debt and frequent code deprecation as the product evolves, while a closed-source approach ensures greater stability and consistency over time, though at a slower pace.

Evaluation of GPT-generated conceptual models based on verbal descriptions: accuracy and quality analysis

Tatjana D. Stojanović, Kristina Jovanović and Saša D. Lazarević

This paper examines the use of GPT for extracting entities and relationships from textual descriptions of conceptual models. Using ten models of varying complexity, outputs were evaluated for consistency and accuracy, with Jaccard similarity measuring uniformity. GPT exhibited strong entity recognition but struggled with implicit relationships, often requiring explicit definitions for accurate interpretation. It also occasionally misclassified attributes as entities, resulting in minor inconsistencies. While parameter adjustments had minimal impact, clear and detailed input significantly improved reliability. The findings highlight GPT's potential in automating conceptual modeling, with future work focused on improving input clarity and consistency.

Construction and optimization of the fourth-order polynomial convolution 1P kernel

Zoran Milivojević, Violeta Stojanović, Dijana Kostić, Bojan Prlinčević and Zoran Veličković

The paper describes the construction of two the fourth-order polynomial interpolation convolution kernels. The first kernel is without parameterization, while the second kernel is with parameterization. The parameterized kernel was optimized with the aim of approximating the ideal interpolation kernel sinc . The optimizations were performed according to two interpolation criteria. The first criterion implies the equation of the slope of the amplitude characteristic of the kernel in the node $x = 1$. The second criterion refers to the continuity of the third-order derivative of the amplitude characteristic in the node $x = 1$. The precision of the interpolation was tested by an experiment, in which some test images were interpolated. The results of the experiment showed that the precision of interpolation when applying the kernel, which is optimized by equalizing the slope, is higher in relation to the precision of the kernel with the optimization of the continuity of the third-order derivative of the amplitude characteristic. In addition, it was shown that the optimized kernel has a higher interpolation precision compared to the kernel without optimization.

Comparative Analysis of Linear and Polynomial Regression for Predicting Body Mass Index

Katarina Šćepanović, Milica Vukotić, David Pantović, Ivan Jovović

Body Mass Index (BMI) is a widely used metric for assessing obesity-related health risks and guiding public health interventions. This study evaluates and compares the effectiveness of linear and polynomial regression models in predicting BMI based on gender, macronutrient intake, and anthropometric data from an adult population in Montenegro. The analysis incorporates feature engineering, introducing variables such as carbohydrate intake per kilogram of body weight, water intake per kilogram, and waist-to-height ratio to enhance predictive accuracy. Model performance is assessed using multiple evaluation metrics, including predictive error and explanatory power, with results indicating that polynomial regression provides only marginal improvements over linear regression. These findings reinforce the viability of linear regression as an interpretable and efficient approach for BMI estimation. The study highlights the need for future research to explore advanced machine learning techniques to better capture the complex, nonlinear relationships influencing BMI and improve predictive accuracy in public health applications.

Implementation of Validation Rules in the Process of Automating Graphical User Interface Generation

Marija Todorović Mihajlović, Ilija D. Antović

The aim of this research is to implement a code generator that, following the requirements-gathering phase, will have all necessary information in the appropriate format to generate program code for a user interface with integrated data validation methods. To achieve this, the research enhances an existing tool for generating graphical user interface (GUI) code by extending the specification of user requirements as the primary input artifact and introducing an additional input element—a document related to domain-specific data. The textual files generated by the code generator include implemented methods for data validation on the GUI side. This work defines the algorithm that extracts and appropriately processes the input from user requirements and domain-specific artifacts to enable the seamless functioning of the implemented code generator, which is designed to be applicable to GUI development for any software system.

Maturity of open-source Digital Twin platforms in IoT

Jelena Crnogorac, Enis Kočan, Member, IEEE and Milica Pejanović Đurišić, Member, IEEE

Digital Twin (DT) platforms are becoming essential tools for different industries in production processes and reliability testing. At the same time, they are considered to enable research in areas like novel technologies for 6G and future Internet of Things (IoT). For research purposes, open-source platforms are of particular interest. Thus, we provide a comprehensive overview of the maturity of open-source platforms in IoT using seven criteria: documentation quality, maintenance, machine learning (ML) support for analysis, GUI support, scalability, interoperability, and use-case coverage. Based on these criteria four DT platforms are compared and discussed: Eclipse Ditto, Eclipse BaSyx, Snap4City DT (SCDT) and White Label DT. Our analysis shows that while each platform has strengths in specific areas, overall usability depends on the intended application, with SCDT standing out due to its integrated real-time ML capabilities despite similar maturity levels in other aspects.

The Evolution of Zero Trust Architecture (ZTA) from Concept to Implementation

Md Nasiruzzaman, Maaruf Ali, Iftekhar Salam and Mahdi H. Miraz

Zero Trust Architecture (ZTA) is one of the paradigm changes in cybersecurity, from the traditional perimeter-based model to perimeterless. This article studies the core concepts of ZTA, its beginning, a few use cases and future trends. Emphasising the always-verify and least privilege access, some key tenets of ZTA have grown to be integration technologies like Identity Management, Multi-Factor Authentication (MFA) and real-time analytics. ZTA is expected to strengthen cloud environments, education, work environments (including from home) while controlling other risks like lateral movement and insider threats. Despite ZTA's benefits, it comes with challenges in the form of complexity, performance overhead and vulnerabilities in the control plane. These require phased implementation and continuous refinement to keep up with evolving organisational needs and threat landscapes. Emerging technologies, such as Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) will further automate policy enforcement and threat detection in keeping up with dynamic cyber threats.

Digital Transformation in Banking: Behavioral and Technological Factors in Indonesia

Auryns Lycaso and Anderes Gui

This study investigates the behavioral and technological factors influencing non-users' intention to adopt digital banking in Indonesia, utilizing the Technology Acceptance Model (TAM) and Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT). Key constructs analyzed include Perceived Usefulness (PU), Perceived Ease of Use (PEU), Social Influence (SI), Facilitating Conditions (FC), Perceived Risk (PR), Perceived Trust (PT), and Perceived Security (PS). Despite the widespread use of TAM and UTAUT, this research addresses a significant gap by integrating trust-sensitive factors (PR, PT, and PS), which are crucial for understanding adoption in emerging markets. Data from 277 non-users were collected via a structured survey and analyzed using Structural Equation Modeling (SEM). Results reveal that PU, SI, FC, PR, and PS significantly influence Behavioral Intention (BI), while PEU and PT exhibit non-significant effects. This finding reflects a shift in user priorities from usability and generalized trust to tangible factors like security and infrastructure reliability. By refining these established frameworks, this study provides actionable insights for advancing digital banking adoption, particularly in Indonesia and other trust-sensitive emerging markets. Practical recommendations for policymakers and financial institutions focus on enhancing security, improving digital literacy, and bridging infrastructural gaps.

ST-KAN: Document Classification Using Sentence Transformer and the Kolmogorov-Arnold Network

Furkan Göz

The study introduces a novel approach to scientific document classification by integrating Sentence Transformer (ST) embeddings with the Kolmogorov-Arnold Network (KAN). Unlike Multi-layer Perceptron (MLP) with fixed activation functions, KAN utilizes learnable activation functions on edges. In this study, the arXiv Categories dataset is used for evaluation. The dataset contains titles, abstracts of documents, and category labels. The proposed method first merges the title and abstract into a single text representation. This representation is then converted into embeddings using the all-MiniLM-L6- v2 ST. Finally, KAN is applied as the classification model to learn from these embedding representations. Experiments are conducted on the main categories and subcategories to compare performance of ST-KAN against FastText-KAN, FastText-MLP, and ST-MLP. The results show that ST-KAN achieves better performance.

Cost-Effective Failure Mode Approach for User-Reported Faults Using LSTM and Word2Vec

Niyazi Furkan Bar, Aysegul Ucar and Mehmet Karakose

With the advancement of technology and industry, improving production efficiency and continuity has become both important and necessary. Today, while there are various maintenance methods for systems, predictive maintenance methods based primarily on sensor data are predominantly used. However, predictive maintenance methods are often not accessible for small and medium-sized enterprises and fail to consider user-reported problems. In this study, an LSTM-based approach is proposed to classify user-reported fault indications. The proposed approach incorporates noise reduction, balancing, and normalization processes to enable its application on datasets with insufficient and imbalanced data. Additionally, Word2Vec and GloVe methods, which possess higher generalization capabilities for limited datasets, are utilized in the classifier component. The proposed approach is trained on a dataset with a small sample size and imbalanced distribution. As a result, the performance of the proposed approach has been validated.

Cooperative Tracking Control of Multi-Agent Systems with Collision Avoidance

Marko Vuksanović, Božo Krstajić, Member, IEEE

This paper investigates the cooperative tracking control of a multi-agent system with collision avoidance. The main contribution is the design of a distributed control law incorporating a collision avoidance mechanism. The agents in the system are divided into leaders and followers. The leaders generate control inputs that enable the followers to track predefined setpoint trajectories while avoiding collisions. Simulation results validate the effectiveness of the proposed control law and demonstrate its advantages over other control approaches.

A CNN-Based Method Using Optimized Parameters for Dynamic Human Action Recognition

Muhammed Enes Ozel, Nafiye Nur Apaydin, Orhan Yaman, Mehmet Karakose

Classification of human action and anomaly detection are important for many areas such as smart cities and security. In the literature, applications are developed on real-time image streams taken from CCTV cameras. Analysis of camera records, classification of human movements and anomaly detection are the motivation of this study. In this study, KTH (Human Action Recognition) dataset is used. Videos in the dataset are divided into frames. There are 6 classes in total, namely Walking, Jogging, Running, Boxing, Hand waving and Hand clapping movements. Keyframes are extracted using 600 videos. A total of 18000 images are used, 3000 frames for each class. These images are collected from 4 different conditions. Labeled images are classified with CNN model. In the proposed CNN model, the parameters of Convolution, Pooling and other layers are optimized and a dynamic model is presented. 96% accuracy is calculated with the proposed CNN model and performance metrics are compared with the literature.

MLOps Tools for Deployment: A Case Study on Text Classification

Matea D. Lukić, Danica S. Ivković, Ana M. Poledica

This paper explores the integration of MLOps tools in the design and operationalization of machine learning pipelines for text classification. Focusing on a case study of web news classification, we examine the use of tools such as MLflow for experiment tracking, Docker for containerization, and Airflow for orchestration. The results reveal both promising advancements and significant limitations, underscoring the challenges of adopting DevOps practices in the rapidly evolving field of machine learning. Although the findings highlight the potential of MLOps to improve scalability and reproducibility, they also demonstrate that the domain is still in its early stages and requires further refinement.

OXIOM - Posting Invoices using the CatBoost Algorithm and Embedded Representations

Lucija Jovanović, Kosta Pavlović, Anđela Raičković, Dražen Raičković, Stevan Šandi

The employment of artificial intelligence (AI) opens up possibilities for the automation of many everyday tasks, including accounting. Proper data extraction, as well as accurate and fast posting of invoices, have become crucial in modern business. Manual invoice posting demands time and expertise, while AI automates patterns, freeing accountants for complex tasks. This paper presents classification models based on machine learning algorithms, which efficiently solve this problem. Special attention was paid to the CatBoost algorithm due to its ability to work with categorical data, while embedding models were used to represent some categorical features. The combination of quality data collection and preprocessing with application of appropriate machine learning algorithms and natural language processing (NLP) concepts resulted in a model with high accuracy.

Towards Robust Multi-Camera Object Tracking: A Framework for Global Coordination and ID Consistency

Eun Ho Kim, Yeong Gwang Choi, Young Hoon Suh, and Jae Wook Jeon

This study presents a structured framework for a scalable multi-camera tracking system based on ROS2, focusing on architectural design rather than experimental validation. The proposed system is designed to easily integrate different cameras and objects by utilizing the modular structure of ROS2 and can maintain reliable tracking performance even in complex environments. In particular, it adopts a global coordinate system transformation and an identity matching method based on the Hungarian algorithm to effectively maintain the consistency of identities between objects even in the presence of overlapping fields of view (FoV) and an increasing number of objects. This approach is shown to be an efficient and scalable solution for various multi-camera-based applications such as traffic monitoring, and autonomous driving.

Market Strategy for Enhancing the Profitability of Pumped-Storage Hydro Power Plants Using Photovoltaic Energy

Sara Aneva, Dragan Minovski, and Vasilija Sarac

This study examines the techno-economic implications of integrating the produced electricity from photovoltaic power plants (PVPP) with varying installed capacities to enhance the profitability of the planned pumped-storage hydro power plant (PSHPP) Tashmarunishta in North Macedonia. The analysis focuses on optimizing the PV power plant capacity to meet water-pumping demands and maximize the PSHPP's annual gross profit. Utilizing data from the PSHPP Tashmarunista's pre-investment study and hourly production data from simulations performed in PV*SOL premium, the research incorporates financial modeling based on HUPX hourly market prices for 2023, alongside sensitivity analyses for average electricity prices from 2016–2024. The results reveal that the PSHPP operates at a financial loss without the use of PV energy, while coupling with PV energy achieves positive annual gross profit. The findings underscore the technical and economic advantages of synergizing PSHPP's with photovoltaic power plants, demonstrating a scalable model for future energy integration strategies.

Distributed Guidance Law for Containment Maneuvering of Underactuated Surface Vehicles

Mitar Otašević, Luka Martinović, *Member, IEEE*, Žarko Zečević, *Member, IEEE*,

In this paper, we propose a distributed guidance method for the containment maneuvering of multiple under- actuated unmanned surface vehicles in the presence of ocean currents. In the proposed approach, consensus algorithms are first introduced to generate reference paths and synchronize the vehicles. Then, nonlinear surge and heading guidance laws are designed to ensure the convergence to the desired path and compensate for the sideslip effect. The effectiveness of the proposed approach is verified by numerical simulations.

Physical Layer Security in Wireless Networks – Concept, Performance and Perspectives

Vasilije Lutovac, Enis Kočan, Member, IEEE

Ensuring secure wireless communications is crucial, given their vulnerability to a wide range of risks and attacks. Physical Layer Security (PLS) techniques offer an excellent complement to traditional cryptographic algorithms, enhancing overall security. This paper provides a brief overview of the theoretical foundations of PLS techniques, and presents the basic concept. Three models are simulated and analyzed: a basic model and two cooperative models involving one and two jammers. The performance for these models, in terms of secrecy rate and bit error rate, are evaluated. Finally, the paper concludes with insights into potential applications and the future prospects of PLS techniques in modern wireless communication systems.

Spectral Analysis of Temporal Signals on DAGs Using Joint Time-Vertex Fourier Transform

Miloš Brajović, *Senior Member, IEEE*, Isidora Stanković, *Member, IEEE*, Miloš Daković, *Member, IEEE*
Ljubiša Stanković, *Fellow, IEEE*

In this paper, we introduce a framework that combines the Graph Fourier Transform (GFT) on Directed Acyclic Graphs (DAGs) with the Joint Time-Vertex Analysis. Our approach builds upon a recently developed zero-padding technique for DAG-based spectral analysis, enabling the application of time-vertex processing methods in such structures. We demonstrate the feasibility of this integration through illustrative examples. Future work will explore the broader implications of this methodology for scalable graph signal processing.

On the Applicability of Microservice Architecture in Geodetic Company

Novica Trifković, Ilija D. Antović

Geodesy provides essential geospatial and positioning data, but the vast amounts of raw data it generates require efficient processing, transformation, and interpretation for practical use. Traditional monolithic software architectures often struggle with scalability and adaptability in handling complex geospatial workflows. This research examines the applicability of microservice architecture for data processing in geodetic organizations. By exploring its benefits, this study contributes to the ongoing discourse on modern IT architectures in geodesy, offering insights into how microservices can enhance efficiency, scalability, and adaptability in geospatial data processing.

Advanced Data Storage Model with Blockchain Technology and Huffman Algorithm

Nida Canpolat, Hasan Yetis, Orhan Yaman and Mehmet Karakose

The secure storage and preservation of data is a very important issue. Different methods and studies have been presented for the secure storage of data. One of these methods is Blockchain based approaches. Blockchain technology continues to revolutionize various sectors by offering innovative solutions for reliable and distributed data management. Therefore in this study, an approach that aims to increase transaction efficiency and reduce storage costs in the Blockchain infrastructure is presented. Huffman coding, transaction clustering and PoW (Proof of Work) mechanism are integrated into the presented approach. The smart clustering algorithm we developed by taking into account transaction similarities compresses data with Huffman coding and includes compressed transactions in blocks. In addition the security of each block is ensured by using the PoW mechanism. The main contributions of our work include a dynamic clustering approach for transaction similarity analysis, the effectiveness of the on-chain data compression method and the performance evaluation of a Blockchain system integrated with PoW. In the experiments, it has been observed that the proposed system saves approximately 35% in storage costs compared to the traditional Blockchain structure and optimizes the transaction addition speed. This study provides an important step towards improving the efficiency and reliability of Blockchain technology from both theoretical and practical perspectives. The proposed approach provides an ideal solution for large-scale Blockchain applications and resource- constrained environments.

Application of Big Data in Pharma 4.0

Tatjana Stojadinović, Ilija D. Antović

The role of Big Data in this paper is illustrated through the application of the Pharma 4.0 model, which represents the automation of technological systems within the framework of Industry 4.0 concepts in the pharmaceutical field. This concept includes smart medicines, smart tests, smart medical devices, smart services, and more. As an example of best practices, the implementation of this model is demonstrated in the Medicines and Medical Devices Agency of Serbia (RS-ALIMS).

Real-Time Testing of Microgrid Control Algorithms: Development of Experimental Setup

Miodrag Forcan, Goran Dobrić, Amir Abed, Mileta Žarković, Marko Ikić, Jovana Forcan, Manuel Barragán-Villarejo, José María Maza-Ortega, Francisco de Paula García-López

This paper provides an overview of microgrid control strategies, examining differences between centralized and decentralized approaches, and focusing on classical hierarchical control schemes as well as the structure of three-layer microgrid control systems. It also explores Hardware-in-the-Loop modeling, a crucial approach for microgrid simulation, with particular emphasis on devices supporting microgrid modeling. The paper primarily focuses on the design and implementation requirements of an experimental setup for real-time testing of microgrid control algorithms. The setup incorporates Hardware-in-the-Loop device, a power amplifier, a power converter, a battery energy storage system, and a digital controller. It is specifically designed to handle both power and information (control) signals, facilitating a comprehensive approach to evaluating and validating microgrid control strategies in real-world conditions. A detailed analysis of the setup elements and their interactions is also provided.

A New Video Summarization Approach Using Object Density Based Image Similarity for Smart City Applications

Turan Goktug Altundogan, Mehmet Karakose, Member, IEEE, Fatih Mert

Summarization approaches are currently proposed solutions that focus on meaningfully reducing different types of data such as text, audio, and video. Many techniques such as machine learning, signal processing, image processing, computer vision, and deep learning can be used to develop summarization approaches. In this study, we performed object detection on videos that can be used in smart city applications using a pretrained YOLOv8 model. As a result of the object detection, we created a feature vector for each image frame by using the location information covered by the classes used in the object detection process. Then, we used several different approaches to determine the reference feature vector for the video. Finally, we calculated the cosine similarities of the feature vector for each frame to this reference feature vector using different methods. With the method we developed, we presented a similarity-focused summary created by selecting the video frames expressed with maximum similarity. We also developed an evaluation approach to evaluate the summaries we presented, comparing the overall heat maps of the video with the heat maps of the summary videos. Experimental results demonstrate the efficiency of our summarization approaches.

Improved Line-of-Sight Guidance Law for Path Following of Autonomous Underwater Vehicle with Compensation of Drift and Lift Forces

Lazar Ašanin, Luka Martinović, *Member, IEEE*, Žarko Zečević, *Member, IEEE*

This paper presents an improved line-of-sight guidance law for robust path following of autonomous underwater vehicles (AUVs) subjected to drift and lift forces induced by environmental disturbances. The proposed method compensates the sideslip angle and angle of attack by integrating a Kalman-like observer into the LOS framework, enabling accurate and fast estimation of these parameters. By leveraging these estimates, the AUV achieves convergence to the desired path while mitigating path following errors caused by drift and lift forces. Comprehensive simulation studies validate the effectiveness of the guidance law.

Comparative Analysis of Execution Time for Sequential and Data-Decomposed Parallel Program

Radovan Čikić, Miloš Milić, and Siniša Vlajić

When complex computing in programming is mandatory, it's important to choose a proper way to minimize execution time. Sequential and parallel approaches to source code execution each have their own pros and cons, and programmers must make valid decisions based on these factors. In this paper, we will conduct the comparative analysis of the performances of both approaching ways, and consider their application in different business and mathematics areas. Based on the experimental results, it was concluded that as the volume of the data processed by the program increases, parallel execution becomes more favorable, whereas sequential execution is more efficient for smaller data sizes. Additionally, the point at which sequential execution ceases to be more efficient was identified.

Is the Minimum or Maximum Value between DG-HC and EV-HC always the Combined HC?

Zenhom M. Zenhom, Tarek A. Boghdady, Essam El Din Abo El Zahab, Martin Čalasan, and Shady H. E. Abdel Aleem, Senior Member, IEEE

This paper explores the integration of electric vehicles (EVs) and renewable-based distributed generation (RDG) into distribution systems (DSs) as a strategy for sustainable development. This integration offers benefits such as reducing emissions and enhancing renewable energy use. However, improper integration can compromise the reliability of DSs, particularly due to issues like overvoltage, overload, and under voltage during peak demand. A key challenge for distribution network operators (DNOs) is determining the optimal hosting capacity for both DG and EVs, known as distributed generation hosting capacity (DG-HC) and electric vehicles hosting capacity (EV-HC), to prevent these technical issues. Recent studies have introduced the concept of "combined hosting capacity" (CHC), which addresses the simultaneous management of both RDG and EV demands. This paper aims to provide a precise definition of CHC, addressing whether the minimum or maximum values of DG-HC and EV-HC can determine it. A multi-objective optimization function is proposed to maximize both DG-HC and EV-HC, evaluated using three algorithms, with the Ant Lion Optimizer (ALO) performing best. The study examines two scenarios, setting DG and EV power outputs to either maximum or minimum values while considering three different time-varying load profiles to reflect real conditions.

Classrooms and Classes Scheduling Software at the University of Montenegro

Stefan Vujović, Miloš Daković, Aleksandar Popović, and Vladimir Božović

The paper presents software designed to manage classrooms and classes scheduling at the University of Montenegro. It describes the challenges university faces in its daily operations and introduces a custom system aimed at digitizing and streamlining the management of such complex processes. The presented system is fully compatible with existing university software used for maintaining records of courses, students, and teaching staff which is already in use.

Fish Image Instance Segmentation Using the Separation of the Mask Produced for Fish Size Measurement

Lysa V. Comia

In this article a novel approach for separation of fish image regions implementing instance coefficients and separating masks is proposed. After considering the instance-specific coefficients as well as the separate segmentation for later precise fish size measurements to get the best segmentation accuracy more precisely and reliably. The model was assessed on different types of datasets and showed a good performance and validity in fish dissection. The bounding box detection and the mask segmentation attained the mean Average Precision(mAP) of 91.17% and 96.45%, respectively. The outcome for each IOU threshold had the expected consistency, which proved the model's resistance to different orientations, backgrounds, and lighting conditions. Visual inspections which were conducted to determine whether the correct size measurements were properly extracted were helpful in validating the fish contour segmentation accuracy. This research reveals the prospects for the next level of segmentation in the marine biology and fishery science area. It is a robust measure in the field of precise fish size measurement from which the development of this field can be achieved in the future.

eLib: Learning Resource Center with Smartphone Mobile QR Scanner

Giovanni N. de los Santos, Lorna G. de los Santos, Jessie Richie N. de los Santos

This paper will introduce an online system innovation, the Learning Resource Center (LRC) with a Smartphone Mobile Quick Response (QR) Scanner, that would transform the Eastern Visayas State University Library's management of learning resources. The System Development Life Cycle was successively implemented with strict adherence to the Waterfall Model. The system's backbone is harnessed from the eLib application, generating unique QR codes attached to every book and other resources in the Learning Resource Center. The user scans the QR code using a smartphone and quickly displays the book title, date, and author in 3-5 seconds, for borrowing and returning each. In particular, the system's easy access via mobile and online empowers users to easily search, retrieve detailed information, check availability, and locate resources housed within the LRC. The eLib application excels in high-speed data processing, efficient inventory management, and report generation making it indispensable in running a modern library management system.

GEOGAS App: A Geo Routing LPG Delivery Service Application

Rico Jajeb Cabugatan, Cynthia Esponga, Marinel G. Giguracion, Mark Anthony Refuerzo, Jessie Richie
N. de los Santos, Giovanni N. de los Santos, Lorna G. de los Santos

The GEOGAS App is equipped with a web application and geolocation technology that enhances the effective and efficient delivery of Liquefied Petroleum Gas in the Municipality of Burauen, Leyte, Philippines. The system performs an intelligent decision support system utilizing route optimization algorithm of the customer's pinned location. The study utilized a quantitative descriptive research design to effectively and efficiently define the system framework. The system development utilized Agile SCRUM methodology in building the application prototypes to meet user and business requirements. The results of the study revealed that the system operates promptly and provides optimized and detailed geolocation maps of customer orders equipped with a route optimization track. The software quality evaluation using ISO 25010 attained a significant rating of 3.95, interpreted as Very Effective. The system has consistently surpassed user and business requirements on the different software quality standards. The robust development of the system is equipped with a secure database server and accessible online to all computing platforms. Unified feedback from IT experts, delivery staff, office staff, and the target customers expressed the useful features of the system.

Medical Implications of LLM Based Clinical Decision Support Systems in Healthcare

Cagatay Umut Ogdu, Selen Gurbuz, Mehmet Karakose, Eray Hanoglu

The development of large language models (LLMs) has also opened new horizons in the healthcare sector. In this study, the potential contributions of large language models to clinical decision support systems (CDSS) are presented in detail. The capabilities of these models, which can be used in critical tasks such as diagnosis, disease prediction and optimization of patient management processes, have been comprehensively analyzed. In the study, general purpose large language models (ChatGPT, Gemma, Meta Llama, Mixtral) and models developed specifically for the healthcare field (BioBART, GatorTron) have been comparatively examined. The performance of the models has been evaluated on the basis of criteria such as semantic similarity, disease prediction accuracy and generalization capacity; MedMCQA and PubMedQA datasets have been utilized in this process. The results clearly reveal the strengths and weaknesses of large language models in the healthcare sector and provide concrete suggestions for their more effective use in clinical applications.

IoT Technology Integration in Renewable Energy Systems

Gabrijela Dimić, Ljiljana Pecić

The impact of Internet of Things (IoT) technologies on a variety of areas and human endeavours is discussed in the article. The results of the investigation provided insight into the difficulties that arise when integrating IoT technologies into various ecosystems. The Internet of Things idea in relation to renewable energy sources is the main emphasis of the study. In order to improve efficiency, optimise production and distribution, and advance diagnostics and predictive maintenance, this research aims to highlight the critical role that IoT technologies play in upgrading renewable energy systems.

An Approach to Improving DSSS Modulation in Underwater Acoustic Communications Using Chaotic Signals

Luka Lazović, Jeffrey Neasham, Benjamin Sherlock, Ana Jovanović and Vesna Rubežić

This paper proposes a modulation scheme for QPSK Direct-Sequence Spread Spectrum (DSSS) modulation that utilizes chaotic signals as a spreading signal. Unlike traditional techniques that use pseudo-random noise (PN) sequences as spreading signals, this approach suggests the use of chaotic signals generated through the Logistic map. Conventional modulation techniques often face challenges related to spectral efficiency, noise robustness, and security. Chaotic modulation techniques that address these issues typically suffer from low data rates. By employing QPSK modulation, compared to previously used BPSK and DCSK modulation schemes, the data rate, channel capacity, and synchronization are improved. On the other hand, the use of chaotic signals enhances security, increases resistance to noise and multipath fading, reduces the probability of detection, and it is environmentally friendly.

To test the proposed solution, simulations were conducted in MATLAB. The simulation results show improvements and successful demodulation.

MesoNet-ViT: Meso Network and Vision Transformer for Deepfake Detection

Ismail Ilhan and Mehmet Karaköse

Social media tools using deep learning technology are used for entertainment, but they can also pose a danger with forgery outside of their purpose. New solutions and detection methods are still needed in the challenge against forgery. In this study, the proposed MesoNet-ViT method was used to classify fake and real images. MesoNet-ViT is a combination of the Meso and Vision Transformer (ViT) methods used in deepfake detection. In this hybrid architecture, the face region is extracted from the input file with the BlazeFace method and given as input to the classification module. Feature maps extracted from the face image with the Meso method are fed to the ViT model, which detects whether the video is fake or real. When the experiments are analyzed, our method has shown that it can compete with other methods with an ACC value of 96.2 on the DeepFake Detection Challenge (DFDC) dataset and an ACC value of 98.1 on the DF-TIMIT dataset.

LLM-Based Video Analytics Test Scenario Generation in Smart Cities

Merve Yilmazer, Mehmet Karakose Senior Member, IEEE

Rapid advances in the field of artificial intelligence have made significant contributions to the automation of software development and testing stages. Software created for use in various fields is tested with test scenarios created manually by software test experts or using test automation. Testing large-scale software with these methods complicates the testing phases because it requires increased human intervention and includes complex applications. In this study, an LLM-based scenario generation framework enhanced with prompt engineering is proposed for testing software to be used for video analysis in smart cities and smart campus areas. Thus, software test scenarios are created by strengthening large language models that are fast, flexible and have high learning ability using prompt engineering techniques. Test scenarios produced through LLM reinforced with prompt engineering techniques were evaluated with rarity and reality metrics and it was determined that more robust scenarios were produced compared to randomly generated test scenarios in the relevant field.

Qualitative Comparison of Vision and Vision-Language Models in Object Detection: Capabilities and Challenges

Branka Rakic, Igor Dejanovic

Advancements in deep learning and computer vision have greatly enhanced object detection, playing a vital role in applications such as autonomous driving and surveillance. This study explores the trade-offs between two distinct YOLO model architectures: the vision-only models, referred to as pre-YOLO-World, and a vision-language model known as YOLO-World. While the pre-YOLO-World models are renowned for their speed and accuracy, the YOLO-World model integrates large language models to enhance contextual comprehension, enabling open-vocabulary object detection. This paper provides a qualitative analysis of their strengths and limitations, focusing on speed, accuracy, adaptability, computational requirements, and application scenarios. By contrasting these architectures, we aim to offer insights into their potential roles in evolving object detection paradigms and to guide practitioners in selecting models suited to specific use cases.

Reinforcement Learning-Based ALOHA-Q Protocol with Slot Subdivision for Underwater Acoustic Sensor Networks

Aleksa Albijanic, Slavica Tomovic, Member, IEEE, Igor Radusinovic, Member, IEEE

This paper presents SS-ALOHA-Q, a Reinforcement Learning-based MAC protocol that builds upon slotted ALOHA by introducing slot subdivision to effectively mitigate the impact of large propagation delays in Underwater Acoustic Sensor Networks (UASNs). The protocol leverages reinforcement learning to dynamically optimize channel access, enabling adaptive scheduling and responsive decision-making in highly variable underwater environments. Performance evaluation was conducted using the DESERT simulator, where a Hidden Markov Model (HMM) was employed to model underwater acoustic channel dynamics. Comparative analysis against benchmark MAC protocols demonstrates that SS-UW-ALOHA-Q significantly improves channel utilization while maintaining energy efficiency, demonstrating its potential for robust and efficient UASN operations.

Cooperative Vector Field-Based Synchronized Path Following for Underactuated USVs

Luka Martinović, Žarko Zečević, Marco Bibuli, Massimo Caccia

This paper addresses the synchronized path following problem for multiple underactuated unmanned surface vehicles (USVs). A cooperative vector field-based guidance strategy is designed to ensure that all USVs follow predefined paths while maintaining coordination. To account for external disturbances, a time-varying linear observer is introduced to estimate the unknown sideslip angle, eliminating the need for expensive sensors and enhancing practical applicability. Additionally, a distributed synchronization mechanism is incorporated to enforce coordination among the USVs. The effectiveness of the proposed method is validated through numerical simulations, demonstrating its capability to achieve accurate path following and maintain coordinated movement.

Developing a Domain-Specific Language for Cognitive Tests Using TextX

Igor Dejanović and Mirjana Dejanović

Domain-specific languages (DSLs) enable researchers and practitioners to work at a higher level of abstraction, leveraging domain-specific concepts to improve efficiency, readability, and maintainability. textX, a meta-language and tool for DSL development, simplifies the creation of such languages by providing an intuitive and flexible framework. In this paper, we showcase the power of textX through the development of PyFlies, a DSL designed for specifying cognitive experiments. PyFlies streamlines experiment design by offering a concise, human-readable syntax that eliminates the complexities of general-purpose programming. Using the Mental Rotation Test as a case study, we demonstrate how PyFlies enhances productivity and reproducibility by automatically generating executable experiments for platforms like PsychoPy. Our results highlight the advantages of textX and DSLs in reducing development effort while making experiment design more accessible to researchers with limited programming expertise.

A Trustworthy Analysis Approach for Chatbots on Health Data: ChatGPT-4 Example

Kübra ARSLANOĞLU, Mehmet KARAKÖSE, Senior Member

Considering the increasing and widespread use of chatbots, it is of great importance to provide methods and tools to address ethical concerns and to make users aware of various aspects of a chatbot, including non-functional features. The Generative Pre-Trained Transformer (GPT) is a state-of-the-art Natural Language Generation (NLG) model, enhanced by the latest version of GPT-4. This study evaluates the trustworthiness of the responses of three different chatbot models, BlenderBot with Hugging Face, ChatGPT-3.5 and ChatGPT-4, to 100 randomly selected medical questions. The accuracy and semantic similarity of the answers were measured by BLEU, ROUGE-1 and Cosine Similarity metrics, and response times were also recorded as an important performance factor. The results showed that GPT-4 exhibited superior performance, thus being able to produce more accurate and contextually reliable responses. However, the significantly longer response time of GPT-4 emerged as a disadvantage that may affect real-time utilisation. These findings provide an important reference for the effective use of GPT-4 in the context of health chatbots. The study contributes to the literature on improving the effectiveness of chatbots in healthcare by drawing attention to the importance of balancing speed, accuracy and trustworthiness, as well as the fact that the answers obtained are drawn with Application Programming Interface (API).

Med-VQA: Performance Analysis of Question-Answering Systems on Medical Images

Z. Karaca, I. Aydin

This study explores multimodal fusion methods and deep learning architectures for visual question answering (VQA) systems in the healthcare domain. ResNet50, DenseNet, LSTM, and BiLSTM models were evaluated for image feature extraction and text-based question processing, along with their integration into architectures enhanced by attention mechanisms. The ResNet50+DenseNet+LSTM model achieved the highest accuracy of 74.90% on the VQA-RAD dataset. Models such as ResNet50+DenseNet+BiLSTM and ResNet50+DenseNet+BiLSTM+Attention demonstrated strong performance with an accuracy of 72.80%, whereas the ResNet50+DenseNet+LSTM+Attention model showed comparatively lower performance. The results highlight the effectiveness of deep learning-based models, particularly in contextual information extraction and multimodal data fusion. This study underscores the significance of leveraging deep learning architectures in VQA systems to generate accurate and context-aware responses, especially in critical domains like healthcare.