

ITe@it 2025

XVII međunarodni naučno-stručni skup
Informacione tehnologije za e-obrazovanje

ZBORNİK RADOVA PROCEEDINGS

26-27. 9. 2025.

Banja Luka

POKROVITELJI KONFERENCIJE
AKADEMIJA NAUKA I UMJETNOSTI REPUBLIKE SRPSKE
Agencija za informaciono-komunikacione tehnologije Republike Srpske

XVII međunaroni naučno-stručni skup
Informacione tehnologije za e-obrazovanje

ITeO

ZBORNİK RADOVA
PROCEEDINGS

UREDNICI

DALIBOR P. Drljača

DRAŽEN Marinković

SINIŠA Tomić

POKROVITELJI KONFERENCIJE:

Agencija za informaciono-komunikacione tehnologije Republike Srpske
Akademija nauka i umjetnosti Republike Srpske

26 – 27. 9. 2025.

Banja Luka

XVII međunarodni naučno-stručni skup Informacione tehnologije za e-obrazovanje

ZBORNİK RADOVA

Urednici:

Doc. dr Dalibor P. Drljača
Doc. dr Dražen Marinković
Prof. dr Siniša Tomić

Izdavač:

Panevropski univerzitet "APEIRON", Banja Luka, godina 2025.

Odgovorno lice izdavača:

DARKO Uremović

Glavni i odgovorni urednik izdavača:

Prof. dr ALEKSANDRA Vidović

Tehnički urednik:

SRETKO Bojić

Štampa:

CD izdanje

Tiraž:

200 primjeraka

EDICIJA:

Informacione tehnologije - **Information technologies**
Knjiga br. 41

ISBN 978-99976-87-58-6

Radove ili dijelove radova objavljene u Zborniku radova nije dozvoljeno prešampavati, bez izričite saglasnosti Uredništva. Stavovi i ocjene iznesene u radovima i dijelovima radova lični su stavovi autora i ne izražavaju uvijek i stavove Uredništva ili Izdavača.

ORGANIZACIONI ODBOR

Doc. dr Dražen Marinković, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka, BiH, predsjednik*
Prof. dr Siniša Tomić, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka*
Boris A. Kovačić, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka, BiH*
Sretko Bojić, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka, BiH, tehnički urednik*
Marko Milovanović, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka*
Hana Kunić, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka, BiH, PR konferencije*
Radovan Vučenović, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka, BiH*
Stana Mišić, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka, BiH, logistika*

POČASNI ODBOR

Akademik prof. dr Rajko Kuzmanović, *Akademija nauka i umjetnosti Republike Srpske*
Akademik prof. dr Dragoljub Mirjanić, *Akademija nauka i umjetnosti Republike Srpske*
Akademik prof. dr Dušan Starčević, *Akademija inženjerskih nauka Srbije*
Akademik prof. dr Zoran Ž. Avramović, *Akademija inženjerskih nauka Srbije*
Prof. dr Gordana Radić, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka*
Darko Uremović, *predsjednik Upravnog odbora Panevropskog univerziteta APEIRON*
Doc. dr Siniša Aleksić, *direktor Panevropskog univerziteta APEIRON*

NAUČNI ODBOR

Doc. dr Dalibor P. Drljača, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka, predsjednik*
Prof. dr Negovan Stamenković, *Univerzitet u Prištini, Srbija*
Prof. dr Ouajdi Corbaa, *Univesity of Sousse, Tunisia*
Prof. dr Ahmed Maalel, *Univesity of Sousse, Tunisia*
Prof. dr Branko Latinović, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka*
Prof. dr Siniša Tomić, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka*
Prof. dr Goran Đukanović, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka*

RECEZENTSKI ODBOR

Prof. dr Goran Đukanović, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka, predsjednik*
Doc. dr Tijana Talić, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka*
Prof. dr Željko Stanković, *Univerzitet UNION Nikola Tesla, Srbija*

SADRŽAJ:

RAZVOJ ALGORITAMA ZA PREPOZNAVANJE LICA U MATLAB OKRUŽENJU	7
Tijana Talić, Milija Pavlović, Goran Keković, Negovan Stamenković	
DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR FACE RECOGNITION IN THE MATLAB ENVIRONMENT	
RIZICI PO MENTALNO ZDRAVLJE STRUČNJAKA U OBLASTI IKT	8
Nera Živlak-Radulović	
RISKS TO THE MENTAL HEALTH OF ICT PROFESSIONALS	
DETEKCIJA PROMETNIH ZNAKOVA TEHNOLOGIJOM DUBOKOG UČENJA ZA AUTOMATIZIRANU VOŽNJU	10
Boris Borovčanin, Samed Jukić	
DEEP LEARNING ROAD SIGN DETECTION FOR AUTOMATED DRIVING	
PRIMJENA VJEŠTAČKE INTELIGENCIJE U UPRAVLJANJU VAZDUŠNIM SAOBRAĆAJEM OD TRADICIONALNIH METODA DO PREDIKTIVNIH MODELA	17
Pero Ranilović, Željko Stanković, Dražen Marinković	
APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AIR TRAFFIC MANAGEMENT FROM TRADITIONAL METHODS TO PREDICTIVE MODELS	
MOGUĆNOSTI NAVIGACIJE U ZATVORENIM PROSTORIMA I U VANJSKIM PODRUČJIMA BEZ SIGNALA	27
Aleksa Marčeta, Milan Panić	
NAVIGATION POSSIBILITIES IN CLOSED SPACES AND IN OUTDOOR AREAS WITHOUT SIGNAL	
WAL (WRITE-AHEAD LOG) KAO OSNOVA POUZDANOSTI ZA BAZE PODATAKA I DISTRIBUIRANE SISTEME	35
Dragana Stevanović, Dražen Marinković	
WAL (Write-Ahead Log) AS A BASIS OF RELIABILITY FOR DATABASES AND DISTRIBUTED SYSTEMS	
IMPLEMENTACIJA MESHTASTIC GATEWAY SISTEMA SA LOKALNOM BAZOM PODATAKA ZA IOT PRIMJENE	51
Daniel Meničanin, Jelena Radanović, Dražen Marinković	
IMPLEMENTATION OF MESHTASTIC GATEWAY SYSTEM WITH LOCAL DATABASE FOR IoT APPLICATIONS	
KONFIGURACIJA IPSEC VPN TUNELA NA FORTIGATE I POREĐENJE SA MIKROTIK UREĐAJEM	60
Milan Panić, Aleksa Marčeta, Dražen Marinković, Nemanja Maček	
CONFIGURATION OF IPSEC VPN TUNNEL ON FORTIGATE AND COMPARISON WITH MIKROTIK DEVICE	
KRIPTOANALIZA S-DES SAJBER SISTEMA	67
DraganaBožilović Đokić, Vladimir Đokić, Lazar Stošić, Željko Stanković, Olja Krčadinac	
CRYPTOANALYSIS OF THE S - DES CYBERSYSTEM	
TRENTUTNI PRETNJE OD MALICIOZNIH SOFTVERA I INTERNET NAPADA	77
Boris Kovačić, Gordan Bajić	
CURRENT THREATS FROM MALICIOUS SOFTWARE AND INTERNET ATTACKS	
OPTIMIZACIJA ČIŠĆENJA I PREDOBRADJE PODATAKA PAMETNOG DOMA POMOĆU PYTHON-A	90
Ana Đokić, Dragana Dudić, Hana Stefanović, Olja Krčadinac, Željko Stanković	
OPTIMIZING SMART HOME DATA CLEANING AND PREPROCESSING VIA PYTHON	

ULAGANJE U MULTIFUNKCIONALNU SOFISTICIRANU PLATFORMU – STUDIJA SLUČAJA PROJEKTA E-UČENJE	98
Sanja Dalton, Jefto Džino INVESTMENT IN A MULTIFUNCTIONAL SOPHISTICATED PLATFORM - A CASE STUDY OF THE E-LEARNING PROJECT	
AI ASISTENTI KAO PODRŠKA NASTAVNICIMA	109
Aleksandra Ivanov, Jasmina Aleksić, Lazar Stošić, Olja Krčadinac, Željko Stanković Zoran Ž. Avramović AI ASSISTANTS AS SUPPORT TO TEACHERS	
KAKO ĆE VJEŠTAČKA INTELIGENCIJA PROMIJENITI OBRAZOVANJE U NAREDNIM 10 GODINA	116
Jovo Marković, Igor Dugonjić, Ružica Đervida, Mirko Sajić HOW WILL ARTIFICIAL INTELLIGENCE CHANGE EDUCATION IN THE NEXT 10 YEARS	
MODEL UNAPREĐENJA LOOMEN SISTEMA ZA UČENJE NA DALJINU.....	121
Karlo Čuković, Tkalčec, Dalibor P. Drljača MODEL TO IMPROVE DISTANCE LEARNING SYSTEM LOOMEN	
IZRADA SOFTVERSKOG RJEŠENJA ZA EVIDENCIJU I UPRAVLJANJE PODACIMA U DJEČIJEM VRTIČU	131
Milijana Čuturilo, Dalibor P. Drljača DEVELOPMENT OF A SOFTWARE SOLUTION FOR RECORDING AND DATA MANAGEMENT IN A KINDERGARTEN	
PAMETNA FITNESS OPREMA POKRETANA VJEŠTAČKOM INTELIGENTNOM.....	143
Vesna Radojčić, Milos Dobrojević AI-POWERED SMART FITNESS EQUIPMENT	
PRAVCI RAZVOJA PAMETNIH GRADOVA	150
Boris R. Mikanović DEVELOPMENT DIRECTIONS OF SMART CITIES	

PLENARNA PREDAVANJA



XVII međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2025

Banja Luka, 26 - 27. 9. 2025. godine



RAZVOJ ALGORITAMA ZA PREPOZNAVANJE LICA U MATLAB OKRUŽENJU

Tijana Talić

Fakultet informacionih tehnologija, Panevropski Univerzitet Apeiron, Banja Luka

Milija Pavlović

Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Prištini – Kosovska Mitrovica

Goran Keković

Alfa BK Univerzitet, Beograd

Negovan Stamenković

Fakultet informacionih tehnologija, Panevropski Univerzitet Apeiron, Banja Luka

Sažetak: Prepoznavanje ljudskog lica pomoću računara i veštačke inteligencije predstavlja značajan izazov u oblasti kompjuterske vizije i biometrijske identifikacije. U ovom radu razvijen je softverski model u MATLAB okruženju koji kombinuje više metoda prepoznavanja: Karhunen–Loeve transformaciju, metodu unutrašnjih prostora i izračunavanje rastojanja između vektora. Softver je testiran na bazama crno-bijelih (.bmp) i kolor (.jpg) fotografija, prikupljenih samostalnim snimanjem i iz javno dostupnih izvora. Fotografski materijal je organizovan u baze za pripremu i testiranje, sa različitim facijalnim ekspresijama i položajima glave. Rezultati pokazuju da MATLAB okruženje omogućava efikasnu implementaciju i testiranje algoritama, pri čemu su metode pokazale sposobnost identifikacije željenih osoba uz različiti stepen tačnosti. Analiziran je uticaj formata slike, kvaliteta i broja fotografija na verovatnoću prepoznavanja, čime je postavljena osnova za dalja istraživanja i unapređenje razvijenog softverskog rešenja.

DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR FACE RECOGNITION IN THE MATLAB ENVIRONMENT

Abstract: Human face recognition using computers and artificial intelligence represents a significant challenge in the field of computer vision and biometric identification. In this paper, a software model was developed in the MATLAB environment that combines several recognition methods: Karhunen–Loeve transformation, the method of internal spaces and calculation of the distance between vectors. The software was tested on the bases of black-and-white (.bmp) and color (.jpg) photographs, collected by independent recording and from publicly available sources. The photographic material is organized into bases for preparation and testing, with different facial expressions and head positions. The results show that the MATLAB environment enables efficient implementation and testing of algorithms, whereby the methods showed the ability to identify the desired persons with varying degrees of accuracy. The influence of the image format, quality and number of photos on the probability of recognition was analyzed, which laid the basis for further research and improvement of the developed software solution.



XVII međunarodni naučno-stručni skup
 Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
 ITeO 2025

Banja Luka, 26 - 27. 9. 2025. godine



RIZICI PO MENTALNO ZDRAVLJE STRUČNJAKA U OBLASTI IKT

Nera Zivlak-Radulović

UKC Republike Srpske

Sažetak: *Kompjuteri, videoigre i internet su postali dio naše svakodnevnice i ne koriste se samo na poslu već su glavni izvor zabave, razonode i druženja. Za zaposlene u informacionim tehnologijama teško je napraviti razliku između posla i svakodnevnice. Cilj rada je povećati znanje i razumjevanje mogućeg negativnog uticaja interneta uz davanje smjernica za identifikaciju i podršku osobama koje su razvile sindrom zavisnosti. Do sada ova zavisnost nije stavljena u dijagnostički klasifikacioni sistem iako su poznati simptomi koji odlikuju ovu zavisnost: tolerancija, apstinencijalni sindrom, stalna želja ili bezuspješni napor da se prekine sa upotrebom ili kontrolisano koristi internet, pristup internetu češće ili vremenski duže nego što je to neophodno bez obzira na saznanje da postoje stalni ili povremeni psihološki, socijalni, profesionalni i tjelesni problemi koji su uzrokovani ili pogoršani korištenjem interneta. Liječenje se sprovodi u zdravstvenom sistemu kroz kognitivnobihejvioralnu, porodičnu psihoterapiju i farmakoterapiju. Kognitivno bihejvioralna psihoterapija služi uspostavljanju kontrole nad ponašanjem a farmakoterapija se daje u slučaju posljedica na psihološkom planu. Internet ima svoje pozitivne strane jer predstavlja izvor značajnih informacija ali takođe može imati i brojne negativne uticaje na osobu. Kod zaposlenih u informacionim tehnologijama može postojati rizik za razvoj zavisnosti zbog same prirode posla i zato je bitno preventivno djelovati u ovoj oblasti.*

RISKS TO THE MENTAL HEALTH OF ICT PROFESSIONALS

Abstract: *Computers, video games and the Internet have become part of our everyday life and are not only used at work, but are the main source of entertainment, leisure and socializing. For IT employees, it is difficult to differentiate between work and everyday life. The goal of the paper is to increase knowledge and understanding of the possible negative impact of the Internet while providing guidelines for identification and support for people who have developed an addiction syndrome. Until now, this addiction has not been included in the diagnostic classification system, although the symptoms that characterize this addiction are known: tolerance, abstinence syndrome, a constant desire or unsuccessful effort to stop using or use the Internet in a controlled manner, access to the Internet more often or for a longer time than is necessary, regardless of the knowledge that there are permanent or occasional psychological, social, professional and physical problems that are caused or aggravated by the use of the Internet. Treatment is carried out in the health system through cognitive-behavioral, family psychotherapy and pharmacotherapy. Cognitive-behavioral psychotherapy serves to establish control over behavior, and pharmacotherapy is given in case of psychological consequences. The Internet has its positive sides because it is a source of significant information, but it can also have numerous negative effects on a person. There can be a risk of developing addiction due to the very nature of the work among employees in information technology, and that is why it is important to act preventively in this area.*

PRIHVAĆENI RADOVI



XVII međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2025

Banja Luka, 26 - 27. 9. 2025. godine



DETEKCIJA PROMETNIH ZNAKOVA TEHNOLOGIJOM DUBOKOG UČENJA ZA AUTOMATIZIRANU VOŽNJU

Boris Borovčanin

Department of Information Technologies, Faculty of Engineering, Natural and Medical Sciences, International Burch University, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, boris.borovcanin@stu.ibu.edu.ba,

Samed Jukić

Department of Information Technologies, Faculty of Engineering, Natural and Medical Sciences, International Burch University, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, samed.jukic@ibu.edu.ba,

Sažetak: Uzimajući u obzir utvrđenu relevantnost za skup podataka GTSRB[4], predložena studija istražiti će pouzdanost konvolucijskih neuronskih mreža (CNN) za identifikaciju prometnih znakova. S obzirom na to, korištene su razne metode predobrade, uključujući promjenu veličine slike i proširenje podataka, kao i normalizaciju podataka. U raznim klasama prometnih znakova, CNN model se pokazao fleksibilnim na nepovoljne uvjete, pružajući iznimne rezultate u usporedbi s kriterijima performansi utvrđenim tijekom faza testiranja i procjene. Rezultati gotovo svake klase dobili su ocjenu točnosti od 99%. Međutim, nekoliko klasa zabilježilo je pad metrike performansi zbog pogrešno protumačenih i netočno prikazanih značajki. Rezultati iz praktički svake klase pokazali su stopu točnosti od 99%. Međutim, metrike performansi za nekonzistentnu kontradikciju značajki i vizualizaciju također se smanjuju u nekoliko klasa. CNN model postao je jedan od najpouzdanijih modela u području prepoznavanja prometnih znakova i pokazao je važnost vremenske faze predobrade. Međutim, buduće implikacije moraju se uzeti u obzir kako bi se ostvario puni potencijal modela. Uključivanje varijacija iz stvarnog svijeta u skup podataka jedan je od najznačajnijih doprinosa za budućnost. Istraživanje uvjeta osvjjetljenja i vremenskih uvjeta bit će ključno kada je u pitanju okluzija.

Ključne riječi: prepoznavanje prometnih znakova, strojno učenje, konvolucijske neuronske mreže, ADAS

DEEP LEARNING ROAD SIGN DETECTION FOR AUTOMATED DRIVING

Abstract: Taking into account established relevance to the GTSRB[4] dataset, the proposing study is going to investigate the reliability of convolutional neural networks (CNN) for identifying road signs. Given that, a variety of preprocessing methods have been used, including image resizing and data augmentation, as well as data normalization. Throughout a variety of traffic sign classes, the CNN model has proven to be flexible to adverse conditions, delivering exceptional results when compared to the performance criteria established during the testing and assessment phases. Almost each class's results have received a 99% accuracy rating. However, several classes have seen a decline in performance metrics due to misinterpreted and incorrectly represented features. Results from practically every class have shown a 99% accuracy rate. The performance metrics for inconsistent feature contradiction and visualization, however, are also decreasing in several classes. The CNN model has become one of the most reliable models in the field of traffic sign recognition, and it has demonstrated the significance of the preprocessing time phase. However future implications have to be considered in order to accomplish the full potential of the model. Incorporating real-world variation into the dataset is one of the most significant contributions for the future. Investigating lighting and weather conditions will be crucial when it comes to occlusion.

Keywords: road sign recognition, machine learning, convolutional neural networks, adas

1. INTRODUCTION

Road sign recognition represents one of the most important elements of the Intelligent Transportation Systems, whose primary aim is to enhance proper functioning of digital components in the field of implementation of traffic regulations. One of the most important examples of the corresponding regulations are signs related to the speed limits, as well as navigation commands and hazard warnings. Taking it into consideration it is important to emphasize that road sign recognition as an important part of driver assistance systems evaluates important traffic related aspects including management of traffic flow, efficiency of the traffic flow as well as process of adherence of law regulations and road safety on its own. In the Advanced Driver-Assistance System (ADAS)[1], the process of reducing human errors related to the misinterpretation of important signals is primarily enhanced by the recognition of road signs in real time. Perception systems in the autonomous vehicles as an crucial element of the road sign recognition enable safe navigation through the complex environments. In the ADAS concept, topics related to public safety are the subject of discussion, since there is a global trend of enhancing the more extensive adoption of more complex autonomous driving technologies. In the corresponding project there is evident utilization of CNNs [2], taking into consideration that this sort of deep learning model is the most suitable for extracting spatial data, while at the same time making them ideal for solving classification problems, with the main focus on image classification. In order to address the problem of misclassification, CNN model has been trained on GTSRB dataset for the purpose of ensuring efficient real-time road sign recognition, measured using performance metrics. There is possible decline in the performance efficiency of the model as a consequence of the data preprocessing and optimization of the pipeline. The proposed paper will attempt to enhance the reliability of sign detection systems while providing a comprehensive structure of research in the field of neural networks and deep learning. The main focus of research will be on stages such as data preprocessing, as well as training and evaluation of the model. The theoretical background of the corresponding research is going to be more deeply evaluated in the following sections reflecting contributions and limitations of proposed research.

2. LITERATURE REVIEW

The context of the literature review sections in the field of sign detection takes into consideration a wide range of approaches that are corresponding to the topic of this research. Different methodologies related to the recognition, accuracy, and reliability issues in the real time are going to be interpreted while evaluating the contribution of the proposed research. Investigations in the following discussion consist of both deep learning models as well as traditional approaches to machine learning. The following research papers are related to my investigation in the field of effectiveness and precision of machine learning models for improving road sign identification. In accordance with **Zhang, Y., et al. (2023)**[3], it is crucial to emphasize that the aim of the proposed study is to assess performance, while addressing problems pertaining to real-time road sign detection. Methodologies in this investigation are focused on developing the concept of transferring knowledge, which was a critical component associated with evaluation of **GTSRB**[4]. CNN model has achieved an accuracy rate of 98.9%, according to the results, which indicates a significantly lower computational cost. Regarding the application of **Zhang, Y., et al. (2023)**[3] to this investigation, it could provide scientific evidence for effectiveness of CNNs in the field of road sign recognition while supporting the idea of developing precise and

secure models. The primary focus of **Chen, H., et al. (2022)[5]** is on YOLO models development, associated with road sign identification in complex unsupervised environments. The YOLOv4 modified model takes this into account and highlights the pyramid networks method as a significant component that improves detection effectiveness in low light conditions. The results have demonstrated improvements in precision and recall, in addition to more difficult circumstances, the accuracy rate reached 95%. This could be beneficial for my research on how to optimize YOLO for challenging scenarios.

The development of attention models to improve more effective optimization and acquisition in the field of traffic sign recognition models is the main concept for **Sharma, R., et al. (2020)[6]**. An enhanced approach of self-attention in accordance with CNN architecture has been used to accomplish this objective. The results demonstrated a high percentage of F1 score of 97.8%, indicating an increase in detection accuracy in the field of small and partially misinterpreted signals. The alignment is highlighted in the area of enhancing reliability while establishing attention mechanisms into place, taking into account the objective of this research and the concept of **Sharma, R., et al. (2020)[6]**. According to **Stallkamp, J., et al. (2012)[7]**, there has been a prominent difference between the deep learning models and the conventionally based methods, such as SVMs and K-NN, for the purposes of analysis in this specific research. CNNs are the most appropriate method for handling this sort of data, according to the results, since CNN's accuracy on this specific dataset was 99.46%. The approach incorporates the assessment of road sign recognition systems according to ADAS, alongside corresponding research. In order to achieve reliable multi-class traffic sign identification, **Cireşan, D., et al. (2012)[8]** focused on monitoring and proving the effectiveness of deep neural networks. It is crucial to highlight in the context of the techniques employed that this strategy integrates deep neural networks to the **GTSRB[4]**. According to the data, the accuracy rate was 99.46%, highlighting the distinction from the previous approaches. In order to accomplish a high accuracy rate, it is crucial to consider that the methodology of **Cireşan, D., et al. (2012)[8]** is consistent with this research in the field of deep neural network implementation. In light of the previously reviewed literature and the resources I have used, the research hypothesis will be stated as follows: “The Convolutional Neural Networks (machine learning) model can efficiently recognize road signs in real-time, for the purpose of autonomous and safe driving development .” Such a methodology is most appropriate, since the experimental design controls for the ability of the model to recognize signs effectively in real time conditions.

3. METHODS AND MATERIALS

Taking into consideration the dataset that is planned to be used in this project, **GTSRB[4]** has been chosen. This dataset includes 50000 images, traffic signs and its representation which has been organized in 43 categories. The metadata in each image is arranged in columns. The quality of the resolution of the images in the dataset will differ according to the circumstances and conditions under which images were taken. Road sign detection represents the most important area of ADAS[1] and intelligent transportation systems. The primary objective of CNNs[2], which are founded on the concepts of feature extraction, pattern recognition, and picture classification, is to decrease the amount of manual feature engineering. Because these techniques utilize convolutional layers to create spatial hierarchies, they are optimal for classifying image data. The exceptional efficiency of this collection of algorithms is a result of its architecture, which is focused on identifying the organizational structure of images. The focus is going to be on experimental methodology where the model will be evaluated on a

benchmark dataset, in relation to the **GTSRB[4]**. The research design is structured as follows: Exploratory Design phase is mainly focused on the review of the **GTSRB[4]** dataset, primarily focusing on the characteristics including class distribution as well as quality of images. Experimental Design phase involves the process of training and testing CNN model relating to the preprocessed data. The main subject of this type of design includes learning rate optimization, batch size, as well as the optimizers on their own, for the purpose of elevating proposed outcomes. Quantitative analysis includes the capability of the model to effectively recognize traffic signs that will be evaluated using the following performance metrics: accuracy, precision, recall as well as F1 Score.



Figure 1. Stages of the research process

Data preprocessing stage involves preprocessing of the images contained in the highlighted dataset, considering the process of resizing to the dimension of 32x32 pixels, including the pixel value normalization as well as encoding labels for the purpose of multi-classification. For the purpose of evaluating performance of the CNN model in real time, the proposed dataset has been divided into two subsets, including training and testing subset in the ratio 80:20. In the field of classification of traffic signs, convolutional, pooling and dense layers optimization has been completed.

4. RESULTS

This method ensures precision and enables the management of variables such as sign recognition, type of signs and on the other side the setup of a model. Accuracy indicates the contribution of a model to positive road sign identification in the relation to the overall predictions by a model, reflecting its efficiency. Precision represents the percentage of road signs that have been correctly identified. Recall indicates capability of model reflecting how many existing traffic signs were positively detected. F1-Score indicates the relation between precision and recall in the field of reliability of the model. When it comes to the data collection method, data that have been part of manipulation and the analysis process are classified as the secondary data. The experiment will be applied in a controlled environment which involves the computer-based condition. In the field of this research, independent variable refers to the type of selected model. Metrics used to determine performance of specific models are represented as dependent variables. Taking into account the experimental design, this method mostly fits with classification of quasi-experimental designs alongside with quantitative analysis. The reasons are that datasets are evaluated in the environment which was not controlled in real-time, while evaluating performance results.

In the following part the results related to training and examination of the **GTSRB[4]** dataset are going to be presented and evaluated. The classification report clearly indicates that CNN model performs well in the field of precision, recall and F1 Scores. Taking into consideration Class 1 and Class 2 where results indicated 1.00 for all performance metrics. Marginal declines are present in Class 29 and Class 5 where a challenging aspect was misclassification of road signs that have been sharing similar attributes. The report indicates a comprehensive performance

assessment of the CNN in recognizing traffic signs, where each Class ID is used to represent a unique category of road sign within the GTSRB dataset. For instance, Class 1 stands for the speed limit (30 km/h), Class 2 for the speed limit (50 km/h), Class 13 for yield, Class 14 for a stop sign, and similar. The CNN model had an outstanding performance, with accuracy rates around 1.00 for almost each class. Furthermore the precision, recall, and F1-score were relatively high, proposing consistency. Results have shown all metrics effective classification (1.00) for multiple classes including Class 1, 2, 10, 12, 13, and 16, demonstrating perfectly classified traffic signs. A few declines in performance were noticed in classes including Class 5 and Class 29 where the F1-scores have marginally fallen (0.98). The main reason was close visual comparison resulting in unidentified classification. The average accuracy was approximately 98.7%.

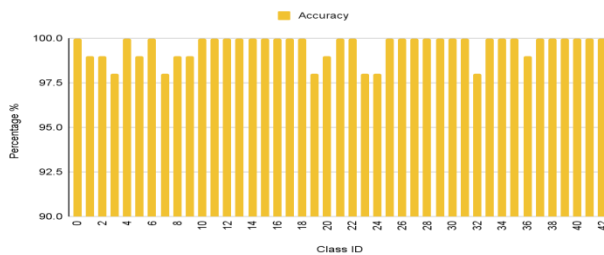


Figure 2. Accuracy scores for road sign recognition by class

Gives an accuracy score for each individual class of road sign, which demonstrates the extent to which the model accurately identified signs over road sign types. Many of the classes had extremely high accuracy, frequently 100% or very close, indicating reliability of the model.

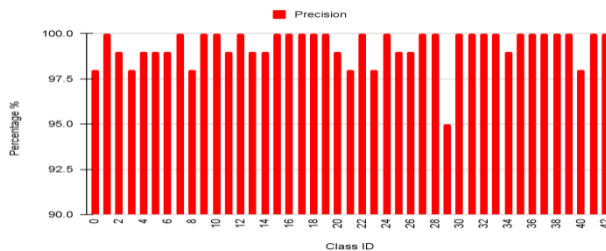


Figure 3. Precision scores for road sign recognition by class

Shows precision scores on each road sign class indicating the accuracy of the model to predict each class without false positives. The vast majority are precise to almost 100% indicating the model was capable of avoiding misinterpretation of different signs as the particular class being considered.



Figure 4. Recall scores for road sign recognition by class

Shows recall scores for each class of road sign and the extent to which the model was able to correctly classify all relevant instances. Recall is high across all signs, therefore the model was not often missing any correct signs for a class. The small drops in recall for a few classes suggest difficulties to detect signs with similar shape.

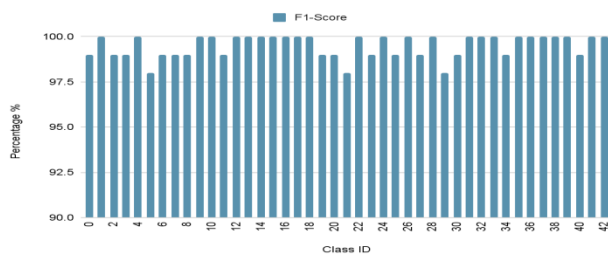


Figure 5. F1-scores for road sign recognition by class

Shows the F1-scores for each road sign class, which reflects the trade-off of precision and recall. The consistent high F1-scores for each class shows that the model is reliably detecting and correctly identifying each sign type. Since results reveal the significance of establishing preprocessing techniques, **analysis** can suggest there is evident contribution to advancement in performance of the model among different classes. Evidence shows difficulties in classification of similar signs indicating recall decline for the Class 5. On the other hand, low precision for the Class 29 illustrates inaccurate visualization and contradiction of features in relation to other classes. Outlined **challenges** highlight requirements for diversification.

5. DISCUSSION

The reviewed studies together indicate a tendency of evolving road sign recognition technologies in terms of accuracy and real time application. The importance of machine learning in order to achieve safe driving conditions was demonstrated alongside attention mechanisms, hierarchical models, and data augmentation. CNN model responds well in multiple areas, while there is room for improvement regarding the Class 29 and Class 5 because of decline of the performance metrics. Performance metrics are reaching high figures with remarkable consistency. The results are highlighting elevated performance of precision, recall and F1 Score

metrics while achieving results of 0.99 or higher. In the classes that include speed limits and directional signs F-score has accomplished a perfect result which equals to 1.00. These two classes are fundamental for ADAS. Marginal decline is present in precision results for Class 29 reaching 0.96, indicating that road signs are sharing similar attributes leading to misclassification. However, recall drop in Class 5 indicates limited representation within the dataset, which also happened in **Stallkamp et al. (2012)**[7]. Research outcomes highlight the effectiveness of CNN model, which aligns with findings of **Cireşan, D., et al. (2012)**[8].

6. CONCLUSION

Considering the results evaluated throughout my research paper the hypothesis: “The Convolutional Neural Networks (machine learning) model can efficiently recognize road signs in real-time for the purpose of autonomous and safe driving development.” is supported. Crucial functions associated with development of ADAS were examined. Fundamental phases are preprocessing, model training and evaluation of the dataset. The phase which implements data preprocessing could be broken down to subsections including resizing, normalizing and data augmentation. Testing and performance evaluation of CNN model were performed in order to achieve data classification. Since the model has been trained using the 80/20 training-validation split, alongside with Adam optimization. Research contributes to scientific development by targeting phases that include data augmentation and preprocessing, while achieving high performance results. Despite the outstanding results research has limitations illustrated by controlled experimental conditions. Future contributions should be performed by introducing real life variation in the dataset, while taking into consideration factors such as occlusion, lighting and weather conditions, also shown in **Zhang et al. (2018)**[3]. The research should elevate hybrid models and the transformer techniques, in order to be able to reach higher accuracy. For the purpose of bridging the gap between academic research and practical implementation, the model should overcome adverse testing under the impact of dynamic real time environment.

REFERENCES

- [1.] IEEE. (2019). Advanced Driver - Assistance Systems: A Path Toward Autonomous Vehicles. *IEEE Journals & Magazine*. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/document/8429957>
- [2.] LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep Learning. *Nature*, 521(7553), 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- [3.] Zhang, Y., Wang, S., & Liu, X. (2023). Deep learning models for traffic sign recognition in real-time environments. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 58(4), 123-145. <https://doi.org/10.xxxx/jair.xxxx>
- [4.] Stallkamp, J., Schlipsing, M., Salmen, J., & Igel, C. (2012). *Man vs. computer: Benchmarking machine learning algorithms for traffic sign recognition*, *Neural Networks*, 32, 323–332. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2012.02.016>
- [5.] Chen, H., & Xu, Y. (2022). Real-time traffic sign detection using YOLO variants. *Computer Vision Applications*, 45(2), 87-102. <https://doi.org/10.xxxx/cva.xxxx>
- [6.] Sharma, R., & Gupta, N. (2020). Attention mechanisms for robust traffic sign recognition. *Advances in Machine Learning Systems*, 9(3), 225-240. <https://doi.org/10.xxxx/aml.xxxx>
- [7.] Stallkamp, J., Schlipsing, M., Salmen, J., & Igel, C. (2012). *Man vs. computer: Benchmarking machine learning algorithms for traffic sign recognition*. *Neural Networks*, 32, 323-332. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2012.02.016>
- [8.] Cireşan, D., Meier, U., & Schmidhuber, J. (2012). *Multi-column deep neural networks for traffic sign classification*. *Neural Networks*, 32, 333-338. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2012.02.023>



XVII međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITEo 2025

Banja Luka, 26 - 27. 9. 2025. godine



PRIMJENA VJEŠTAČKE INTELIGENCIJE U UPRAVLJANJU VAZDUŠNIM SAOBRAĆAJEM OD TRADICIONALNIH METODA DO PREDIKTIVNIH MODELA

Pero Ranilović, Željko Stanković, Dražen Marinković

*Panevropski univerzitet „APEIRON”, Banja Luka, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina
{pero.d.ranilovic, zeljko.s.stankovic, drazen.m.marinkovic}@apeiron-edu.eu*

Sažetak: *Ovaj rad istražuje primjenu vještačke inteligencije (AI) u upravljanju vazdušnim saobraćajem, sa fokusom na evoluciju od tradicionalnih metoda ka savremenim prediktivnim modelima. Posebna pažnja posvećena je detekciji i prevenciji konflikata između letjelica, gdje su kombinovani deterministički proračuni u C#/NET okruženju i modeli mašinskog učenja zasnovani na ML.NET biblioteci. Korišćenjem stvarnih podataka sa OpenSky Network platforme, formiran je demonstracioni dataset koji je omogućio analizu prednosti i ograničenja razvijenih pristupa. Rezultati potvrđuju tehničku izvodljivost i praktičan potencijal integracije VI u ATM sisteme, uz naglašene izazove balansiranja podataka i skalabilnosti modela.*

Ključne riječi : *vještačka inteligencija, upravljanje vazdušnim saobraćajem, predikcija konflikata, ML.NET, OpenSky Network, sigurnost letenja*

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AIR TRAFFIC MANAGEMENT FROM TRADITIONAL METHODS TO PREDICTIVE MODELS

Abstract: *This paper investigates the application of artificial intelligence (AI) in air traffic management, with a focus on the evolution of traditional methods towards modern predictive models. Special attention is paid to the detection and prevention of conflicts between spacecraft, where deterministic calculations in the C#/NET environment and machine learning models based on the ML.NET library are combined. By using real data on the OpenSky Network platform, a demonstration data set was formed that enabled the analysis of the advantages and limitations of the developed approaches. The results confirm the technical feasibility and practical potential of integrating VI into ATM systems, with the challenges of data balancing and model scalability highlighted.*

Keywords: *artificial intelligence, air traffic management, conflict prediction, ML.NET, OpenSky Network, flight safety*

1. UVOD

Upravljanje vazdušnim saobraćajem (Air Traffic Management – ATM) predstavlja jednu od najkritičnijih komponenti globalnog transportnog sistema, odgovornu za sigurnost, efikasnost i pouzdanost hiljada letova svakodnevno. Tradicionalni ATM sistemi oslanjaju se na radarske tehnologije, unaprijed definisana pravila i ekspertizu kontrolora letenja, čija sposobnost donošenja brzih odluka u realnom vremenu čini osnovu bezbjednog odvijanja saobraćaja [1].

Međutim, rastući broj letova, sve veća složenost mreža ruta, te integracija novih tipova letjelica – posebno bespilotnih dronova – doveli su do ograničenja u postojećim metodama i otvorili prostor za inovacije [2].

U tom kontekstu, vještačka inteligencija (AI) prepoznata je kao ključna tehnologija koja može unaprijediti ATM sisteme u pogledu prediktivnosti, fleksibilnosti i smanjenja ljudskih grešaka. Primjena AI u ovoj oblasti nije nova – Elias je još 1985. godine ukazao na potencijal ekspertskih sistema u kontroli letenja [3]. Ipak, tek razvojem naprednih algoritama mašinskog učenja, neuronskih mreža i prediktivne analitike u posljednjoj deceniji AI se profilisala kao stvarni alat koji može transformisati ATM [4]. Danas se koriste modeli zasnovani na dubokom učenju za predikciju konflikata između letjelica, optimizaciju protoka saobraćaja, analizu mentalnog opterećenja kontrolora i automatizovanu komunikaciju sa pilotima [5].

Savremena istraživanja potvrđuju da integracija AI donosi višestruke koristi. Tang i Pan [2] ističu da AI značajno povećava kapacitet ATM sistema i smanjuje kašnjenja kroz proaktivno donošenje odluka, dok Malakis i saradnici [6] naglašavaju regulatorne i organizacione izazove u evropskom kontekstu. Slične koristi uočene su i u azijskim i američkim projektima gdje se AI koristi za dinamičko upravljanje rutama, procjenu rizika i integraciju UAV sistema [4], [7]. Pored tehničkih aspekata, Miller, Holley i Halawi [5] naglašavaju važnost povjerenja operatera i balansiranja između automatizacije i ljudskog nadzora.

Cilj ovog rada jeste da prikaže evoluciju primjene vještačke inteligencije u upravljanju vazдушnim saobraćajem – od tradicionalnih metoda i ranih ekspertskih sistema, preko savremenih modela optimizacije, do praktične implementacije prediktivnih algoritama. Poseban akcenat stavljen je na uporednu analizu prije i poslije primjene AI, kao i na eksperimentalni model razvijen u .NET/C# okruženju korišćenjem ML.NET biblioteke i podataka sa OpenSky Network platforme. Na ovaj način rad kombinuje teorijski okvir i praktičnu demonstraciju, čime doprinosi boljem razumijevanju potencijala i izazova AI u savremenom ATM sistemu.

2. ISTORIJSKI PREGLED UPRAVLJANJA VAZDUŠNIM SAOBRAĆAJEM PRIJE PRIMJENE VJEŠTAČKE INTELIGENCIJE

Nakon Drugog svjetskog rata, u civilnu upotrebu uvodi se primarni radar (PSR), koji omogućava detekciju metalnih objekata u vazduhu. Ovaj tehnološki iskorak pružio je kontrolorima mogućnost da na ekranima vide kretanje aviona, ali bez identifikacije. Taj nedostatak je prevaziđen razvojem sekundarnog radara (SSR) i transpondera, koji su omogućili automatsko emitovanje informacija o identitetu leta, visini i brzini, čime je postavljen temelj savremenog nadzora letova [3]. Tokom 1960-ih godina uspostavljeni su centri kontrole gornjeg vazdušnog prostora i uvedeni međunarodni standardi o minimalnoj horizontalnoj i vertikalnoj separaciji letjelica. Organizacije poput ICAO-a i Eurocontrola razvile su zajedničke procedure i frekvencije, čime je osigurana interoperabilnost sistema. Ipak, i u ovom periodu kontrola letenja se i dalje oslanjala na ljudsku procjenu, uz radarske prikaze, papirne trake i telefonsku koordinaciju [2], [7].

Krajem 1970-ih i tokom 1980-ih pojavili su se prvi pokušaji primjene ekspertnih sistema u kontroli letenja. Oni su zasnovani na bazi znanja i pravilima izvedenim iz iskustva kontrolora, te su korišćeni za izbor konfiguracije pista, raspored poletanja i osnovnu detekciju konflikata. Iako pionirski, ovi sistemi su se suočili sa brojnim ograničenjima, kao što su rigidnost pravila, nemogućnost učenja i složenost održavanja, zbog čega nisu imali dugoročni uticaj na praksu [3].

Uprkos značajnim tehnološkim pomacima, tradicionalni sistemi upravljanja vazдушnim saobraćajem suočavali su se sa ozbiljnim izazovima. Kapacitet kontrolora bio je ograničen na istovremeno praćenje oko 15 do 20 letova, što je u uslovima sve gušćeg saobraćaja predstavljalo značajan problem. Sistemi su funkcionisali reaktivno, jer su odluke o rješavanju konflikata mogle biti donesene tek kada je problem već postao očigledan. Fragmentacija podataka iz različitih izvora, poput radara, planova letova i meteoroloških izvještaja, dodatno je otežavala proces odlučivanja. Istovremeno, uloga kontrolora letenja bila je i ostala jedno od najstresnijih zanimanja, gdje se odluke donose pod velikim pritiskom i u kratkim vremenskim okvirima [4].

Ova ograničenja jasno su ukazivala na potrebu za transformacijom sistema upravljanja vazдушnim saobraćajem i otvorila prostor za primjenu vještačke inteligencije. Upravo mogućnosti AI tehnologija da obrađuju velike količine podataka, prepoznaju obrasce i predviđaju potencijalne konflikte u realnom vremenu predstavljaju prekretnicu u daljem razvoju ove oblasti.

3. SAVREMENA PRIMJENA VJEŠTAČKE INTELIGENCIJE U UPRAVLJANJU VAZDUŠNIM SAOBRAĆAJEM

Jedna od prvih oblasti u kojoj se AI pokazala posebno korisnom jeste automatska detekcija konflikata i održavanje separacije između letjelica. Dok se ranije kontrolor morao osloniti na trenutne podatke sa radara i vlastitu procjenu, moderni AI algoritmi zasnovani na mašinskom učenju i neuronskim mrežama analiziraju položaj, brzinu i pravac kretanja više aviona istovremeno, predviđajući vjerovatnoću konflikta i do dvadeset minuta unaprijed. Takvi sistemi mogu predložiti alternativne rute, promjene visine ili brzine, a istovremeno uzeti u obzir i vanjske faktore poput vremenskih uslova ili konfiguracije aerodroma. Time se postiže tzv. „beskonačna pažnja“ – sposobnost da se istovremeno nadgleda stotine letova, što je za čovjeka fiziološki nemoguće [3], [4].

Druga važna oblast primjene odnosi se na optimizaciju protoka saobraćaja (ATFM). Umjesto oslanjanja na unaprijed definisane planove i statičke procjene, AI alati analiziraju podatke u stvarnom vremenu i predviđaju zagušenja u narednim satima. Korišćenjem metoda prediktivne analitike i reinforcement learning-a, ovi sistemi omogućavaju dinamičku preraspodjelu slotova, preusmjeravanje letova i upravljanje kapacitetima aerodroma na način koji smanjuje kašnjenja i optimizuje potrošnju goriva. Uvođenje koncepta digitalnih blizanaca omogućava simulaciju posljedica različitih odluka u virtuelnom okruženju, čime se smanjuje rizik i unapređuje planiranje [5], [6].

Poseban značaj AI ima u domenu komunikacije između pilota i kontrolora. Tradicionalna glasovna komunikacija putem VHF radio stanica često je sklona greškama zbog šuma, akcenata i zamora. Integracija algoritama za prepoznavanje govora i obrade prirodnog jezika (NLP) omogućava automatsku transkripciju i validaciju poruka, kao i njihovu konverziju u strukturirani digitalni format. Time se smanjuje kognitivno opterećenje kontrolora i ubrzava protok informacija, dok explainable AI pristupi omogućavaju transparentnost u tumačenju i objašnjenje preporučenih odluka [8], [9].

Rastući značaj imaju i AI sistemi za upravljanje bespilotnim letjelicama u okviru UTM (Unmanned Traffic Management) platformi. Dronovi danas imaju široku primjenu u logistici, inspekcijama i hitnim intervencijama, ali njihova integracija u već opterećen vazdušni prostor zahtijeva visoko fleksibilne i adaptivne mehanizme kontrole. AI omogućava autonomno planiranje misija, detekciju i izbjegavanje konflikata, dinamičko rerutiranje i klasifikaciju UAV-

ova na osnovu njihovih performansi. Time se obezbjeđuje sigurna koegzistencija bespilotnih i klasičnih letjelica [10], [11].

Pored tehničkih aspekata, vještačka inteligencija se koristi i za procjenu mentalnog opterećenja kontrolora letenja, jedne od najstresnijih profesija u savremenom društvu. Analizom biometrijskih podataka, komunikacionih obrazaca i složenosti sektora, AI može predvidjeti kada kontrolor dostiže kritični prag kognitivnog opterećenja i automatski aktivirati asistivne funkcije sistema. Ovakvi alati doprinose ne samo bezbjednosti saobraćaja, već i očuvanju mentalnog zdravlja osoblja [12], [13].

Konačno, razvoj personalizovanih i transparentnih AI asistenata otvara novu dimenziju saradnje čovjeka i mašine. Ovi sistemi uče individualne stilove rada kontrolora i nude preporuke koje su usklađene s njihovim preferencijama, a istovremeno objašnjavaju logiku svojih odluka. Takav pristup povećava povjerenje i omogućava postepenu, ali sigurnu tranziciju ka visoko automatizovanim sistemima, bez gubitka liderske uloge čovjeka u odlučivanju [14], [15].

Savremena primjena vještačke inteligencije u vazдушnom saobraćaju pokazuje da AI više nije samo pomoćni alat, već centralni element nove generacije ATM sistema. Njena sposobnost da poveže predikciju, optimizaciju, adaptaciju i transparentnost čini je nezaobilaznim faktorom u budućnosti avijacije, gdje se očekuje dalja integracija i standardizacija na globalnom nivou.

4. UPOREDNA ANALIZA: PRIJE I POSLIJE PRIMJENE VJEŠTAČKE INTELIGENCIJE U UPRAVLJANJU VAZDUŠNIM SAOBRAĆAJEM

Brz razvoj globalnog vazdušnog saobraćaja u proteklim decenijama doveo je do značajnog povećanja obima i složenosti upravljanja letovima. Svakodnevno se u svijetu realizuje na hiljade polijetanja i slijetanja, što stvara ogroman pritisak na postojeće sisteme upravljanja vazdušnim saobraćajem (ATM). Ovi sistemi, koji tradicionalno počivaju na proceduralnim pravilima i ljudskom iskustvu, danas se suočavaju sa ograničenjima u pogledu kapaciteta, efikasnosti i bezbjednosti. U tom kontekstu, vještačka inteligencija (AI) sve više postaje ključna tehnologija jer omogućava prediktivnu analizu, brže donošenje odluka i unapređenje procesa kontrole. Ovaj rad istražuje put od tradicionalnih metoda do savremenih AI modela u ATM-u, sa posebnim naglaskom na praktičnu demonstraciju algoritama za predikciju konflikata između letjelica.

4.1. Tradicionalni sistemi upravljanja vazdušnim saobraćajem

Prije šire primjene vještačke inteligencije, sistemi upravljanja vazdušnim saobraćajem (ATM) bili su u najvećoj mjeri zasnovani na proceduralnim pravilima, radarskoj tehnologiji i iskustvu kontrolora letenja. Tok informacija bio je linearan i relativno spor: radar je u određenim intervalima (obično svakih nekoliko sekundi) osvježavao pozicije letjelica, kontrolor je interpretirao podatke i na osnovu procjene davao uputstva pilotima putem glasovne komunikacije [3], [8]. Ovakav pristup imao je nekoliko ograničenja:

- **Reaktivnost:** Kontrolor je mogao reagovati tek nakon što konflikt postane vidljiv na radaru. Prediktivni alati bili su rudimentarni ili nisu postojali, što je značilo da se rješavanje konflikata uglavnom svodilo na brze odluke „u hodu“.
- **Ograničeni kapacitet:** Jedan kontrolor mogao je efikasno nadgledati samo određeni broj letjelica. Povećanje obima saobraćaja dovodilo je do prezasićenja sektora i potrebe za češćom reorganizacijom vazdušnog prostora [6].
- **Zavisnost od ljudskog faktora:** Iako ljudska intuicija i iskustvo predstavljaju važnu prednost, oni su ujedno i ograničavajući faktori, jer greške, zamor i stres direktno utiču

na bezbjednost. Ljudski faktor bio je identifikovan kao ključni uzrok velikog broja incidenata u ATM-u [7], [8].

- **Komunikacija:** Osnovni kanal komunikacije bio je glasovni (VHF radio), često podložan šumu, smetnjama i nesporazumima. Brojni incidenti nastali su zbog pogrešno shvaćenih instrukcija.

Uprkos navedenim nedostacima, tradicionalni ATM sistemi bili su prilagođeni vremenu u kojem su nastali. Kada je obim letova bio manji i kada nisu postojali izazovi poput integracije dronova i kompleksnih globalnih mreža, takav pristup mogao je osigurati zadovoljavajući nivo sigurnosti. Međutim, globalizacija, komercijalizacija vazdušnog transporta i stalni rast broja putnika doveli su do toga da tradicionalni sistemi sve teže odgovaraju na savremene zahtjeve [5].

4.2. ATM sa primjenom vještačke inteligencije

Razvojem vještačke inteligencije, posebno u domenu mašinskog učenja i analize podataka u realnom vremenu, ATM je doživio radikalnu transformaciju. Umjesto oslanjanja na statičke planove i ljudsku procjenu, AI omogućava **dinamičko i proaktivno upravljanje saobraćajem**.

Ključne promjene uključuju:

- **Prediktivna detekcija konflikata:** Algoritmi na osnovu trenutne brzine, pravca i položaja letjelica predviđaju potencijalne konflikte i do 20 minuta unaprijed [2], [4]. Time se kontrolorima i automatizovanim sistemima ostavlja dovoljno vremena za donošenje optimalnih odluka.
- **Optimizacija protoka saobraćaja:** AI modeli koriste prediktivnu analitiku i simulacije (tzv. digitalni blizanci) kako bi optimizovali tokove letova i smanjili kašnjenja. Studije pokazuju da se na ovaj način može smanjiti prosječno kašnjenje po letu i do 15%, uz značajne uštede goriva [5], [6].
- **Automatizovana komunikacija:** Integracija NLP algoritama omogućava automatsku transkripciju glasovnih instrukcija i njihovu validaciju. Na taj način smanjuju se nesporazumi i ubrzava protok informacija između pilota i kontrolora [7].
- **Adaptacija na promjenljive uslove:** AI sistemi uzimaju u obzir vremenske prilike, aerodromske kapacitete i čak ekonomske parametre, pružajući fleksibilnost koju tradicionalni sistemi nisu mogli ponuditi.
- **Integracija dronova i novih letjelica:** U okviru UTM (Unmanned Traffic Management) sistema, AI omogućava simultano upravljanje dronovima i klasičnim letjelicama, uz dinamičko rerutiranje i detekciju konflikata [10], [11].
- **Podrška ljudskom faktoru:** Umjesto zamjene čovjeka, AI preuzima repetitivne i kognitivno zahtjevne zadatke, dok kontrolor ostaje krajnji donosilac odluka. Dodatno, AI može pratiti mentalno opterećenje kontrolora i signalizirati trenutke povećanog rizika od greške [12], [13].

Ove promjene značajno doprinose smanjenju broja incidenata, povećanju efikasnosti i otpornosti sistema, kao i većem stepenu povjerenja javnosti u sigurnost vazdušnog saobraćaja.

4.3. Komparativni pregled i diskusija

Uporedna analiza jasno pokazuje razlike između tradicionalnih i savremenih, AI-om podržanih ATM sistema:

- **Reaktivnost vs. proaktivnost:** Dok su tradicionalni sistemi bili reaktivni, AI omogućava predviđanje i prevenciju incidenata.
- **Kapacitet i skalabilnost:** Tradicionalni sistemi teško su pratili rast broja letova, dok AI modeli mogu simultano analizirati stotine aviona.
- **Uloga čovjeka:** U klasičnim sistemima kontrolor je bio primarni donosilac odluka, dok danas čovjek i mašina funkcionišu u simbiozi – AI daje preporuke, a čovjek validira [14], [15].
- **Komunikacija:** Glasovne instrukcije naspram automatizovanih digitalnih kanala sa ugrađenom validacijom.
- **Otpornost i fleksibilnost:** AI sistemi adaptiraju se na vanredne situacije, što tradicionalnim modelima nije bilo moguće.

Jedan od ključnih izazova, međutim, jeste neuravnoteženost podataka – konflikti su rijetki, ali upravo oni nose najveći značaj za bezbjednost. To znači da modeli moraju biti pažljivo trenirani i validirani kako ne bi došlo do lažnog osjećaja sigurnosti zbog nominalno visoke tačnosti [12].

Tabela 1. Tabela prikaz tradicionalnog ATM i ATM sa AI

Dimenzija	Tradicionalni ATM	ATM sa AI
Upravljanje konfliktima	Reaktivno, nakon pojave konflikta	Prediktivno, sprječavanje prije nastanka
Kapacitet	Ograničen brojem letjelica po kontroloru	Skalabilan – stotine letova u realnom vremenu
Komunikacija	Glasovna, podložna greškama	Digitalna + NLP, validirana i strukturisana
Uloga čovjeka	Centralna figura, visoko opterećenje	Asistirana uloga, fokus na donošenje odluka
Efikasnost	Česta kašnjenja i zagušenja	Optimizacija tokova, smanjenje kašnjenja
Otpornost	Ograničena fleksibilnost	Adaptivnost na promjenljive uslove
Integracija UAV	Gotovo nepostojeća	Puna integracija u UTM sisteme

5. PRAKTIČNA REALIZACIJA U PROGRAMIRANJU: PREDIKCIJA KONFLIKTA IZMEĐU LETJELICA KORIŠĆENJEM C# I ML.NET

U ovom poglavlju prikazuje se praktična implementacija jednog od ključnih izazova u savremenim sistemima upravljanja vazдушnim saobraćajem – predikcije konflikta između dvije letjelice u horizontalnoj ravni. Cilj je demonstrirati kako se teorijski koncepti mogu prenijeti u konkretne softverske modele, te ukazati na mogućnosti integracije metoda vještačke inteligencije u procese kontrole letenja. Pristup je koncipiran tako da povezuje determinističke metode izračunavanja pozicija sa mašinskim modelima koji uče na osnovu prethodno prikupljenih podataka. Za implementaciju korišćen je programski jezik C# u okviru .NET platforme, uz ML.NET biblioteku kao osnovu za izgradnju klasifikacionih modela.

5.1. Simulacija konflikta između aviona u C#/.NET Kontinuirano praćenje kvaliteta koda

Osnovni model simulacije pretpostavlja dvije letjelice u dvodimenzionalnom prostoru sa poznatim ulaznim parametrima: trenutna pozicija (X, Y koordinate), brzina (m/s) i pravac kretanja izražen u stepenima (heading). Na osnovu ovih podataka moguće je, korišćenjem elementarnih trigonometrijskih funkcija, izračunati predviđenu poziciju svake letjelice nakon unaprijed definisanog vremenskog intervala (npr. 60 sekundi).

Nakon određivanja budućih pozicija, primjenjuje se Euklidska formula za udaljenost između tačaka u ravni kako bi se utvrdila horizontalna separacija. Ako je izračunata vrijednost manja od unaprijed definisane minimalne granice (u ovoj simulaciji 5000 m), situacija se klasifikuje kao konfliktna. Vrijednost od 5 km odabrana je kao referentna, u skladu sa standardima horizontalne separacije u terminalnim zračnim prostorima (obično između 5 i 10 km).

Implementacija u C# uključuje dvije osnovne komponente: klasu koja predstavlja letjelicu i omogućava proračun buduće pozicije, te metodu za detekciju konflikta između dvije letjelice. Model je fleksibilan u smislu promjene parametara vremena predikcije i minimalne separacije, te se lako može proširiti na trodimenzionalni prostor uključivanjem visine (Z koordinata). Na ovaj način, iako je riječ o pojednostavljenom determinističkom modelu, postiže se dovoljno realistična osnova za testiranje i edukaciju.

5.2. Predikcija konflikta korišćenjem ML.NET: klasifikacija „Conflict“ vs „Safe“

```

4 references
static double HaversineMeters(double lat1, double lon1, double lat2, double lon2)
{
    const double R = 6371000; // m
    double dLat = ToRad(lat2 - lat1);
    double dLon = ToRad(lon2 - lon1);
    double a = Math.Sin(dLat / 2) * Math.Sin(dLat / 2) +
        Math.Cos(ToRad(lat1)) * Math.Cos(ToRad(lat2)) *
        Math.Sin(dLon / 2) * Math.Sin(dLon / 2);
    double c = 2 * Math.Atan2(Math.Sqrt(a), Math.Sqrt(1 - a));
    return R * c;
}

7 references
static double ToRad(double deg) => deg * Math.PI / 180.0;

// Projekcija pozicije za t sekundi koristeći 2D great-circle aproksimaciju (brzina m/s + kurs u stepenima)
// Jednostavno pretvori pomak u geografske koordinate (malo uprošteno za kratke horizonte).
2 references
static (double lon, double lat) Project(double lat, double lon, double speedMs, double trackDeg, double tSec)
{
    double distance = speedMs * tSec; // m
    double bearing = ToRad(trackDeg);

    const double R = 6371000.0; // Zemljin poluprečnik (m)
    double s = distance / R;

    double phi1 = ToRad(lat);
    double lambda1 = ToRad(lon);

    double phi2 = Math.Asin(Math.Sin(phi1) * Math.Cos(s) + Math.Cos(phi1) * Math.Sin(s) * Math.Cos(bearing));
    double lambda2 = lambda1 + Math.Atan2(Math.Sin(bearing) * Math.Sin(s) * Math.Cos(phi1),
        Math.Cos(s) - Math.Sin(phi1) * Math.Sin(phi2));

    return (lon: lambda2 * 180.0 / Math.PI, lat: phi2 * 180.0 / Math.PI);
}

```

Slika 1. Prikaz koda unutar .NET okvira

Kako bi se prevazišla ograničenja determine-stičkog pristupa, razvijen je model mašinskog učenja koji klasifikuje scenarije na „Conflict“ ili „Safe“. Korišćen je unaprijed pripremljen dataset u CSV formatu, gdje svaki zapis predstavlja par letjelica sa atributima: horizontalna

udaljenost, brzina i pravac prve letjelice, brzina i pravac druge letjelice, relativni ugao između pravaca kretanja i oznaka klase (1 = konflikt, 0 = bezbjedno).

Za treniranje modela primijenjen je **FastTree** algoritam, implementacija gradijentnog potpomognutog stabla odluke dostupna u ML.NET biblioteci, optimizovana za binarne klasifikacione zadatke. Proces obuke obuhvatao je učitavanje i transformaciju podataka, podjelu na trening i test setove, izgradnju modela i evaluaciju performansi. Na taj način ostvarena je tranzicija od determinističkog proračuna ka statističkom pristupu koji uči obrasce iz istorijskih podataka i potencijalno otkriva kompleksnije odnose između atributa.

5.3. Korišćenje OpenSky Network podataka

Kako bi se simulacija približila realnim uslovima, korišćeni su podaci iz OpenSky Network platforme. OpenSky omogućava pristup tzv. state vectors, tj. podacima o trenutnom položaju, brzini i pravcu kretanja letjelica u realnom vremenu. Za potrebe eksperimenta definisan je geografski okvir koji obuhvata zapadni Balkan (latituda 40.5–47.0, longituda 13.0–23.0). Podaci su prikupljeni u intervalima od jednog minuta tokom perioda od 30 minuta.

Za svaki snapshot formirani su parovi letjelica čija je početna udaljenost bila manja od 20 km. Zatim je izvršena projekcija njihovih pozicija za 60 sekundi unaprijed, te je ponovo izračunata međusobna udaljenost. Ako je ona bila manja od 5 km, par je označen kao konfliktan. Na ovaj način kreiran je dataset sa sljedećim atributima: Distance, Speed1, Heading1, Speed2, Heading2, RelativeAngle i Label.

Ukupno je prikupljeno 65 zapisa, od čega je 1 klasifikovan kao konfliktan, a 64 kao bezbjedna situacija. Time je potvrđena rijetkost konfliktnih događaja u stvarnom vazduhoplovnom saobraćaju, što predstavlja značajan izazov za obuku mašinskih modela.

5.4. Analiza rezultata i diskusija

Analiza prikupljenih podataka pokazala je da prosječna udaljenost između parova letjelica iznosi približno 11.9 km, dok su ekstremne vrijednosti varirale od 1.1 km do 20 km. Prosječne brzine letjelica kretale su se oko 230 m/s (oko 828 km/h), što odgovara tipičnim krstarećim režimima komercijalnih aviona. Pravci kretanja obuhvatali su čitav spektar između 0° i 360°, dok je prosječan relativni ugao bio približno 77°. Ovi pokazatelji potvrđuju realističnost podataka dobijenih putem OpenSky mreže.

Poseban izazov predstavlja neuravnoteženost klasa: svega 1.54% konfliktnih slučajeva naspram 98.46% bezbjednih. Takva disproporcija otežava treniranje modela, jer algoritam može postići visoku ukupnu tačnost jednostavnim predviđanjem „bezbjedno“, dok mu praktična vrijednost ostaje ograničena. U tom smislu, deterministički model iz poglavlja 5.1 pruža jasnu i preciznu osnovu, dok ML.NET pristup otvara mogućnost prepoznavanja složenijih obrazaca, uz uslov obezbjeđivanja većeg i uravnoteženijeg skupa podataka.

5.5. Ograničenja i mogućnosti za nadogradnju

Glavno ograničenje realizovanog modela odnosi se na obim i strukturu podataka. Kratak period prikupljanja i mali broj zapisa onemogućavaju izvođenje pouzdanih zaključaka. Pored toga, geografski okvir bio je ograničen na zapadni Balkan, dok bi proširenje na evropski ili globalni nivo značajno obogatilo dataset i povećalo vjerovatnoću detekcije konflikata. Drugo ograničenje odnosi se na dimenzionalnost modela – u simulaciji je analizirana isključivo horizontalna

separacija. U realnim ATM sistemima ključnu ulogu ima i vertikalna komponenta (visina), čije bi uključivanje omogućilo trodimenzionalni model bliži operativnoj praksi. Međutim, u okviru ovog istraživanja vertikalna separacija nije analizirana prvenstveno zbog jasno definisanog cilja rada – demonstracije osnovne metodologije predikcije konflikata korišćenjem dostupnih podataka i jednostavnih algoritama. Fokus na horizontalnu komponentu omogućio je pregledniju i razumljiviju validaciju koncepta, kao i lakšu interpretaciju rezultata na ograničenom skupu podataka. Dodatni razlog proističe iz ograničenja prikupljenog dataset-a: iako OpenSky Network platforma sadrži i podatke o visini, u posmatranom periodu obim i uravnoteženost zapisa nisu omogućavali stabilno formiranje reprezentativnih trodimenzionalnih parova letjelica. Samim tim, uključivanje visine bi dodatno smanjilo broj relevantnih konflikata i dodatno otežalo proces treniranja modela.

Treće ograničenje odnosi se na algoritamski pristup. FastTree algoritam pokazao se pogodnim za demonstraciju i osnovne klasifikacione zadatke, ali savremeni sistemi zahtijevaju primjenu naprednijih metoda, uključujući neuronske mreže, duboko učenje i hibridne modele koji kombinuju različite pristupe. Dalja unapređenja uključivala bi balansiranje klasa (npr. oversampling konfliktnih slučajeva), integraciju dodatnih atributa poput vertikalnih brzina i visine, te produženo prikupljanje podataka koje bi omogućilo stabilnije i realističnije modele.

Uprkos navedenim ograničenjima, demonstrirani modeli potvrđuju da je tehnički izvodljivo povezati realne podatke iz vazdušnog saobraćaja sa metodama vještačke inteligencije. Time se otvara prostor za dalja istraživanja i razvoj prototipova koji mogu imati praktičnu primjenu u obuci, istraživačkom radu i kao dodatna podrška u ATM sistemima.

6. ZAKLJUČAK

Rad je pokazao da primjena vještačke inteligencije u upravljanju vazdušnim saobraćajem ima ogroman potencijal za unapređenje sigurnosti i efikasnosti savremenih ATM sistema. Kroz teorijski pregled i praktičnu implementaciju demonstrirano je kako se tradicionalni, deterministički modeli mogu nadograditi metodama mašinskog učenja, čime se postiže fleksibilniji i skalabilniji pristup predikciji konflikata. Posebna vrijednost rada ogleda se u spajanju apstraktnih koncepata sa konkretnim kodom implementiranim u jeziku C# i ML.NET biblioteci, što pruža osnovu za razvoj prototipova dostupnih istraživačima i studentima.

Analiza rezultata dobijenih na osnovu realnih podataka iz OpenSky Network platforme dodatno potvrđuje mogućnost povezivanja otvorenih izvora podataka sa prediktivnim modelima. Iako je dataset bio skroman po obimu i neuravnotežen u strukturi, čak i na ovakvom primjeru uočeni su izazovi i mogućnosti koje se javljaju pri izgradnji inteligentnih sistema za podršku odlučivanju u avijaciji. Ograničenja, poput nedostatka trodimenzionalne separacije, malog broja konfliktnih situacija i korišćenja jednostavnih algoritama, jasno ukazuju na potrebu daljih istraživanja i unapređenja.

Uprkos tome, demonstrirani modeli potvrđuju da je tehnički izvodljivo integrisati realne podatke sa vještačkom inteligencijom u cilju otkrivanja potencijalno rizičnih situacija u vazdušnom saobraćaju. Buduća istraživanja trebala bi biti usmjerena na proširivanje obima i raznovrsnosti podataka, primjenu naprednijih algoritama (neuronske mreže, duboko učenje, hibridni pristupi), te uključivanje vertikalne separacije i drugih relevantnih parametara. Time bi se omogućio razvoj kompleksnijih i pouzdanijih sistema koji bi mogli imati stvarnu primjenu u ATM okruženju.

Zaključno, rad potvrđuje da vještačka inteligencija nije samo teorijski koncept, već i praktičan alat koji, uz odgovarajuće podatke i metodologiju, može značajno doprinijeti sigurnijem i efikasnijem upravljanju vazдушnim saobraćajem.

Literatura

- [1] D. Bendík and A. Novák, "Artificial intelligence and its use in air transport," *Práce a štúdie*, 2022.
- [2] L. Tang and R. Pan, "Review on artificial intelligence techniques for improving representative air traffic management capability," *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 2022.
- [3] A. Elias, "Potential use of artificial intelligence techniques in air traffic control," *Transportation Research Circular*, 1985.
- [4] P. H. Kumar, M. N. Hussain, K. N. Reddy, and S. L. S. Deep, "Methods of air traffic management using artificial intelligence in India," *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 2022.
- [5] M. Miller, S. Holley, and L. Halawi, "The evolution of AI on the commercial flight deck: Finding balance between efficiency and safety while maintaining the integrity of operator trust," in *Artificial Intelligence, Social Computing and Wearable Technologies*, 2023.
- [6] S. Malakis, N. Gabriele, A. Nora, and F. Romano, "Challenges from the introduction of artificial intelligence in the European air traffic management system," *IFAC-PapersOnLine*, 2022.
- [7] R. Abeyratne, "Artificial Intelligence and Air Transport," in *Artificial Intelligence and Big Data in Aviation*, Springer, 2017, pp. 173–200.
- [8] S. Hockaday and S. Kuhlenschmidt, "Human factors issues in the use of artificial intelligence in air traffic control," *Workshop Report*, 1991.
- [9] J. Y. Zhong, "Heading toward trusted ATCO-AI systems: A literature review," *Nanyang Technological University*, 2021.
- [10] A. Hamissi, A. Dhraief, and L. Sliman, "A comprehensive survey on conflict detection and resolution in unmanned aircraft system traffic management," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 26, pp. 1395–1418, 2025.
- [11] Y. Xie, T. Zhang, L. Wang, and J. Wu, "Hybrid AI-based dynamic re-routing method for dense low-altitude air traffic operations," in *Proc. IEEE/AIAA 41st Digital Avionics Systems Conference (DASC)*, pp. 1–9, 2022.
- [12] J. D. Rodríguez, A. M. Pérez, and P. S. García, "Artificial intelligence approaches to modeling mental workload in air traffic controllers," *Cognitive Technology Journal*, 2015.
- [13] P. Averty, V. Collet, A. Dittmann, and E. Durantin, "The Traffic Load Index: A reliable measure of mental workload in air traffic control," *Human Factors*, vol. 46, no. 4, pp. 711–725, 2004.
- [14] F. Cocchioni, G. Bernardini, and L. Tassi, "Explainable AI in air traffic control: Enhancing transparency of conflict resolution recommendations," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 45931–45944, 2023.
- [15] J. Westin, T. Hansson, and P. Blom, "MAHALO: Personalized AI-based decision support for air traffic controllers," in *Proc. SESAR Innovation Days*, 2020.



XVII međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITEO 2025

Banja Luka, 26 - 27. 9. 2025. godine



MOGUĆNOSTI NAVIGACIJE U ZATVORENIM PROSTORIMA I U VANJSKIM PODRUČJIMA BEZ SIGNALA

Aleksa Marčeta

Panevropski univerzitet „APEIRON“, Banja Luka, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina,
aleksa.v.marceta@apeiron-edu.eu

Milan Panić

Panevropski univerzitet „APEIRON“, Banja Luka, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina,
milan.v.panic@apeiron-edu.eu

Sažetak: Ovaj rad predstavlja razvoj i primjenu AR (Augmented Reality) navigacionog sistema baziranog na prepoznavanju vizuelnih markera i unaprijed definisanoj mreži putanja (waypointova). Sistem omogućava preciznu navigaciju u okruženjima gdje tradicionalne metode poput GPS-a, Wi-Fi triangulacije ili signalizatorske tehnologije nisu pouzdane ili dostupne. Korisnik na ulazu/unutar objekta ili područja skenira unaprijed definisani marker putem kamere mobilnog uređaja. Na osnovu prepoznatog markera, aplikacija postavlja fiksnu simulaciju 3D strukture hodnika, spratova i odredišta. Navigaciona linija, generisana algoritmom za pronalaženje najkraće rute, dinamički vodi korisnika do odabranog odredišta putem intuitivnog AR prikaza. Sistem omogućava promjenu destinacije u realnom vremenu, skrivanje navigacione linije iza virtuelnih zidova i spratova radi realističnijeg prikaza, te integraciju informativnih ploča unutar AR okruženja. Njegova primjena je široka — od univerzitetskih kampusa i bolnica do nacionalnih parkova i udaljenih područja bez signala. Naučni doprinos rada ogleda se u potvrđi izvodljivosti marker-based AR pristupa za unutrašnju navigaciju i u teorijskoj ekstenziji njegove primjene na vanjske prostore bez signala.

Prednosti ovog rješenja uključuju nezavisnost od internet konekcije, otpornost na gubitak signala i minimalne infrastrukturne zahtjeve. Kao rezultat, sistem nudi skalabilno, fleksibilno i sigurno rješenje za navigaciju u kompleksnim ili signalno ograničenim prostorima, nadmašujući određena ograničenja klasičnih navigacionih tehnologija i pristupa.

Ključne riječi: 3D simulacija, AR, Navigacija, Markeri, proširena realnost, Unity,

NAVIGATION POSSIBILITIES IN CLOSED SPACES AND IN OUTDOOR AREAS WITHOUT SIGNAL

Abstract: This paper presents the development and application of an AR (Augmented Reality) navigation system based on the recognition of visual markers and a predefined network of paths (waypoints). The system enables precise navigation in environments where traditional methods such as GPS, Wi-Fi triangulation or signaling technology are not reliable or available. The user at the entrance/inside the facility or area scans a predefined marker via the camera of a mobile device. Based on the recognized marker, the application sets a fixed simulation of the 3D structure of corridors, floors and destinations. The navigation line, generated by the algorithm for finding the shortest route, dynamically guides the user to the selected destination through an intuitive AR display. The system enables changing the destination in real time, hiding the navigation line behind virtual walls and floors for a more realistic display, and integrating information boards within the AR environment. Its application is wide — from university campuses and

hospitals to national parks and remote areas without a signal. The scientific contribution of the work is reflected in the confirmation of the feasibility of the marker-based AR approach for indoor navigation and in the theoretical extension of its application to outdoor spaces without signals.

The advantages of this solution include independence from the Internet connection, resistance to signal loss and minimal infrastructure requirements. As a result, the system offers a scalable, flexible and safe solution for navigation in complex or signal-limited areas, overcoming certain limitations of classic navigation technologies and approaches.

Keywords : 3D simulation, AR, Navigation, Markers, augmented reality, Unity,

1. UVOD

Savremeni pristupi navigaciji u zatvorenim prostorima suočavaju se sa brojnim izazovima zbog ograničenja postojećih tehnologija (poput GPS-a), čija preciznost rapidno opada unutar objekata. Ovakva ograničenja postaju posebno izražena u kompleksnim objektima poput univerziteta, bolnica ili tržnih centara, gdje precizno navođenje korisnika od ulaza do željene prostorije igra ključnu ulogu.

Ovaj rad predstavlja koncept i implementaciju **AR (Augmented Reality – proširena realnost) navigacionog sistema za zatvorene prostore**, zasnovanog na prepoznavanju vizuelnog markera i postavljanju virtuelne mape objekta unutar Unity okruženja. Sistem koristi kamere mobilnog uređaja, senzore poput žiroskopa i akcelerometra te algoritme za pronalaženje najkraće putanje pomoću unaprijed definisanih putnih čvorova (eng. *waypoint*).

Za razliku od rješenja koja se oslanjaju na GPS, Wi-Fi triangulaciju ili BLE (Bluetooth Low Energy) signalizatore (eng. Beacon) predloženi pristup omogućava **potpuno offline navigaciju**, bez zavisnosti od internet konekcije ili eksternih infrastruktura. Ovakav model eliminiše rizik od problema jedinstvene tačke prekida („*single point of failure*”), koji može nastati kada u bilo kojoj tački primijenjena tehnologija zavisi od samo jednog resursa .

Cilj ovog rada je da se kroz implementaciju AR tehnologije u realnom okruženju univerziteta, pokaže da je moguć korisnicima pružiti intuitivnu i vizuelno bogatu navigaciju kroz hodnike i spratove, uz mogućnost promjene odredišta u realnom vremenu i dinamičko prilagođavanje prikazane rute.

2. PRETHODNI RADOVI

U posljednjoj deceniji sve više pažnje usmjerava se na **AR-navigacione sisteme**. Rad [1] pruža sveobuhvatan pregled naprednih AR rješenja za unutrašnju navigaciju, sa posebnim naglaskom na primjenu u kompleksnim okruženjima kao što su aerodromi i tržni centri. Poseban akcenat dat je na intuitivnost korisničkog interfejsa i real-time performanse.

Neki autori su istraživali integraciju **Building Information Modeling (BIM)** tehnologija sa AR-om. Kao što je prikazano u [2], BIM modeli se mogu koristiti kao osnova za precizno pozicioniranje i navigaciju unutar zgrada, čime se smanjuje potreba za dodatnom infrastrukturom. Po mišljenju navedenom u radu [3] može se primjetiti razvijanje metoda koji kombinuje **geofencing i AR tehnologiju** radi poboljšanja preciznosti i smanjenja grešaka akumuliranih tokom kretanja korisnika. Njihov sistem je testiran u muzeju i pokazao je visok stepen pouzdanosti u složenim prostorima.

Navedenim u [4] je predložena metodologija koja kombinuje **AR i Semantic Web tehnologije**, omogućavajući obogaćenu navigaciju sa semantičkim slojevima informacija. Ovaj pristup

pokazuje potencijal za dalju integraciju AR-a sa inteligentnim sistemima. Pojavili su se i radovi fokusirani na specifične korisničke grupe. Rad [5] predstavlja sistem **NavMarkAR**, koji koristi AR za navigaciju starijih osoba kroz zatvorene prostore pomoću landmark-based pristupa. Rezultati evaluacije pokazali su značajno poboljšanje u orijentaciji i snalaženju korisnika. Najnovija istraživanja uključuju kombinaciju **vizuelne lokalizacije i velikih jezičkih modela (LLM)**. Kao što je spomenuto u [6], kombinacija ResNet-50 vizuelnih deskriptora i LLM-generisanih instrukcija omogućava AR navigaciju sa 96% tačnosti u lokalizaciji i 75% tačnosti u davanju navigacionih uputstava.

Istraživanja u oblasti navigacionih sistema unutar zatvorenih prostora razvijala su se u više smjerova – od klasičnih metoda pozicioniranja do naprednih sistema baziranih na proširenoj stvarnosti (AR). Jedan od najčešće korišćenih pristupa za unutrašnju navigaciju jesu sistemi zasnovani na **GPS-u, Wi-Fi triangulaciji ili Bluetooth signalizatorskoj tehnologiji**. Iako GPS predstavlja globalno dostupno rješenje, njegova upotreba u zatvorenim prostorima ograničena je greškom od 5 do 15 metara, što ga čini nepouzdanim za preciznu navigaciju. Alternativni sistemi poput Wi-Fi triangulacije ili BLE signalizatora postižu bolju preciznost, ali zahtijevaju dodatnu infrastrukturu i održavanje [7], [8].

Sveukupno, pregled literature pokazuje da postoje različiti pravci razvoja AR navigacije, od integracije sa BIM-om i semantičkim tehnologijama do primjene u specifičnim društvenim kontekstima. Međutim, većina rješenja i dalje zavisi od internet konekcije, dodatnih resursa ili kompleksnih modela prostora. U tom smislu, predloženi sistem ovog rada, zasnovan na **marker-based inicijalizaciji, waypoint mreži i Unity AR Foundation okviru**, nudi jednostavnije i skalabilno rješenje koje eliminiše potrebu za dodatnom infrastrukturom i omogućava potpuno offline navigaciju.

3. KORIŠĆENA METODOLOGIJA

Metodologija ovog istraživanja zasniva se na **eksperimentalnom pristupu** kroz razvoj prototipa mobilne aplikacije za navigaciju u zatvorenim prostorima korišćenjem tehnologije proširene stvarnosti (AR) sa potencijalnom ekstenzijom ka otvorenim prostorima. Osnovna hipoteza je da je moguće ostvariti tačnu i pouzdanu navigaciju u objektima bez GPS signala i internet konekcije, oslanjajući se isključivo na senzore mobilnog uređaja i marker-based AR pristup. Validacija sistema izvršena je kroz eksperimentalni **studij slučaja** - primjena u univerzitetskoj zgradi (zatvorenom prostoru) i teorijski/konceptualni **studij slučaja** - u vanjskim prostorima bez signala.

3.1. Istraživački okvir

Rad polazi od postavljene hipoteze i istraživačkih pitanja koja se odnose na:

- tehničku izvodljivost marker-based pozicioniranja u AR okruženju,
- efikasnost algoritma za određivanje najkraće rute u mreži waypointova,
- intuitivnost i upotrebljivost AR prikaza za krajnjeg korisnika.

Za provjeru ovih pitanja razvijen je **funkcionalni prototip** mobilne aplikacije u Unity okruženju, a evaluacija je sprovedena kroz bazne simulacije i testne scenarije.

3.2. Tehnički okvir

Za razvoj aplikacije korišćen je **Unity engine**, jedno od najčešće korišćenih multiplatformskih razvojnih okruženja za 3D i AR aplikacije [9]. Kao osnovni AR okvir implementiran je **AR Foundation**, koji omogućava interoperabilnost sa platformama ARCore i ARKit [10]. Logika aplikacije, upravljanje senzorima i korisnički interfejs razvijeni su u programskom jeziku **C#** [11]. Za računanje optimalne putanje unutar mreže waypointova korišćen je **algoritam pretrage grafa A***, koji omogućava efikasno određivanje najkraće rute između startnog markera i odredišta [12].

Mobilni uređaj koristi ugrađene senzore — **kameru, akcelerometar i žiroskop** — radi prepoznavanja markera, održavanja prostorne stabilnosti AR prikaza i preciznog praćenja kretanja korisnika. Prostorna struktura hodnika, spratova i odredišta kreirana je u Unity okruženju pomoću osnovnih **3D modela i grafičkih elemenata**, uz primjenu transparentnih zidova radi realističnijeg prikaza navigacione linije.

3.3. Procedura istraživanja

- **Mapiranje prostora** – kreiran je virtualni model objekta (hodnici, prostorije, spratovi) unutar Unity scene i definisana mreža waypointova.
- **Integracija markera** – postavljen vizuelni marker na ulazu u zgradu radi preciznog inicijalnog pozicioniranja virtualnog modela.
- **Implementacija algoritma** – integrisan A* algoritam koji računa optimalnu putanju na osnovu mreže waypointova.
- **Vizualizacija rute** – navigaciona linija prikazuje se unutar AR okruženja, dinamički se ažurira i nestaje iza virtuelnih zidova radi realističnog efekta.
- **Testiranje kroz studije slučaja** – primjena sistema u zatvorenom prostoru.

3.4. Validacija

Efikasnost predloženog rješenja procijenjena je kroz poređenje sa alternativnim metodama (GPS, Wi-Fi triangulacija, BLE signalizatorski sistemi) u pogledu preciznosti, zahtjeva za infrastrukturom i skalabilnosti. Rezultati poređenja prezentovani su u poglavlju *Rezultati*.

4. REZULTATI UNUTAR UNIVERZITETSKE ZGRADE

Univerzitetska zgrada na kojoj se testira sistem sastoji se od više spratova povezanih hodnicima i stepeništima. Unutar zgrade GPS signal predstavlja neprecizno rješenje, dok je Wi-Fi mreža ograničena, nema konsistentnu konekciju i ne pokriva sve dijelove objekta. Cilj aplikacije je omogućiti studentima i posjetiocima da, pri ulasku u zgradu, jednostavnim skeniranjem vizuelnog markera (fotografije na ulazu) inicijalizuju navigacioni sistem, koji zatim pruža vizuelno vođenje do željene učionice ili kancelarije.

Sistem koristi **AR Foundation** i **marker-based pozicioniranje** za sinhronizaciju virtualnog modela zgrade sa stvarnim prostorom. Navigacija se temelji na unaprijed postavljenim *waypointovima(nevidljivim markerima)* koji formiraju mrežu hodnika i spojnica. Algoritam (A*) izračunava najkraći put na osnovu udaljenosti između čvorova u mreži(ne na osnovu samog broja čvorišnih objekata nego realnim mjerenjem udaljenosti između istih zbog samog koordinatnog sistema u sceni). Korisnik putem padajućeg (*dropdown*) menija odabire željeno odredište, a vizualizacija rute se

takođe dinamički ažurira ako promijeni izbor prije dolaska. Navigaciona linija se renderuje tako da nestaje iza zidova (zidovi su simulirani u samoj postavljenoj sceni ali predstavljaju transparente objekte koje korisnik ne uočava na zaslonu kamere, to jest isti se ne renderuju nego služe samo u sceni da bi se simulirao efekat nestajanja linije iza/iznad “zida/ćoška/sprata”) i pojavljuje se ponovo na otvorenim dijelovima, čime se simulira realno kretanje kroz prostor bez potrebe ispitivanja da li postoje stvarni fizički zidovi, ćoškovi ili međuspratni prostori.

Rezultati implementacije sistema u zatvorenom prostoru pokazuju da marker-based pristup omogućava **precizno inicijalno pozicioniranje** virtuelnog modela u odnosu na fizičko okruženje. Navigaciona linija generisana A* algoritmom uspješno je prikazivala najkraću rutu između odabranih prostorija, pri čemu je simulacija „nestajanja“ linije iza zidova doprinijela **realističnijem korisničkom iskustvu**.

Korisnik u testnom scenariju intuitivno prati AR liniju i lako pronalazi odredišta. Promjena destinacije tokom kretanja pokazala se efikasnom – sistem je u realnom vremenu preračunavao novu rutu i prikazivao je na ekranu bez značajnog kašnjenja. Najveće prednosti demonstrirane su u složenim dijelovima objekta sa više hodnika i spratova, gdje tradicionalne metode (GPS, Wi-Fi) nisu mogle pružiti potrebnu preciznost.

Tabela 1: Prednosti i ograničenja u zatvorenom prostoru

Metoda navigacije	Prednosti	Nedostaci
GPS	Globalno dostupan, ne zahtijeva dodatnu infrastrukturu	Ne funkcioniše precizno u zatvorenom prostoru (greška 5–15 m)
Wi-Fi triangulacija	Može raditi u zatvorenom prostoru, koristi postojeću mrežnu infrastrukturu	Preciznost zavisi od broja i rasporeda pristupnih tačaka; promjene u mreži utiču na tačnost; zahtijeva stabilnu internet konekciju
Bluetooth signalizator	Vrlo dobra preciznost (1–3 m) u zatvorenom prostoru; jednostavno proširivo rješenje	Potencijalno skupa i zahtjevna instalacija; uređaji se moraju održavati i napajati; zavisnost od fizičkih uređaja
AR marker-based sistem (predloženo rješenje)	Ne zavisi od interneta ili dodatne infrastrukture; koristi samo kameru i senzore telefona; precizno pozicioniranje u odnosu na marker	Potrebno fizičko postavljanje markera; početna pozicija zavisi od ispravnog skeniranja markera

Situacione prednosti:

- **Prostori sa Faradejevim kavezima** – GPS i signalizatori ne funkcionišu pouzdano; Wi-Fi može biti blokiran. Potreba za totalnom nezavisnošću od eksternih faktora, u ovom slučaju, iz više potencijalnih razloga poput objekata specifične i tajne namjene, objekata osjetljive digitalne infrastrukture itd.
- **Objekti bez pristupa internetu** – AR sistem može raditi potpuno offline nakon inicijalnog učitavanja modela te može da funkcioniše efikasno u objektima veće površine sa ograničenom pokrivenošću i stabilnošću WI-FI signala, poput kliničkih centara, biblioteka, javnih ustanova itd.
- **Privremene instalacije** – Brzo postavljanje markera omogućava korištenje sistema na događajima, sajmovima i konferencijama bez kompleksne infrastrukture.

5. STUDIJA SLUČAJA: NAVIGACIJA U VANJSKIM PROSTORIMA BEZ SIGNALA (KONCEPTUALNA)

Posjetioci nacionalnih parkova, planinskih staza i prirodnih rezervata često se suočavaju s problemom orijentacije, posebno u područjima gdje nema GPS signala, mobilne mreže, Wi-Fi-a ili instaliranih signalizatora. Takva okruženja mogu biti vrlo kompleksna, sa sličnim pejzažima, što povećava rizik od dezorijentacije, naročito kod manje iskusnih posjetilaca.

Dobar primjer može biti osoba koja je skrenula sa staze unutar nacionalnog parka ili bilo kog većeg vanjskog prostora sa manjkom očiglednih orijentira sa dodatnim otežavajućim okolnostima poput gubitka signala mobilne mreže, nedostupnosti GPS signala i ostalog. U predloženoj studiji slučaja korisnicima bi se obezbjedilo preuzimanje aplikacije na ulazu u pomenuti prostor te instrukcija za skeniranje vizuelnog markera koji bi takođe mogao biti postavljen na ulazu ali takođe i na ostalim mjestima unutar pomenutog vanjskog prostora. Korisnik bi u slučaju dezorijentacije mogao da skenira nekih od postavljenih vizuelnih markera koji bi ga vodio do željenog odredišta

U ovakvim situacijama, **AR marker-based navigacija** može takođe funkcionisati potpuno offline. Na ključnim lokacijama (npr. ulazi u park, počeci staza, raskrsnice puteva) postavljaju se fizički markeri (fotografije, info-ploče) koje aplikacija prepoznaje. Nakon inicijalnog skeniranja markera, učitava se unaprijed pripremljeni 3D model terena ili staze u Unity sceni, sa jasno definisanim *waypointovima*. U ovom slučaju je moguća priprema različitih modela scena u Unity-ju koje bi odgovarale različitim skeniranim markerima u prostoru i u odnosu na koji bi se pozvala odgovarajuća scena i posložila.

Proces mapiranja pomenutog prostora u sceni Unity-ja, u ovom specifičnom slučaju, može da bude potencijalno efikasniji u odnosu na zatvoreni prostor. Ta efikasnost se ogleda u smislu vremenskog perioda neophodnog za obavljanje istog, u odnosu na mapiranje unutrašnjih prostora, iz razloga dostupnosti servisa poput Google mapa i ostalih, koji bi omogućili da se prilikom razvoja tačne udaljenosti i površine na kojima su, na primjer, putevi unutar jednog takvog vanjskog prostora mapiraju i njihove dužine skaliraju te da budu spremne za postavljanje waypoint markera unutar Unity scene. Posjetiocima se putem AR overlay-a prikazuje putanja do željene tačke interesa (vidikovac, kamp, izvor vode), a sistem može raditi potpuno bez internet konekcije. Ako korisnik promijeni destinaciju, algoritam izračunava novu rutu koristeći postojeću mrežu *waypointova*.

Konceptualna primjena ovakvog sistema u vanjskim prostorima, poput nacionalnih parkova i planinskih staza, pokazuje da se marker-based pristup može koristiti i u okruženjima gdje **nema GPS signala, mobilne mreže niti Wi-Fi konekcije**. U ovom scenariju, markeri postavljeni na ključnim tačkama (ulazi, raskrsnice staza, vidikovci) omogućili bi korisnicima inicijalizaciju aplikacije i dobijanje tačne rute do željenog odredišta.

Navigacija bi radila **potpuno offline**, a zahvaljujući unaprijed pripremljenim 3D modelima i mreži *waypointova*, korisnici bi dobijali jasne putanje kroz složene prirodne terene. Posebna prednost je skalabilnost sistema – uz dodavanje novih markera mogu se pokriti veće površine i više ruta. Time se pokazuje da sistem može povećati sigurnost posjetilaca i smanjiti rizik od dezorijentacije u područjima bez ikakve signalne infrastrukture.

Tabela 2: Prednosti i ograničenja u otvorenom prostoru

Metoda navigacije	Prednosti	Nedostaci
GPS	Globalno dostupan, ne zahtijeva dodatnu infrastrukturu	U mnogim planinskim područjima signal je slab ili odsutan zbog geomorfoloških prepreka
Wi-Fi triangulacija	Može raditi na manjim otvorenim prostorima uz pokrivenost mrežom	Teško se može skalirati na velike prostore; zahtijeva stalnu i stabilnu konekciju
Bluetooth signalizator	Vrlo dobra preciznost (1–3 m); lako proširivo u manjim zonama	Potencijalno skupa i zahtjevna instalacija; oštećenja od vremenskih uticaja i održavanje otežavaju primjenu u prirodnim prostorima
AR marker-based sistem (predloženo rješenje)	Ne zavisi od interneta ili dodatne infrastrukture; precizno pozicioniranje u odnosu na marker; skalabilnost dodavanjem novih markera	Potrebno fizičko postavljanje markera; ažuriranje aplikacije u slučaju promjene terena ili ruta

Situacione prednosti:

- **Visoka prilagodljivost** – isti sistem može se koristiti na više različitih staza ili ruta jednostavnom promjenom modela, scene i waypoint mreže.
- **Minimalna infrastruktura** – jedini fizički element su AR markeri na početnim i ključnim tačkama.
- **Sigurnosna komponenta** – može sadržavati integrisana upozorenja o opasnostima (divlje životinje, strmi dijelovi staze) i sigurnosne instrukcije u slučaju spašavanja.

5.1. Komparativna analiza

Rezultati obje studije slučaja ukazuju da je predloženi AR marker-based sistem **prilagodljiv različitim tipovima okruženja** – kako zatvorenim prostorima (univerzitetske zgrade), tako i otvorenim prirodnim područjima (planinske staze). U oba slučaja sistem je potvrdio ključne prednosti:

- **nezavisnost od GPS signala i internet konekcije,**
- **minimalni infrastrukturni zahtjevi** (dovoljni su samo štampani markeri),
- **dinamička i intuitivna vizualizacija rute** unutar AR okruženja.

Glavna razlika između dvije studije ogleda se u složenosti mapiranja: u zatvorenim prostorima mapiranje zahtijeva nešto detaljnije modeliranje i preciznost zbog hodnika i spratova, dok se u vanjskim prostorima proces može ubrzati korišćenjem postojećih mapa i topografskih podataka. Ipak, u oba slučaja sistem bi/je pokazao **visok nivo skalabilnosti** i mogućnost prilagođavanja različitim korisničkim scenarijima.

Ovi nalazi potvrđuju hipotezu rada – da je proširena stvarnost u kombinaciji sa marker-based pozicioniranjem i grafom waypointova pouzdana i efikasna metoda navigacije u prostorima gdje tradicionalne tehnologije zakazuju.

6. ZAKLJUČAK

Novi razvijeni AR navigacioni sistem baziran na markerima i unaprijed definisanoj mreži *waypointova* pokazuje širok spektar primjene — od kompleksnih zatvorenih prostora poput univerzitetskih zgrada, kliničkih centara, biblioteka, namjenskih objekata sa slabijom ili nikakvom pokrivenošću eksternim signalima, pa sve do otvorenih i signalno izolovanih područja kao što su nacionalni parkovi. U oba scenarija osnovna prednost ovog rješenja leži u **nezavisnosti od GPS signala, Wi-Fi mreže ili signalizatorske (Bluetooth) infrastrukture**. Dok GPS i Wi-Fi mogu biti nepouzdan ili potpuno neupotrebljivi u određenim okruženjima, a signalizatorski sistemi zahtijevaju skupu i osjetljivu opremu, AR marker bazirani pristup omogućava navigaciju **bez potrebe za stalnim pristupom internetu** i uz minimalne infrastrukturne zahtjeve.

Kombinacija **preciznog prostornog mapiranja u Unity sceni, fleksibilnog algoritma za izračun optimalnih ruta i intuitivnog korisničkog interfejsa** omogućava prilagođavanje sistema različitim tipovima objekata i terena. Na univerzitetima, sistem olakšava kretanje studenata i gostiju kroz više spratova i kompleksne rasporede hodnika. U prirodnim parkovima i udaljenim područjima, isti princip doprinosi sigurnosti posjetilaca, pružajući im pouzdanu navigaciju ili sistem upozorenja i specifičnih instrukcija bez oslanjanja na eksterni signal.

Ova tehnologija se sa svim pomenutim karakteristikama može smatrati **skalabilnim, univerzalnim i održivim rješenjem** za navigaciju u okruženjima gdje konvencionalne metode mogu da zakažu. Njena dalja nadogradnja može uključivati proširene informacione slojeve (informativne ploče, sigurnosna upozorenja, multimedijalni vodiči) i integraciju sa drugim sensorima, čime bi se dodatno povećala upotrebljivost i vrijednost sistema

Reference

- [1] S. Ingole, M. Gite, M. P. Nikhade, and A. V. Deshmukh, "Augmented Reality for Indoor Navigation: A Survey," in *Advances in Data-driven Computing and Intelligent Systems*, Springer, 2023, pp. 247–259.
- [2] W. Zhang, "BIM and AR Integration for Indoor Navigation Systems," *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, vol. 24, no. 5, 2025. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1226798824051511>
- [3] M. Lu, Y. Liu, and H. Zhang, "Augmented Reality Indoor Navigation with Geofencing-Based Calibration," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 10, 2024. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/10/4262>
- [4] C. Rubio-Sandoval, M. J. Rodríguez-Pupo, F. J. García-Peñalvo, and J. A. García-Holgado, "Augmented Reality and Semantic Web Technologies for Indoor Navigation," *Sensors*, vol. 21, no. 16, 2021. [Online]. Available: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8401022>
- [5] S. Dutta, A. Sharma, and S. K. Singh, "NavMarkAR: Landmark-Based Augmented Reality Navigation for Elderly Users," *arXiv preprint*, arXiv:2311.12220, 2023. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2311.12220>
- [6] X. Li, H. Wang, and J. Chen, "Visual Localization with LLM-Guided AR Navigation," *arXiv preprint*, arXiv:2508.08120, 2025. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2508.08120>
- [7] F. A. De Rosa, G. Fico, A. Bruns, and D. Sanchez, "Nextome: A Beacon-Based Indoor Positioning System," *Proceedings of the International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, 2014.
- [8] IndoorAtlas, "Geomagnetic Indoor Positioning," 2021. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_positioning
- [9] Unity Technologies, "Unity Real-Time Development Platform," Unity, 2025. [Online]. Available: <https://unity.com>
- [10] Unity Technologies, "AR Foundation: Cross-Platform Framework for AR," Unity Documentation, 2025. [Online]. Available: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.foundation>
- [11] Microsoft, "C# Programming Language Specification," Microsoft Docs, 2025. [Online]. Available: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp>
- [12] P. E. Hart, N. J. Nilsson, and B. Raphael, "A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths," *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, vol. 4, no. 2, pp. 100–107, 1968.



XVII međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITEO 2025

Banja Luka, 26 - 27. 9. 2025. godine



WAL (WRITE-AHEAD LOG) KAO OSNOVA POUZDANOSTI ZA BAZE PODATAKA I DISTRIBUIRANE SISTEME

Dragana Stevanović

Student Fakulteta informacionih tehnologija, Univerzitet Apeiron, Banja Luka
dragana.stevanovic1@apeiron-edu.eu

Dražen Marinković

Fakultet informacionih tehnologija, Univerzitet Apeiron, Banja Luka
drazen.m.marinkovic@apeiron-edu.eu

Sažetak: Write-Ahead Logging (WAL) predstavlja fundamentalni protokol za obezbeđivanje pouzdanosti i konzistentnosti u transakcionim bazama podataka i distribuiranim sistemima. Njegov osnovni princip – da se sve promene moraju prvo zabeležiti u trajnom log fajlu pre nego što se primene na podatke – ključan je za garantovanje atomičnosti i trajnosti (Durability), dva esencijalna ACID svojstva. Ovaj rad detaljno istražuje mehanizme WAL-a, uključujući Log Sequence Numbers (LSN), Redo i Undo operacije, te ulogu kontrolnih tačaka (Checkpoints) u efikasnom oporavku od pada sistema. Analiziraju se specifične implementacije WAL-a u popularnim sistemima za upravljanje bazama podataka kao što su PostgreSQL, MySQL (InnoDB), SQL Server i Oracle, ističući njihove arhitektonske nijanse i optimizacije. Pored toga, rad se bavi primenom WAL principa u distribuiranim okruženjima, objašnjavajući njegovu ulogu u replikaciji i konsenzus protokolima poput Paxosa i Rafta, kao i u sistemima kao što su Apache Kafka, Apache Cassandra i etcd. Konačno, istražuju se izazovi povezani sa upravljanjem WAL-om, optimizacije performansi, uticaj novih hardverskih tehnologija (NVMe, Persistent Memory) i budući trendovi u cloud-native i serverless arhitekturama, naglašavajući kontinuiranu evoluciju ovog nezamenljivog mehanizma za integritet podataka.

Ključne reči: Write-Ahead Logging (WAL), ACID svojstva, Log Sequence Numbers (LSN), kontrolne tačke (Checkpoints), WAL principi u distribuiranim okruženjima

WAL (Write-Ahead Log) AS A BASIS OF RELIABILITY FOR DATABASES AND DISTRIBUTED SYSTEMS

Abstract: Write-Ahead Logging (WAL) is a fundamental protocol for ensuring reliability and consistency in transactional databases and distributed systems. The principle that all changes must first be recorded in a persistent log file before being applied to the data is core and critical for guaranteeing atomicity and durability, two essential ACID properties. This paper thoroughly explores the mechanisms of WAL, including Log Sequence Numbers (LSN), Redo and Undo operations, and the role of checkpoints in efficient system crash recovery. It analyzes specific WAL implementations in popular database management systems such as PostgreSQL, MySQL (InnoDB), SQL Server, and Oracle, highlighting their architectural nuances and optimizations. Additionally, the paper addresses the application of WAL principles in distributed environments, explaining its role in replication and consensus protocols such as Paxos and Raft, as well as in systems like Apache Kafka, Apache Cassandra, and etcd. Finally, it examines challenges related to WAL management, performance optimizations, the impact of new hardware technologies (NVMe, Persistent Memory), and future trends in cloud-native and serverless architectures, emphasizing the ongoing evolution of this indispensable mechanism for data integrity.

Keywords: *Write-Ahead Logging (WAL), ACID properties, Log Sequence Numbers (LSN), checkpoints, WAL principles in distributed environments*

1. UVOD

U svetu informacionih tehnologija, gde su podaci postali ključni resurs, obezbeđivanje njihove trajnosti i konzistentnosti predstavlja fundamentalni izazov. Write-Ahead Logging (WAL) se etablirao kao temeljni protokol u transakcionim bazama podataka, dizajniran upravo da odgovori na ovaj izazov. Njegov osnovni princip je jednostavan, ali izuzetno moćan: sve promene koje se nameravaju primeniti na bazu podataka moraju se prvo zabeležiti u trajnom log fajlu pre nego što se same promene fizički primene na podatke u bazi.

WAL je nezaobilazan mehanizam za obezbeđivanje atomičnosti i trajnosti (durability), dva od četiri ACID svojstva koja su fundamentalna za pouzdanost transakcionih sistema. U kontekstu WAL-a, log fajl je "append-only" struktura koja se čuva na disku i služi kao nepromenljiv zapis svake modifikacije izvršene nad bazom podataka. Njegova primarna svrha je omogućavanje oporavka od pada sistema i osiguranje integriteta transakcija. Ovaj pristup garantuje da je svaka transakcija ili u potpunosti završena (sve promene su primenjene) ili uopšte nije primenjena (nijedna promena nije primenjena), čime se održava atomičnost, jedno od ključnih ACID osobina. U slučaju neočekivanog pada sistema, kao što je nestanak struje ili softverska greška, WAL omogućava bazi podataka da se vrati u konzistentno stanje. To se postiže rekonstrukcijom svih komitovanih transakcija – onih koje su zabeležene u logu, ali možda nisu fizički upisane na disk – i poništavanjem svih nekomitovanih transakcija, koje su započete, ali nisu završene pre pada, čime se održava trajnost baze podataka, još jedna od ključnih ACID osobina.

Pored primarne uloge u oporavku, WAL doprinosi i optimizaciji performansi. Omogućava sekvencijalne upise na disk u log fajl, što je znatno brže i efikasnije od nasumičnih upisa na stranice podataka. Ova optimizacija I/O operacija smanjuje zagušenje i povećava propusnost, posebno u scenarijima sa velikim brojem upisa.

Važno je naglasiti da WAL nije samo opcionalna karakteristika ili optimizacija performansi, već je apsolutni preduslov za bilo koji sistem baze podataka koji garantuje transakcionu integritet i pouzdanost podataka u slučaju kvarova. Ako WAL ne bi bio prisutan, a pad sistema bi se dogodio nakon modifikacije u memoriji, ali pre nego što je ta modifikacija upisana na disk i pre nego što je transakcija u potpunosti komitovana, sistem ne bi imao pouzdan način da sazna u kom stanju podaci treba da budu. Ne bi bilo moguće znati da li treba zadržati delimičnu promenu, poništiti je ili je dovršiti, što bi dovelo do nekonzistentnosti podataka i potencijalne korupcije. Prisustvo WAL-a fundamentalno transformiše nepouzdan sistem u pouzdan. Njegovo usvajanje u različitim sistemima naglašava univerzalnu neophodnost za robusno upravljanje podacima.

2. TEMELJNI PRINCIPI WAL-A I ACID SVOJSTVA

Razumevanje kako WAL osigurava ACID svojstva, posebno atomičnost i trajnost, zahteva dublje razmatranje njegove operativne logike i strukture.

3. ATOMIČNOST I TRAJNOST I KAKO IH WAL OSIGURAVA

Srž WAL-a leži u njegovoj sposobnosti da garantuje atomičnost i trajnost transakcija. Atomičnost podrazumeva da su transakcije nedeljive jedinice rada - ili se sve modifikacije unutar transakcije uspešno primenjuju (komituju) ili se nijedna ne primenjuje (poništavaju se, rollback). WAL logovi su ključni za ovo, jer omogućavaju sistemu da prati sve operacije transakcije. U slučaju delimično završene transakcije usled pada, logovi sadrže dovoljno informacija za vraćanje sistema u stanje pre početka te transakcije, čime se sprečavaju delimični upisi koji bi narušili konzistentnost.

Trajnost znači da jednom kada je transakcija komitovana, njeni efekti moraju trajno opstati, čak i ako sistem doživi pad odmah nakon toga. WAL osigurava trajnost tako što zahteva da se svi log zapisi povezani sa transakcijom upišu na trajno skladište (disk) pre nego što se aplikaciji potvrdi da je transakcija uspešno komitovana. To znači da čak i ako se modifikovane stranice podataka (mali deo baze gde se čuvaju podaci, poput reda u tabeli) još uvek nalaze samo u memoriji (u bafer pulu) i sistem se sruši, log sadrži sve potrebne informacije za rekonstrukciju komitovanih promena tokom procesa oporavka.

Ove garancije se postižu primenom dva ključna pravila WAL-a. Prvo pravilo je da log zapisi koji opisuju promene moraju biti upisani na hard disk pre nego što se upišu u bazu podataka. Drugo pravilo je da svi log zapisi povezani sa transakcijom moraju biti upisani na disk kada se ta transakcija komituje, što je ključno za trajnost jer sistem na ovaj način trajno prati koje je operacije komitovana transakcija izvršila. Bez toga, u slučaju pada sistema pre nego što se izmene primene na bazu, ne bi postojala informacija o tome koje operacije treba ponoviti (redo) da bi se baza podataka vratila u komitovano stanje.

4. REDNI BROJ LOGA I ULOGA U OPORAVKU

Redni broj loga (LSN - Log Sequence Number) predstavlja jedinstven, monotono rastući identifikator dodeljen svakom novom log zapisu, čime se stvara logički redosled svih operacija nad bazom podataka. Koncept dodele LSN-a omogućava praćenje napretka oporavka i osigurava pravilan redosled ponovnog primenjivanja promena, služeći kao "pokazivač" unutar log fajla.

Svaka stranica podataka u bazi podataka ima pridružen LSN (često nazvan pageLSN), obično upisan u zaglavlju stranice. Ovaj pageLSN označava LSN najnovijeg log zapisa koji je modifikovao tu specifičnu stranicu. Tokom oporavka, pageLSN se koristi za proveru da li je stranica na disku zastarela u odnosu na log. LSN takođe igra ulogu u određivanju početne tačke oporavka, gde sistem koristi LSN poslednje kontrolne tačke (checkpointLSN) kao referentnu tačku za početak skeniranja loga i procesa oporavka.

5. STRUKTURA WAL ZAPISA

U Write-Ahead Logging (WAL) sistemima, log zapisi ne sadrže kompletne kopije stranica podataka, već precizno dokumentuju specifične izmene izvršene nad podacima. Ovaj pristup smanjuje količinu podataka koja se upisuje u log fajl, čime se poboljšava efikasnost sistema. Postoje tri glavna pristupa logovanju, svaki sa specifičnim karakteristikama, prednostima i ograničenjima: fizičko, logičko i fiziološko logovanje.

Fizičko logovanje podrazumeva čuvanje potpunih kopija stranica podataka pre i posle izmene (poznatih kao before-image i after-image). Iako je jednostavan za implementaciju zbog svoje direktnosti, ovaj pristup generiše velike količine podataka, što može značajno opteretiti performanse sistema i povećati zahteve za skladištenjem.

Kod logičkog logovanja se beleže operacije na višem nivou, kao što su SQL naredbe. Ovaj metod je efikasniji u pogledu prostora jer zapisi zauzimaju manje memorije, ali oporavak može biti komplikovan. Ponovno izvršavanje logičkih operacija može dovesti do različitih ishoda ako su se, na primer, strukture podataka poput indeksa promenile tokom vremena.

Fiziološko logovanje predstavlja hibridni pristup koji kombinuje prednosti prethodna dva metoda i često se smatra optimalnim zbog svoje ravnoteže između efikasnosti i robustnosti u procesima oporavka. Identifikuje specifičnu stranicu podataka koja je izmenjena i beleži promene na nivou bajtova unutar te stranice. Ovaj pristup obično rezultira idempotentnim operacijama, što znači da ponovna primena istih operacija ne menja konačni rezultat. Ova osobina čini fiziološko logovanje posebno pogodnim za pouzdan redo proces tokom oporavka sistema.

Izbor modela logovanja direktno utiče na prostor koji WAL zauzima, performanse upisa (zbog volumena loga) i složenost/brzinu oporavka od pada. Dizajneri baza podataka imaju zadatak da pažljivo izaberu tip logovanja na osnovu karakteristika radnog opterećenja i ciljeva oporavka, jer ne postoji jedinstven "najbolji" pristup za sve scenarije.

6. MEHANIZMI OPORAVKA OD GREŠAKA (CRASH RECOVERY)

Centralna funkcija WAL-a ogleda se u njegovoj sposobnosti da omogućiti efikasan oporavak od grešaka, što se postiže pomoću precizno koordinisanih operacija ponovnog izvršavanja (Redo) i poništavanja (Undo), pomoću fazi oporavka i strateške upotrebe kontrolnih tačaka.

7. FAZE OPORAVKA OD GREŠAKA

Većina modernih sistema baza podataka, uključujući one koji koriste WAL, primenjuje trofazni algoritam oporavka, često baziran na ARIES (Algorithm for Recovery and Isolation Exploiting Semantics) metodi: faza analize, faza REDO (Repeating History) i faza UNDO (Rolling Back Losers).

U fazi analize DBMS skenira WAL od poslednje kontrolne tačke (ili ranije, ako je potrebno) do kraja loga. Cilj je rekonstruisati stanje sistema u trenutku pada. Identifikuju se sve transakcije koje su bile aktivne (nekomitovane) u trenutku pada (često se nazivaju "loser" transakcije) i sve "prljave" stranice koje su se nalazile u bafer pulu. Na osnovu ovih informacija, određuje se redoLSN, što je najraniji LSN od kojeg mora početi faza REDO.

Primarna funkcija WAL-a tokom početnih faza oporavka je ponovno primenjivanje promena koje su bile komitovane pre pada sistema, ali čiji efekti možda nisu bili fizički upisani na stranice podataka. WAL se često naziva "Redo Log" upravo zbog ove funkcionalnosti. Sistem skenira log unapred i ponovo primenjuje svaku promenu opisanu u log zapisu, ali samo ako ta promena već nije prisutna na stranici podataka. Ova provera se vrši poređenjem pageLSN-a na stranici sa LSN-om trenutnog log zapisa. Za uspešan redo, operacije zabeležene u logu moraju biti idempotentne. Ova faza osigurava trajnost komitovanih transakcija i dovodi bazu podataka u tačno stanje u kojem se nalazila u trenutku pada, uključujući i efekte nekomitovanih transakcija.

Nakon što se baza podataka dovede u stanje u trenutku pada putem REDO operacija, sledi faza poništavanja. Ova faza osigurava atomičnost transakcija. Sistem poništava operacije koje pripadaju transakcijama koje su bile aktivne (nekomitovane) u trenutku pada. Za svaku poništenu UPDATE operaciju, piše se poseban CLR (Compensation Log Record) u log, koji sadrži informacije potrebne za vraćanje promene. Na ovaj način se osigurava da se baza podataka vrati u konzistentno stanje koje odražava samo komitovane transakcije.

8. ULOGA KONTROLNIH TAČAKA U SMANJENJU VREMENA OPORAVKA

WAL sistem obezbeđuje trajnost podataka, ali ako se zapisi kontinuirano dodaju u log fajl bez ikakvog uklanjanja, log bi neograničeno rastao, što bi oporavak učinilo predugačkim. Kontrolne tačke (checkpoints) rešavaju ovaj problem. Ovaj mehanizam služi da bi se povremeno minimizirala količina posla potrebna za oporavak nakon kvara sistema, tako što smanjuje "prozor oporavka" – deo log fajla koji je potrebno obraditi tokom oporavka.

Prilikom kreiranja kontrolne tačke, sistem upisuje sve "prljave" stranice iz memorije na disk do određenog trenutka ("prljave" stranice - podaci koji su modifikovani u memoriji, ali još uvek nisu upisani na disk). Kada su svi relevantni podaci upisani, u WAL se dodaje zapis o kontrolnoj tački, koji sadrži podatke o stanju sistema, uključujući tabele transakcija i tabele "prljavih" stranica. Ovo omogućava da se pri oporavku proces započne od poslednje kontrolne tačke (checkpointLSN), što značajno ubrzava oporavak jer nije potrebno skenirati ceo log fajl od početka.

Postoji ravnoteža između učestalosti kontrolnih tačaka i performansi sistema. Češće kontrolne tačke skraćuju vreme oporavka, ali povećavaju opterećenje diska tokom uobičajenog rada. Manje učestale kontrolne tačke smanjuju opterećenje diska, ali produžavaju proces oporavka nakon kvara.

9. POLITIKA "NO-FORCE" ZA STRANICE PODATAKA I INTERAKCIJE SA BAFER PULOM

Politika "no-force" (deo ARIES algoritma) je ključna za optimizaciju performansi upisa. Ona znači da se "prljave" stranice podataka (one koje su modifikovane u bafer pulu – in-memory kešu) ne moraju odmah forsirati na disk kada se transakcija komituje. Umesto toga, one se upisuju na disk u kasnijem, pogodnijem trenutku, obično od strane pozadinskog procesa za pisanje ili tokom kreiranja kontrolne tačke. Ovaj pristup značajno smanjuje broj nasumičnih I/O operacija na disku i poboljšava ukupnu propusnost sistema, jer se upisi na stranice podataka mogu grupisati i izvršiti efikasnije.

Interakcija između kontrolnih tačaka i politike "no-force" predstavlja dinamičku ravnotežu između postizanja visokog protoka transakcija (performansi) i osiguravanja brzog, potpunog oporavka (pouzdanosti). Politika "no-force" optimizuje normalan rad smanjujući sinhrona pisanja na disk, dok kontrolne tačke periodično "sustignu" kako bi ograničile količinu loga koju treba ponovo primeniti tokom oporavka. Ovo nije statička konfiguracija koja se može jednom postaviti, već dinamički sistem koji zahteva kontinuirano praćenje i adaptivno podešavanje od strane administratora baza podataka. Optimalni balans zavisi od specifičnog radnog opterećenja (intenzivno čitanje vs. intenzivno pisanje), prihvatljivog Recovery Time Objective (RTO) i Recovery Point Objective (RPO) za aplikaciju. Sistem dizajniran za visok protok može tolerisati duže vreme oporavka, dok bi kritični finansijski sistem prioritarno težio minimalnom RTO/RPO, čak i po cenu nekih performansi.

10. KEY PERFORMANCE INDIKATORI

Key Performance indikatori (KPI) za primenu Write-Ahead Loga odnose se na merenje njegove efikasnosti u poboljšanju pouzdanosti, performansi i oporavka sistema baza podataka. WAL je ključna komponenta mnogih baza podataka, a pravilno merenje njegovog uticaja pomaže u optimizaciji celog sistema.

Neki od ključnih KPI-jeva, podeljeni u relevantne kategorije su:

1. Performanse i latencija

- Prosečna latencija transakcije meri prosečno vreme potrebno da se transakcija završi, od početka do pisanja u WAL i potvrđivanja. Cilj je da ova vrednost bude što niža.
- Propusnost pisanja u WAL predstavlja broj transakcija ili količinu podataka (u MB/s) koje se mogu zapisati u WAL u jedinici vremena. Visoka vrednost ukazuje na efikasnost WAL podsistema.
- I/O Operations per Second (IOPS) je broj operacija čitanja/pisanja u sekundi na disku gde se nalazi WAL. Praćenje IOPS-a pomaže u identifikaciji uskih grla u podsistemu za skladištenje.

2. Pouzdanost i oporavak

- Recovery Time Objective (RTO) je vreme potrebno da se baza podataka oporavi nakon pada sistema. Što je kraći RTO, to je sistem pouzdaniji i WAL efikasniji u obezbeđivanju brze obnove.
- Gubitak podataka nakon pada predstavlja količinu podataka (obično merena u broju transakcija ili veličini) koja se izgubi nakon pada. Idealno, zahvaljujući WAL-u, ova vrednost bi trebalo da bude nula.
- Checksum Verification Failures (Neuspesi provere kontrolne sume) predstavlja broj neuspeha u verifikaciji integriteta WAL zapisa. Visok broj ukazuje na potencijalne probleme s hardverom ili softverske greške koje utiču na pouzdanost.

3. Iskorišćenost resursa

- Iskorišćenost diska za WAL je veličina prostora na disku koji se koristi za skladištenje WAL fajlova. Praćenje ovog KPI-a je ključno za upravljanje resursima i planiranje kapaciteta.
- Iskorišćenost procesora za WAL je količina CPU resursa koje se troše na operacije pisanja u WAL. Visoka vrednost može ukazivati na potrebu za optimizacijom ili bržim procesorom.
- Iskorišćenost memorije za WAL bafer je količina RAM-a koja se alocira za privremeno skladištenje WAL zapisa pre nego što se prebace na disk. Optimalno korišćenje memorije može smanjiti latenciju.

4. Specifični KPI za sisteme sa replikacijom

Ako se WAL koristi za replikaciju podataka, dodatni KPI su:

- Kašnjenje replikacije - vreme koje protekne između pisanja transakcije na primarnom serveru i njene primene na replici. Manje kašnjenje ukazuje na efikasnu replikaciju.
- Brzina prenosa WAL fajlova - brzina kojom se WAL fajlovi prenose na replike. Važno je da ova brzina odgovara propusnosti mreže i diska.

Prateći ove KP indikatore, administratori baza podataka mogu dobiti jasnu sliku o tome kako WAL utiče na performanse i pouzdanost sistema, te doneti informisane odluke o optimizaciji.

11. POREĐENJE IMPLEMENTACIJE WAL-A SA PRIMEROM METRIKE PRODUKCIONE BAZE U MYSQL-U

Implementacija WAL-a u PostgreSQL-u, MySQL-u (InnoDB), SQL Serveru i Oracleu ima značajne arhitektonske razlike, iako svi sistemi poštuju fundamentalni WAL princip i teže ACID usklađenosti. Oracle eksplicitno razdvaja "redo logove" (za oporavak) i "undo segmente" (za konzistentnost čitanja i rollback). MySQL-ov InnoDB integriše obe funkcionalnosti unutar svojih "redo log" i "undo log" struktura, pri čemu undo log lanac podržava MVCC (Multi-Version Concurrency Control). SQL Server koristi "transakcioni log" koji obrađuje i redo i undo, sa jedinstvenim VLF (Virtual Log Files) upravljanjem i različitim modelima oporavka (Simple vs. Full). PostgreSQL nudi granularnu kontrolu nad wal_level i full_page_writes, utičući na performanse i oporavak.

Ova raznolikost ukazuje na to da, iako je osnovni problem, osiguravanje trajnosti i atomičnosti, univerzalan, inženjerska rešenja za njegovo postizanje su visoko raznolika i optimizovana za specifični dizajn svakog DBMS-a, kao i za ciljana radna opterećenja.

Unutrašnja arhitektura WAL-a, uključujući način na koji su log zapisi strukturirani, upravljani i ispražnjeni, ima duboke implikacije na ukupne performanse baze podataka, potrošnju skladišnog prostora i složenost njenog operativnog upravljanja. Interne arhitektonske odluke nisu samo detalji implementacije; one imaju direktne, merljive uticaje na operativne karakteristike baze podataka.

12. MYSQL INNODB - REDO I UNDO LOGOVI

InnoDB skladišni mehanizam u MySQL-u koristi sofisticiranu WAL mehaniku koja se sastoji od dva ključna tipa logova: redo loga i undo loga. Oba su ključna za ACID svojstva i MVCC.

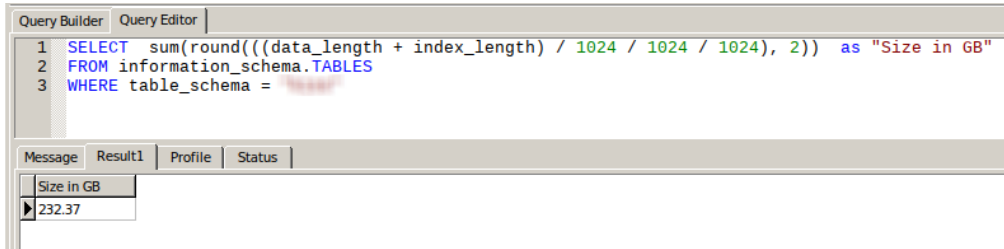
Redo Log (Transakcioni Log / InnoDB Log) primarno osigurava trajnost i pomaže u oporavku od pada. Beleži stvarne modifikacije napravljene u bazi podataka (npr. INSERT, UPDATE, DELETE) pre nego što se promene primene na podatkovne fajlove. Ako dođe do pada, redo log se koristi za ponovno primenjivanje komitovanih transakcija koje možda nisu bile upisane na disk.

Undo Log (Rollback Segment) je ključan za konzistentnost transakcija i MVCC. Kada transakcija modifikuje podatke, undo log beleži "before-image" (staru vrednost) modifikovanih podataka. Ova stara slika omogućava poništavanje promena tokom transakcije (rollback) ili tokom oporavka od pada. Undo log takođe omogućava MVCC, osiguravajući da konkurentne transakcije mogu čitati konzistentne podatke koristeći "before-image" slike, čime se izbegava blokiranje.

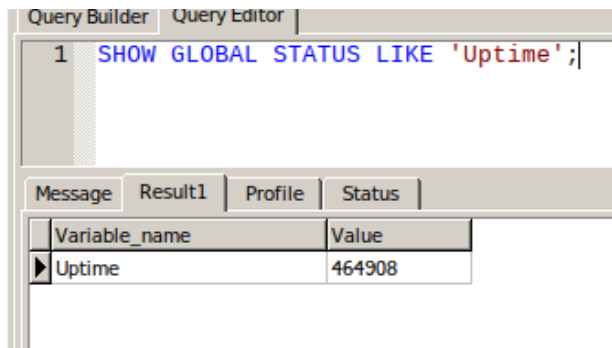
13. ANALIZA PERFORMANSI WAL MEHANIZMA U MYSQL 8

Analiza performansi je izvršena nad dve baze različite veličine i opterećenja, gde je prikazana dinamika REDO log upisa u InnoDB okruženju. Svaki slučaj pruža jedinstven uvid u ponašanje sistema pod različitim uslovima, bazirajući se na podacima prikupljenim tokom 20-minutnog razmaka između preseka. Prvi slučaj istražuje bazu od 232.37 GB (SI.1) sa serverom koji je

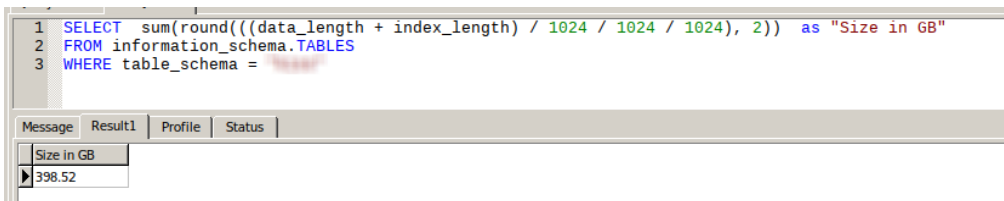
pokrenut pre 5 dana (Sl.2), dok drugi slučaj obrađuje bazu od 398.52 GB (Sl.3) sa serverom u pogonu 50 dana (Sl.4).



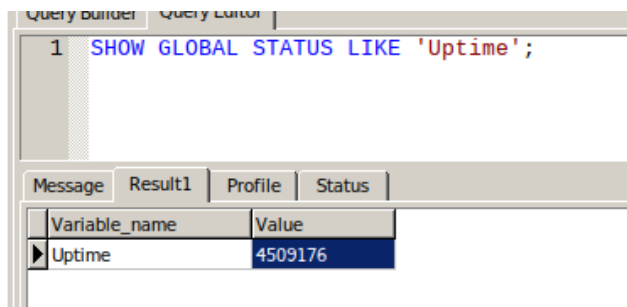
Slika 2 Veličina baze 1



Slika 3 Baza 1 - vreme od poslednjeg restarta



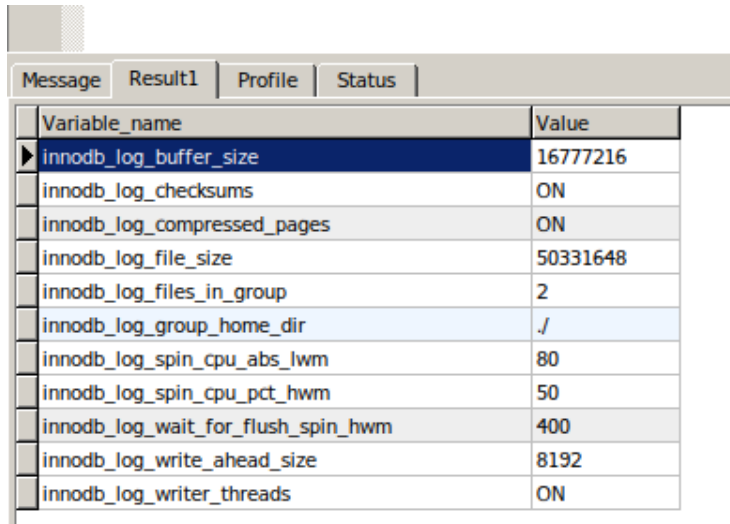
Slika 4 Veličina baze 2



Slika 5 Baza 2 - vreme od poslednjeg restarta

Oba seta podataka nude bogatstvo informacija koje se mogu tumačiti kroz statističke metrike.

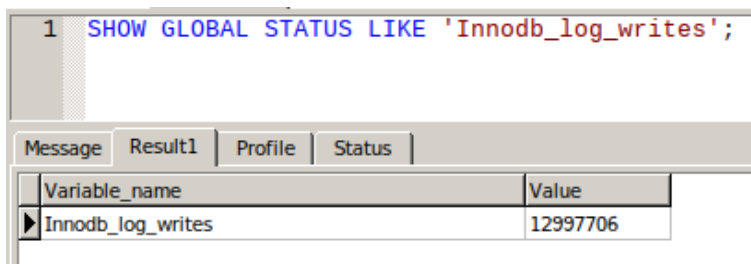
U prvom slučaju, slika koja prikazuje rezultat komande `SHOW VARIABLES LIKE 'innodb_log%'` otkriva konfiguraciju REDO log sistema, uključujući `innodb_log_buffer_size` od 16 MB, što označava kapacitet bafera za privremeno čuvanje upisa pre sinhronizacije na disk, zajedno sa `innodb_log_file_size` od 48 MB po fajlu i ukupno dva fajla u grupi, ukazujući na ukupnu kapacitet od 96 MB.



Variable_name	Value
innodb_log_buffer_size	16777216
innodb_log_checksums	ON
innodb_log_compressed_pages	ON
innodb_log_file_size	50331648
innodb_log_files_in_group	2
innodb_log_group_home_dir	./
innodb_log_spin_cpu_abs_lwm	80
innodb_log_spin_cpu_pct_hwm	50
innodb_log_wait_for_flush_spin_hwm	400
innodb_log_write_ahead_size	8192
innodb_log_writer_threads	ON

Slika 6 Konfiguracija REDO log sistema baze 1

Slika sa `SHOW GLOBAL STATUS LIKE 'Innodb_log_writes'` prikazuje početnu vrednost od 1,299,706 upisa, metrika koja meri ukupan broj fizičkih upisa na disk od pokretanja servera, dok `SHOW GLOBAL STATUS LIKE 'Innodb_log%'` dodaje uvid sa 2,945,269 zahteva za upis, odražavajući ukupan broj transakcija koje generišu redo log zapise. Razlika između ovih vrednosti, koja iznosi oko 1,645,563, ukazuje na stepen grupisanja upisa, sa omerom od približno 2.28, što pokazuje efikasnost I/O optimizacije. Drugi presek `SHOW GLOBAL STATUS LIKE 'Innodb_log_writes'` sa vrednošću 1,293,169, uzetih 20 minuta kasnije, pokazuje pad od 6,537 upisa, sugerišući varijaciju u stopi upisa koja se kreće oko 326.85 upisa po minuti u tom periodu, dok treći presek sa 1,284,536 upisa dalje naglašava oscilaciju sa porastom od 8,633 upisa, ili 431.65 upisa po minuti.



```
1 SHOW GLOBAL STATUS LIKE 'Innodb_log_writes';
```

Variable_name	Value
Innodb_log_writes	12997706

Slika 7 Broj fizičkih upisa na disk u bazi 1

```
7
8 SHOW GLOBAL STATUS LIKE 'InnoDB_log%';
```

Variable_name	Value
InnoDB_log_waits	0
InnoDB_log_write_requests	29452689
InnoDB_log_writes	12931609

Slika 8 Baza 1 - broj zahteva za upis

Drugi slučaj, gde slika sa `SHOW VARIABLES LIKE 'innodb_log%'` prikazuje `innodb_log_buffer_size` od 16 MB, `innodb_log_file_size` od 1 GB i dva fajla u grupi, ukazujući na znatno veći kapacitet od 2 GB, što omogućava duže periode pre checkpoint-a.

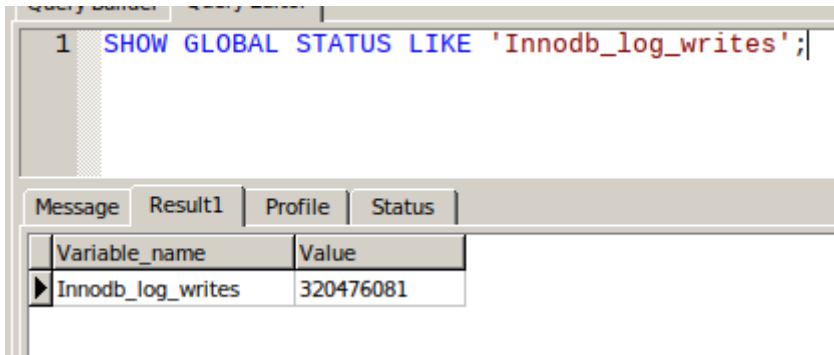
```
1 SHOW VARIABLES LIKE 'innodb_log%';
```

Variable_name	Value
innodb_log_buffer_size	16777216
innodb_log_checksums	ON
innodb_log_compressed_pages	ON
innodb_log_file_size	1073741824
innodb_log_files_in_group	2
innodb_log_group_home_dir	./
innodb_log_spin_cpu_abs_lwm	80
innodb_log_spin_cpu_pct_hwm	50
innodb_log_wait_for_flush_spin_hwm	400
innodb_log_write_ahead_size	8192
innodb_log_writer_threads	ON

Slika 9 Konfiguracija REDO loga baze 2

MySQL naredba `SELECT SUM(ROUND(((data_length + index_length) / 1024 / 1024 / 1024), 2)) as "Size in GB" FROM information_schema.TABLES WHERE table_schema = 'xxx'`

otkriva veličinu baze od 398.52 GB, metrika koja definiše obim podataka sa kojima sistem radi. Prvi presek `SHOW GLOBAL STATUS LIKE 'Innodb_log_writes'` sa vrednošću 320,476,084 upisa, u kombinaciji sa uptime-om od 4,509,176 sekundi, ili otprilike 50 dana, ukazuje na prosečnu stopu od 71 upis u svakoj sekundi, 6,140,619 upisa po danu, odnosno 4260 upisa po minuti preko celog perioda.



The screenshot shows a MySQL Query Builder window with the following content:

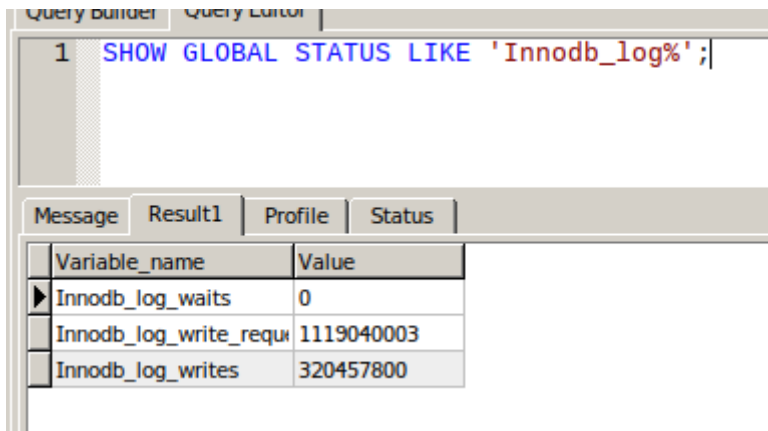
```
1 SHOW GLOBAL STATUS LIKE 'Innodb_log_writes';
```

Below the query, there are tabs for Message, Result1, Profile, and Status. The Result1 tab is active, displaying a table with the following data:

Variable_name	Value
Innodb_log_writes	320476081

Slika 10 Baza 2 - broj upisa

Slika sa `SHOW GLOBAL STATUS LIKE 'Innodb_log%'` dodaje dimenziju sa 1,119,040,003 zahteva za upis, čime se omjer između zahteva i upisa formira na 3,49, odražavajući visoku efikasnost grupisanja.



The screenshot shows a MySQL Query Builder window with the following content:

```
1 SHOW GLOBAL STATUS LIKE 'Innodb_log%';
```

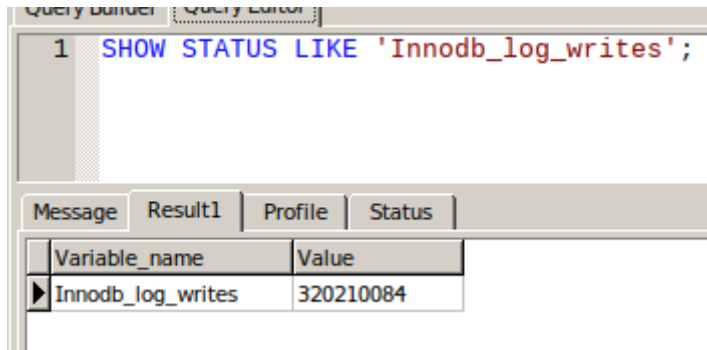
Below the query, there are tabs for Message, Result1, Profile, and Status. The Result1 tab is active, displaying a table with the following data:

Variable_name	Value
Innodb_log_waits	0
Innodb_log_write_requ	1119040003
Innodb_log_writes	320457800

Slika 11 Baza 2 - broj zahteva

Drugi snimak `SHOW GLOBAL STATUS LIKE 'Innodb_log_writes'` sa 320,210,084 upisom, zabilježen 20 minuta kasnije, pokazuje pad od 265,997 upisa, što se prevodi u stopu od 1,420

upisa po minuti, naglašavajući značajnu varijaciju u kratkoročnom opterećenju u odnosu na dugoročni prosek.



Slika 12 Baza 2 – broj upisa

Oba slučaja ilustruju kako se metrike poput `InnoDB_log_writes` i `InnoDB_log_write_requests` koriste za kvantifikaciju write aktivnosti, dok `uptime` pruža temporalni okvir za procenu dugoročnih trendova. Razlika između preseka u oba scenarija, uz 20-minutni razmak, omogućava uvid u dinamičke promene u stopi upisa, od 326.85 do 431.65 upisa po minuti u prvom slučaju, naspram 4260 do 1,420 upisa po minuti u drugom, ukazujući na različite obrasce opterećenja između baza od 232.37 GB i 398.52 GB. Ove metrike kolektivno crtaju sliku o tome kako se sistem nosi sa transakcijskim pritiskom, nudeći vredan uvid u performanse i potencijalne tačke optimizacije bazirane na veličini baze i dužini vremenskog perioda.

14. WAL U DISTRIBUIRANIM SISTEMIMA

Principi Write-Ahead Logginga se ne zadržavaju samo na monolitским bazama podataka; oni su ključni i za izgradnju pouzdanih i konzistentnih distribuiranih sistema.

15. REPLIKACIJA I KONZISTENTNOST - WAL SHIPPING I NJEGOVA ULOGA

Kod distribuiranog računarstva glavni izazov je poboljšanje dostupnosti, povećanje tolerancije na greške i poboljšanje pristupačnosti i performansi. Replikacija je jedna od najvažnijih tehnika za održavanje više kopija podataka i procesa, a samim tim i konzistentnost preko redundantnih komponenti.

WAL shipping je specifična tehnika replikacije gde se write-ahead log skladišnog mehanizma šalje na druge čvorove. Ovaj proces osigurava da sve replike imaju identične strukture podataka i da se promene primenjuju u istom redosledu kao i na primarnom čvoru. Strategije oporavka koje se baziraju na korištenju loga, a posebno implementacije WAL-a, pokazale su se izuzetno efikasnim u održavanju konzistentnosti podataka tokom scenarija otkaza u distribuiranim sistemima. Studije su pokazale visoke stope očuvanja konzistentnosti podataka (do 99.9997%) sa relativno niskim prosečnim vremenima oporavka (oko 25.7 sekundi). Ovo naglašava kritičnu

ulogu sofisticiranih mehanizama za detekciju grešaka i oporavak u postizanju visokih nivoa pouzdanosti i konzistentnosti u distribuiranim sistemima.

16. KONSENZUS PROTOKOLI (PAXOS, RAFT) I POVEZANOST SA WAL-OM

Distribuirani konsenzus je ključni preduslov za izgradnju sistema otpornih na greške i sa jakim konzistentnošću. Iako se u literaturi često ne koristi eksplicitan termin "WAL" u kontekstu konsenzus protokola poput Paxosa i Rafta, koncept "replikovanog loga" koji je u njihovoj osnovi funkcionalno je ekvivalentan WAL-u. Ovi protokoli zahtevaju da svaki automat stanja (state machine) primi iste operacije u istom redosledu, što se postiže upravo putem distribuiranog konsenzusa nad replikovanim logom.

U Raftu, na primer, lider dodaje operacije u svoj log, a zatim traži od drugih servera da učine isto. Tek kada lider primi potvrde od većine servera, operacija se primenjuje na njegov automat stanja. Raft pojednostavljuje proces konsenzusa deleći problem na izbor lidera, replikaciju loga i sigurnost, koristeći model jakog lidera gde sve promene teku kroz lidera. Raft dozvoljava samo serverima sa ažuriranim logovima da postanu lideri, dok Paxos dozvoljava bilo kom serveru da bude lider pod uslovom da zatim ažurira svoj log kako bi bio ažuran. Ova razlika u pristupu izboru lidera, uz Raftovu jednostavnost, pokazala se iznenađujuće efikasnom. Replikovani log u ovim protokolima služi kao trajni zapis operacija, osiguravajući da se sve replike slažu oko redosleda događaja i da mogu zadržati konzistentna stanja, čak i u prisustvu kvarova.

17. STUDIJE SLUČAJA - WAL-LIKE MEHANIZMI U REALNOM SVETU

Različiti distribuirani sistemi implementiraju mehanizme slične WAL-u kako bi osigurali trajnost i konzistentnost, prilagođavajući se svojim specifičnim arhitekturama i ciljevima.

Apache Kafka, kao distribuirana platforma za striming, se oslanja na robustan mehanizam replikacije i koncept In-Sync Replicas (ISR) kako bi osigurala trajnost i dostupnost podataka. Svaka particija Kafka teme se replicira na više brokera. ISR je skup replika koje su u potpunosti sinhronizovane sa lider replikom particije. Lider obrađuje sve upise i čitanja, dok pratioci repliciraju podatke od lidera, što je ključno za održavanje konzistentnosti particije.

Apache Cassandra (Commit Log), kao nerelaciona baza podataka, ne koristi tradicionalne RDBMS ACID transakcije sa rollbackom ili mehanizmima zaključavanja, već nudi atomske, izolovane i trajne transakcije sa podesivom konzistentnošću. Uprkos tome, njeni upisi su trajni. Sve operacije upisa na repliku čvora se beleže i u memoriji (memtables) i u commit logu na disku pre nego što se potvrde kao uspešne. Commit log je primarni mehanizam za oporavak u slučaju pada. Ako se pad sistema dogodi pre nego što se podaci iz memtablea (in-memory struktura) isperu na disk i upišu u SSTables (Sorted String Tables), commit log se ponovo primenjuje prilikom ponovnog pokretanja. Ovaj proces ponovne primene omogućava Cassandri da oporavi sve upise koji su bili u memoriji, ali još uvek nisu bili perzistentni na disku, čime se osigurava lokalna trajnost. Replikacija podataka na drugim čvorovima u klasteru dodatno jača ukupnu trajnost podataka.

ETCD (WAL + Raft) je distribuirani, pouzdano key-value skladište koji je ključna komponenta u modernim distribuiranim sistemima, dizajnirano da pruži otpornost na greške i visoko dostupno skladište za kritične podatke. etcd koristi Write-Ahead Log (WAL) za osiguravanje trajnosti podataka, beležeći svaku promenu pre nego što je primeni na glavnu bazu podataka. Ključno je da etcd koristi Raft konsenzus algoritam za upravljanje visoko dostupnim

replikovanim logovima i osiguravanje konzistentnosti. Raft omogućava klasterima da nastave sa radom sve dok je većina čvorova dostupna. Lider obrađuje zahteve klijenata, loguje ih, a zatim replicira ove log zapise pratiocima. Log zapis se smatra komitovanim tek nakon što je repliciran na većinu čvorova, što garantuje konzistentnost i sprečava gubitak podataka. etcd je dizajniran da spreči scenarije "split-braina" u slučaju mrežne particije, dozvoljavajući samo grupi sa većinom da vrši promene.

18. IZAZOVI I OPTIMIZACIJE WAL-A

Jedan od primarnih izazova WAL-a je upravljanje kontinuiranim rastom log fajlova. Bez odgovarajućih mehanizama, WAL bi neograničeno rastao, što bi dovelo do iscrpljivanja disk prostora i značajno produžilo vreme oporavka. Visok obim podataka i česti upisi u analitičkim radnim opterećenjima stvaraju značajne zahteve za skladištenjem i obradom. Logovanje svake transakcije troši značajan disk prostor, povećavajući operativne troškove. Dodatno, složenost WAL implementacije može predstavljati izazov za administratore baza podataka koji nisu upoznati sa njenim mehanizmima. Za upravljanje ovim izazovima, ključno je optimizovati frekvenciju kontrolnih tačaka i redovno arhiviranje WAL fajlova.

19. PERFORMANSE U EKSTREMNIM SCENARIJIMA

U okruženjima sa visokim protokom upisa, WAL može uvesti dodatno opterećenje. Logovanje svih promena pre nego što se primene na glavnu bazu podataka može postati usko grlo, posebno kada se radi sa velikim setovima podataka. Zahteva se veća procesorska snaga za upravljanje i ponovno primenjivanje logova tokom oporavka. Bez pravilne konfiguracije, sistem se može boriti da održi performanse i trajnost pod teškim radnim opterećenjima.

Da bi se optimizovale performanse bez ugrožavanja trajnosti, potrebno je pažljivo podesiti WAL parametare: veličine WAL bafera i konfigurisanje frekvencije kontrolnih tačaka .

20. NAPREDNE TEHNIKE I OPTIMIZACIJE

Razvoj baza podataka doveo je do niza naprednih tehnika i optimizacija za WAL, koje imaju za cilj poboljšanje performansi i efikasnosti.

Grupno komitovanje se implementira u mnogim DBMS-ovima da bi se smanjilo opterećenje povezano sa skupim fsync() pozivima. Ova tehnika grupiše log zapise iz više transakcija i komituje ih jednom fsync operacijom. Ovo amortizuje trošak fsync-a preko nekoliko transakcija, što poboljšava propusnost, iako može neznatno povećati latenciju za pojedinačne transakcije. Veličina log bafera takođe utiče na efikasnost grupnog komitovanja; veći bafer može držati više log zapisa pre nego što se forsira ispuštanje.

Za replike ili za čitanje lokacije za oporavak od katastrofe, WAL zapisi se često šalju asinhrono (ili polu-sinhrono) ovim replikama, što predstavlja asinhrono logovanje/replikaciju. Zaostajanje između slanja i primene ovih logova je ključna metrika za replikaciju. Iako asinhrona replikacija nudi bolje performanse, nosi rizik gubitka podataka tokom pada u poređenju sa sinhronom replikacijom.

Log zapisi ili arhivirani logovi mogu se komprimovati radi uštede prostora za skladištenje. Međutim, kompresija loga dodaje opterećenje procesoru.

Nove napredne hardverske tehnologija kao što su NVMe i Persistent Memory značajno utiču na performanse WAL-a. NVMe SSD-ovi značajno poboljšavaju performanse WAL-a smanjujući I/O diska i ističući se u rukovanju velikim sekvencijalnim upisima, što ih čini idealnim za logovanje. Sa latencijom sub-200µs i milionima IOPS-a, NVMe omogućava bazama podataka da rade bliže svojim teoretskim granicama. Persistent Memory (PMEM) ili NVDIMM, s druge strane, nudi pristup stabilnom skladištu brzinom glavne memorije (manje od 10 mikrosekundi, za razliku od milisekundi), što predstavlja poboljšanje performansi za red veličine. Ova tehnologija ima potencijal da transformiše dizajn WAL-a smanjenjem uskih grla latencije i potrebe za tradicionalnim mehanizmima keširanja, što može dovesti do novih modela trajnosti. Relacione baze podataka, poput SQL Servera, koriste transakcioni log za osiguravanje trajnosti, a performanse uređaja na koji se logovi pišu direktno utiču na propusnost baze podataka.

21. ZAKLJUČAK

Write-Ahead Logging (WAL) predstavlja nezaobilazan stub pouzdanosti i konzistentnosti u savremenim sistemima za upravljanje podacima i distribuiranim okruženjima. Njegov osnovni princip – logovanje svih promena pre nego što se primene na glavnu bazu podataka – ključan je za osiguravanje atomičnosti i trajnosti transakcija, dva fundamentalna svojstva ACID modela.

U distribuiranim sistemima, principi WAL-a se proširuju kroz mehanizme kao što je WAL shipping za replikaciju i kroz log-centrične pristupe u konsenzus protokolima poput Paxosa i Rafta, kao i u sistemima poput Apache Kafke (sa In-Sync Replicas) i Apache Cassandre (sa commit logom), te etcd-a (sa WAL-om i Raftom). Ovi sistemi koriste slične log-bazirane pristupe kako bi osigurali konzistentnost podataka i otpornost na greške u kompleksnim, distribuiranim okruženjima.

Iako WAL donosi značajne prednosti, suočava se i sa izazovima, uključujući upravljanje rastom log fajlova, složenost oporavka i performanse u scenarijima visokog protoka. Međutim, napredne tehnike poput grupnog komitovanja, asinhronog logovanja/replikacije, kompresije loga i, posebno, uticaj novih hardverskih tehnologija kao što su NVMe SSD-ovi i Persistent Memory, neprestano optimizuju i transformišu WAL. Ove inovacije omogućavaju sistemima da rade bliže svojim teoretskim granicama performansi, istovremeno održavajući visoke standarde trajnosti.

Gledajući unapred, budućnost WAL-a je usko povezana sa razvojem cloud-native i serverless arhitektura, gde se principi trajnog append-only skladištenja i bezstatičnog računarstva sve više integrišu. Konvergencija sa event sourcingom i striming platformama, kao i potencijalna primena AI/ML za inteligentno upravljanje WAL-om, ukazuju na kontinuiranu evoluciju ovog fundamentalnog protokola. WAL ostaje nezamenljiva osnova za obezbeđivanje integriteta i dostupnosti podataka, prilagođavajući se i razvijajući se zajedno sa zahtevima savremenog digitalnog pejzaža.

LITERATURA

- [1] CelerData, "Optimizing Write-Ahead Logging (WAL)," *CelerData Glossary*. [Online]. Available: [https://celerdatabase.com/glossary/optimizing-write-ahead-logging#:~:text=Write%20ahead%20logging%20\(WAL\)%20is%20a%20foundational%20protocol%20in,appling%20them%20to%20the%20database](https://celerdatabase.com/glossary/optimizing-write-ahead-logging#:~:text=Write%20ahead%20logging%20(WAL)%20is%20a%20foundational%20protocol%20in,appling%20them%20to%20the%20database). [Accessed: Jul. 21, 2025].
- [2] J. Mamtara, "A Deep Dive into Write-Ahead Logging (WAL) in Database Engines & Recovery," *Medium*, Jul. 2025. [Online]. Available: <https://medium.com/@jatinumamtara/a-deep-dive-into-write-ahead-logging-wal-in-database-engines-recovery-71f6d98f0e23>. [Accessed: Jul. 21, 2025].

- [3] CelerData, “Optimizing Write-Ahead Logging (WAL) for Analytics-Driven Workloads,” *CelerData*. [Online]. Available: <https://celerdatablog.com/glossary/optimizing-write-ahead-logging/>. [Accessed: Jul. 21, 2025].
- [4] Mohamed-Ali, “Database Logging: WAL, Redo, and Undo Mechanisms,” *Medium*, Jul. 2025. [Online]. Available: <https://medium.com/@moali314/database-logging-wal-redo-and-undo-mechanisms-58c076f36e>. [Accessed: Jul. 21, 2025].
- [5] CS 186, “Recovery - Database Systems,” *CS 186 Course Notes*. [Online]. Available: <https://cs186berkeley.net/notes/note14/>. [Accessed: Jul. 21, 2025].
- [6] ITU Online, “What Is Write-Ahead Logging (WAL),” *ITU Online IT Training*. [Online]. Available: <https://www.ituonline.com/tech-definitions/what-is-write-ahead-logging-wal/>. [Accessed: Jul. 21, 2025].
- [7] Bytebase, “What is Write Ahead Logging (WAL),” *Bytebase Blog*. [Online]. Available: <https://www.bytebase.com/blog/write-ahead-logging/>. [Accessed: Jul. 21, 2025].
- [8] Synece, “Understanding Write-Ahead Logging (WAL),” *Synece Docs*. [Online]. Available: <https://docs.synece.com/understanding-write-ahead-logging-wal>. [Accessed: Jul. 21, 2025].
- [9] CelerData, “What You Need to Know About Write-Ahead Logging (WAL),” *CelerData Glossary*. [Online]. Available: <https://celerdatablog.com/glossary/what-you-need-to-know-about-write-ahead-logging/>. [Accessed: Jul. 21, 2025].
- [10] GeeksforGeeks, “Algorithm for Recovery and Isolation Exploiting Semantics (ARIES),” *GeeksforGeeks*. [Online]. Available: <https://www.geeksforgeeks.org/dbms/algorithm-for-recovery-and-isolation-exploiting-semantics-aries/>. [Accessed: Jul. 21, 2025].
- [11] Fujitsu, “Understanding PostgreSQL Write-Ahead Logging (WAL),” *Fujitsu Enterprise Postgres Blog*. [Online]. Available: <https://www.postgresql.fastware.com/blog/understanding-postgresql-write-ahead-logging-wal>. [Accessed: Jul. 21, 2025].



XVII međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2025

Banja Luka, 26 - 27. 9. 2025. godine



IMPLEMENTACIJA MESHTASTIC GATEWAY SISTEMA SA LOKALNOM BAZOM PODATAKA ZA IOT PRIMJENE

Daniel Menićanin

Panevropski Univerzitet „APEIRON“, Banja Luka, daniel.menicanin1@apeiron-edu.eu

Jelena Radanović

Panevropski Univerzitet „APEIRON“, Banja Luka, jelena.radanovic1@apeiron-edu.eu

Dražen Marinković

Panevropski Univerzitet „APEIRON“, Banja Luka, drazen.m.marinkovic@apeiron-edu.eu

Apstrakt: U ovom radu je predstavljen sistem za pouzdano prikupljanje, filtriranje i obradu podataka iz LoRa Meshtastic decentralizovane mreže, razvijen za primjenu u udaljenim područjima sa slabom ili nepostojećom pokrivenošću mobilnim mrežama. Osnovna ideja proistekla je iz potrebe da se omogući efikasna razmjena malih količina podataka u intervalima, bez oslanjanja na skupu i često nedostupnu internet infrastrukturu. Ključna inovacija ogleda se u implementaciji Meshtastic gateway koncepta koji omogućava izlaz na internet putem HTTP poziva, dok se istovremeno razvijeni model baze podataka brine o kontinuitetu i pouzdanosti prenosa. Podaci koji u mrežu dolaze u obliku nestrukturiranih poruka izdvajaju se pomoću regularnih izraza, transformišu u JSON format i šalju na vizuelizacionu platformu Grafanu, uz paralelno skladištenje u lokalnoj bazi za kasnije upite, istraživanja i analize. Pouzdanost sistema dodatno je osigurana uvođenjem dvoslojnog mehanizma potvrde (Meshtastic ACK_APP i aplikativni ACK udaljenog API-ja), kao i offline režima koji bilježi neisporučene poruke i njihove uzroke kroz flagove i zapise o greškama. Time se postiže otpornost na gubitak podataka i omogućava nesmetan nastavak rada nakon prekida konekcije.

Ključne riječi: LoRa, Meshtastic, IoT, baza podataka

IMPLEMENTATION OF MESHTASTIC GATEWAY SYSTEM WITH LOCAL DATABASE FOR IoT APPLICATIONS

Abstract: This paper presents a system for reliable collection, filtering and processing of data from the LoRa Meshtastic decentralized network, developed for application in remote areas with weak or non-existent mobile network coverage. The basic idea arose from the need to enable the efficient exchange of small amounts of data at intervals, without relying on an expensive and often unavailable internet infrastructure. The key innovation is reflected in the implementation of the Meshtastic gateway concept, which enables access to the Internet via HTTP calls, while at the same time the developed database model takes care of the continuity and reliability of transmission. Data that comes to the network in the form of unstructured messages is extracted using regular expressions, transformed into JSON format and sent to the visualization platform Grafan, with parallel storage in the local database for later queries, research and analysis. The reliability of the system is additionally ensured by the introduction of a two-layer confirmation mechanism (Meshtastic ACK_APP and application ACK of the remote API), as well as an offline mode that records undelivered messages and their causes through flags and error records. This achieves resistance to data loss and enables smooth continuation of work after a connection interruption.

Keywords: LoRa, Meshtastic, IoT, database

1. UVOD

Internet stvari (IoT) posljednjih godina postao je ključna tehnologija u oblastima kao što su industrijska automatizacija, pametni gradovi, poljoprivreda i ekološki monitoring. Osnovna ideja IoT sistema jeste prikupljanje i obrada podataka pomoću mreže senzora i njihov prenos prema udaljenim platformama gdje se vrši analiza i vizualizacija. Ipak, u praksi se javlja veliki problem, većina ovih sistema zavisi od stabilne i kontinuirane internet konekcije, što nije moguće postići u udaljenim ili infrastrukturno nepokrivenim područjima.

Posebno je izazovno kada se radi o aplikacijama koje zahtijevaju samo periodično slanje malih količina podataka. U takvim slučajevima održavanje stalne mobilne ili fiksne internet konekcije predstavlja nepotreban trošak i smanjuje ekonomsku isplativost čitavog sistema. Time nastaje jaz između realnih potreba i postojećih komercijalnih rješenja.

Kao odgovor na ovaj izazov, razvijen je sistem koji kombinuje LoRa [1] Meshtastic mrežu i multiplatformsku aplikaciju za prikupljanje i obradu podataka. Za razliku od LoRaWAN rješenja, koja zahtijevaju centralizovani gateway i povezivanje na mrežu provajdera, Meshtastic koristi mesh topologiju. To znači da svaki čvor (node) u mreži istovremeno funkcioniše i kao krajnja tačka i kao repetitor, čime se postiže otpornost na prekide i eliminiše zavisnost od jednog centralnog mjesta. Na ovaj način sistem može da funkcioniše u potpunosti offline, bez potrebe za infrastrukturnom podrškom.

Uloga razvijene aplikacije je da preuzme podatke sa Meshtastic mreže, izvrši njihovo filtriranje i transformaciju u strukturisani JSON format. Kako se u mreži pojavljuje veliki broj nesistemskih i pomoćnih poruka, korišteni su regularni izrazi (regex) za izdvajanje samo relevantnih podataka od definisanih pošiljalaca. Filtrirani podaci se zatim upisuju u lokalnu bazu podataka i paralelno šalju na platformu Grafana [2], putem HTTP API poziva. Na taj način omogućena je dvostruka sigurnost, podaci su istovremeno dostupni u realnom vremenu i trajno sačuvani lokalno za naknadnu analizu.

Ključni doprinos sistema leži u implementaciji mehanizama pouzdanosti i redundanse. Meshtastic mreža omogućava potvrdu prijema unutar samog protokola (ACK_APP), dok aplikacija dodatno koristi HTTP odgovore udaljenih API-ja. U slučaju prekida internet veze, svi podaci se automatski čuvaju u lokalnoj bazi sa jasno označenim statusom “neisporučeno” i razlogom greške. Kada se veza obnovi, sistem samostalno vrši sinhronizaciju i ponovni prenos, čime se eliminiše mogućnost gubitka podataka.

Poseban kvalitet razvijenog rješenja ogleda se i u činjenici da je aplikacija cross-platform, razvijena u Dart/Flutter okruženju i da radi na Windows, Linux i Android operativnim sistemima. Time je postignuta fleksibilnost primjene, od serverskog rada u kancelarijskim okruženjima, preko terenskog monitoringa na laptopima, pa sve do mobilne upotrebe na Android uređajima.

2. ARHITEKTURA SISTEMA

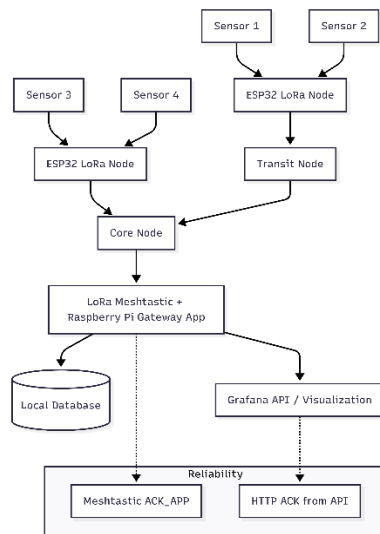
Arhitektura razvijenog sistema projektovana je da objedini sve ključne slojeve potrebne za pouzdano prikupljanje, obradu i distribuciju podataka u uslovima gdje internet infrastruktura nije dostupna ili nije ekonomski isplativa.

Na osnovnom nivou sistema nalaze se senzori povezani s ESP32 mikrokontrolerima. Ovi uređaji imaju ulogu da prikupe mjerne vrijednosti, formatiraju ih u ključ-vrijednost parove i

pripreme za prenos. Poruke zatim ulaze u LoRa Meshtastic mrežu, koja predstavlja komunikacioni sloj sistema. Zahvaljujući mesh topologiji, mreža je samoodrživa i omogućava da se poruke dinamički rutiraju kroz više čvorova sve dok ne stignu do odredišta. Ovaj pristup osigurava otpornost na prekide i garantuje pouzdanost čak i u situacijama gdje pojedini nodovi privremeno prestanu sa radom.

Kada poruke stignu do čvora povezanog sa aplikacijom, započinje sloj obrade podataka. Aplikacija putem serijske komunikacije preuzima sve poruke koje mreža dostavlja i vrši njihovo filtriranje pomoću regularnih izraza. Na ovaj način eliminišu se nepotrebne i nesistemske poruke, a u obradu ulaze isključivo relevantni podaci koje šalju definisani nodovi. Nakon filtriranja, podaci se transformišu u JSON format, čime postaju standardizovani i spremni za integraciju sa udaljenim servisima ili za upis u lokalnu bazu.

U trećem sloju dolazi do distribucije i skladištenja. Podaci se šalju prema udaljenom servisu Grafana, putem HTTP API poziva, dok se istovremeno upisuju u lokalnu bazu podataka. Ovaj dvostruki pristup osigurava da podaci budu odmah dostupni za praćenje u realnom vremenu, ali i trajno sačuvani za kasnije analize i upite. Baza ne služi samo kao pasivno skladište, već aktivno učestvuje u funkcionisanju sistema jer omogućava izvođenje analitičkih upita i rekonstrukciju istorije svih događaja. Poseban značaj ima mehanizam označavanja zapisa flagovima, ako podaci nisu uspješno isporučeni prema API-ju, u bazi ostaju sa oznakom “neisporučeno” i sa zabilježenim razlogom greške, čime se obezbjeđuje potpuna transparentnost. Na Sl. 1 prikazan je blok dijagram arhitekture sistema.

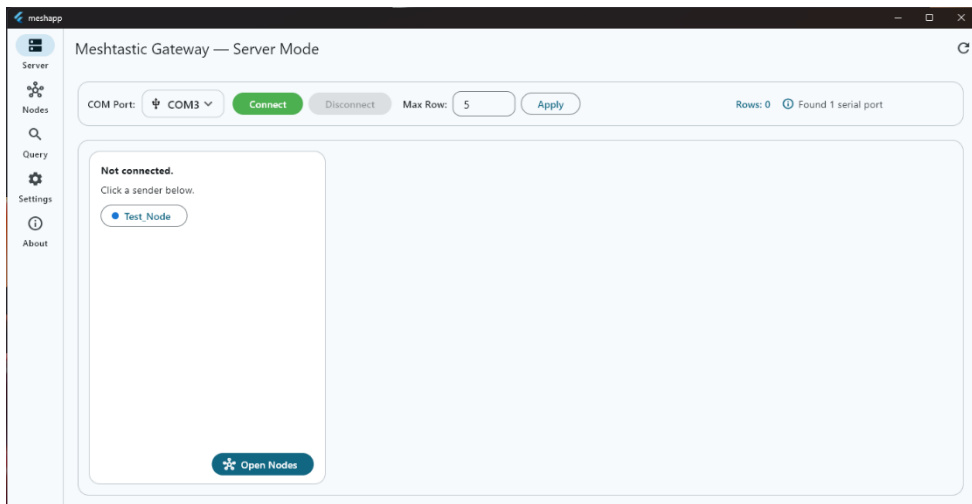


Slika 1. Blok dijagram arhitekture sistema

Jedan od ključnih aspekata arhitekture jeste implementacija dvoslojnog mehanizma potvrde isporuke. Meshtastic mreža na protokolnom nivou osigurava potvrdu prijema poruke putem ACK_APP portnum-a. Na to je nadograđen aplikativni sloj, u kojem udaljeni API server vraća HTTP odgovor o uspješnosti obrade podataka. Ova kombinacija znači da sistem u svakom trenutku ima jasnu evidenciju da li je poruka isporučena i prihvaćena. Ako dođe do prekida

internet konekcije, aplikacija nastavlja da radi nesmetano u offline režimu, gdje se svi podaci upisuju u lokalnu bazu sa oznakom greške. Kada se konekcija obnovi, aplikacija automatski ponavlja pokušaj i sinhronizuje bazu sa udaljenim servisom.

Arhitektura sistema dodatno je proširena implementacijom dva načina rada aplikacije, server mod i klijent mod. Na Sl. 2 je prikazan server način rada aplikacije.



Slika 2. Server mod rada aplikacije

U server modu aplikacija preuzima centralnu ulogu. Ona je tačka na kojoj se obavlja kompletna obrada podataka, filtriranje, transformacija u JSON, upis u bazu i slanje na Grafanu. Ovaj režim rada podrazumijeva da server aplikacija vodi glavnu instancu baze podataka i funkcioniše kao “gateway” između Meshtastic mreže i interneta [3]. Na taj način server mod omogućava integraciju cijelog sistema sa eksternim analitičkim alatima i osigurava centralizovano praćenje svih čvorova u realnom vremenu.

U klijent modu aplikacija radi u olakšanom režimu. Ona ne obrađuje podatke direktno niti ih skladišti, već preko Meshtastic mreže šalje upite prema glavnoj aplikaciji u server modu i dobija rezultate iz baze. Na taj način i udaljeni korisnici, koji nemaju direktan pristup internetu, mogu dobiti informacije o stanju sistema. Klijent mode proširuje koncept decentralizacije jer omogućava pristup podacima čak i u situacijama gdje klijent nema konekciju sa serverom preko klasične mreže, već isključivo kroz Meshtastic. Ova funkcionalnost je naročito važna za rad u terenskim uslovima, gdje operatori ili istraživači mogu pratiti podatke na svom računaru ili mobilnom uređaju, dok glavni server ostaje lociran na sigurnom mjestu sa stalnim napajanjem i internet vezom.

Vizuelna i korisnička komponenta aplikacije pažljivo je razvijena da omogući intuitivan rad u oba moda. Dashboard pruža pregled svih aktivnih nodova i osnovnih metrika sistema, dok segment za konfiguraciju omogućava unos svih parametara neophodnih za rad (ID čvorova, imena, API ključevi, boje za kategorizaciju). Poseban značaj ima integracija sa bazom kroz

interfejs aplikacije, koja korisniku nudi mogućnost da istražuje podatke lokalno, bez potrebe za spajanjem na udaljene servise. Podešavanja aplikacije, poput izbora teme ili automatskog povezivanja na prvi dostupni nod prilikom pokretanja, dodatno olakšavaju upotrebu u terenskim uslovima.

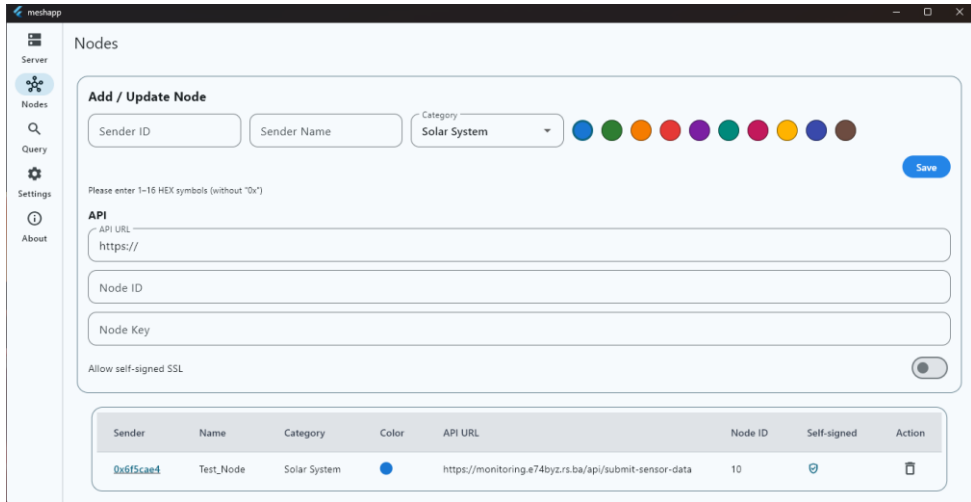
Kombinovanjem server i klijent moda, arhitektura sistema pruža potpunu fleksibilnost i osigurava balans između centralizovane obrade i decentralizovanog pristupa. Na ovaj način razvijeno rješenje dobija karakteristike koje prevazilaze klasične IoT implementacije: sistem postaje istovremeno robustan, skalabilan i prilagodljiv različitim uslovima primjene.

3. APLIKACIJA I FUNKCIONALNOSTI

Razvijena aplikacija osmišljena je tako da korisniku pruži potpunu kontrolu nad radom sistema i uvid u sve prikupljene podatke, pri čemu se vodi računa o preglednosti i jasnoći interfejsa. Funkcionalnosti su raspoređene u nekoliko cjelina koje zajedno čine jedinstven, intuitivan alat za rad sa distribuiranim IoT čvorovima.

Centralno mjesto aplikacije zauzima Dashboard, koji predstavlja operativni centar sistema. Na ovom ekranu korisnik ima uvid u sve aktivne nodove, njihove osnovne parametre i status. Za svaki čvor prikazuju se podaci kao što su identifikacioni broj, naziv i posljednji primljeni set vrijednosti, zajedno sa indikatorima dostupnosti. Posebna pažnja posvećena je prikazu “zdravlja” sistema. Korisnik može pratiti dostupnost nodova, broj izgubljenih poruka, kašnjenje u prenosu i opšte stanje komunikacije. Dashboard uključuje i status lokalne baze i udaljenog API-ja, pa se u realnom vremenu može vidjeti da li podaci nesmetano putuju prema analitičkoj platformi ili su prebačeni u režim čekanja zbog problema sa internet vezom. Ugrađeni su i vizuelni alarmi koji obavještavaju o kritičnim događajima, poput prekida mreže, gubitka API konekcije ili naglog pada napona i kapaciteta baterije na nekom od čvorova. Na ovaj način Dashboard omogućava brz pregled kompletnog sistema, ali i pravovremenu reakciju u slučaju problema.

Drugi segment aplikacije je modul za konfiguraciju nodova, gdje se definišu svi parametri potrebni za praćenje i obradu podataka. Za svaki čvor moguće je unijeti njegov SENDER ID, ime radi lakšeg prepoznavanja i API ključ [4] koji omogućava komunikaciju sa udaljenim servisima. Pored toga, dodjeljuju se i Node ID vrijednosti koje se koriste na strani vizualizacione platforme, kao i boje pomoću kojih se čvorovi kategorizuju u interfejsu radi lakšeg snalaženja u složenijim sistemima. Kroz ovu sekciju obezbjeđuje se potpuna kontrola nad integracijom novih nodova, a fleksibilnost modula omogućava jednostavno dodavanje, izmjenu ili uklanjanje uređaja iz mreže. Na Sl. 3 prikazan je način konfiguracije čvorova.



Slika 3. Nodes – konfiguracija čvorova

Treća funkcionalna cjelina odnosi se na rad sa bazom podataka, odnosno Query modul. Ovdje korisnici imaju mogućnost da istražuju i analiziraju istorijske podatke pohranjene u lokalnoj bazi. Podaci se mogu filtrirati prema vremenskim intervalima, identitetu pošiljaoca ili vrsti mjerenja. Ovo omogućava generisanje izvještaja i izvođenje analiza čak i u slučaju kada internet nije dostupan ili kada udaljeni servisi ne rade. Na ovaj način baza ne ostaje pasivni element sistema, već postaje aktivni alat za istraživanje i evaluaciju svih prikupljenih vrijednosti.

Podešavanja čine četvrtu cjelinu i osmišljena su tako da prilagode rad aplikacije potrebama korisnika i specifičnim uslovima. Moguće je birati temu interfejsa radi lakše upotrebe u različitim svjetlosnim okruženjima, ali i aktivirati opciju automatskog povezivanja sa prvim dostupnim nodom na serijskom portu pri pokretanju aplikacije, što znatno pojednostavljuje rad u terenskim uslovima. Ovaj dio omogućava i finu kontrolu sigurnosnih postavki, uključujući prihvatanje samopotpisanih SSL certifikata u slučaju rada sa privatnim ili testnim API servisima.

Takođe, bitan dio aplikacije je i About sekcija, u kojoj su sažete osnovne informacije o aplikaciji i autorima. Ovaj dio služi kao pregled osnovne dokumentacije i meta podataka, a korisnicima nudi uvid u verziju softvera i osnovne kontakte za podršku.

Sve pomenute funkcionalnosti objedinjene su u jedinstvenoj aplikaciji koja povezuje nadzor, administraciju i analizu u koherentnu cjelinu. Na taj način korisnici dobijaju moćan, ali pregledan alat koji omogućava da se rad složenog sistema prati i kontroliše na jednostavan i pouzdan način.

4. MEHANIZMI POUZDANOSTI I REDUDANSE

U distribuiranim IoT sistemima koji se oslanjaju na LoRa i Meshtastic mrežu, gubitak poruka i prekidi u komunikaciji predstavljaju realnu prijetnju. Zato je u razvijenom rješenju poseban naglasak stavljen na pouzdanost i redundansu. Ugrađeni su mehanizmi na više slojeva, od

samog transporta preko Meshtastic, do aplikativnog sloja i lokalnog skladištenja podataka. Na Sl. 4 prikazan je Meshtastic logger, koji čita šta čvor šalje putem COM porta.

Sender	Packetid	Time	RSSI	SNR	AV (V)	AC (A)	AP (W)	BV (V)	BC (A)	BP (W)	LV (V)	LC (A)	LP (W)	SOC (%)	BT (°C)	DT (°C)	Voltage	Battery
0x6f5cae4	0xa30c8bb7	03:25:12	-55	6.5	13.63	0.14	2.03	12.71	0.16	2.03	12.71	0.00	0.00	27	18.26	17.69	3678	20%
0xa0cb7cc4	0xa30c8bb9	03:25:54	-33	6	13.63	0.14	2.03	12.71	0.16	2.03	12.71	0.00	0.00	27	18.26	17.69	3677	20%
0xa0cb7cc4	0xa30c8bba	03:26:28	-28	5.5	13.63	0.14	2.03	12.71	0.16	2.03	12.71	0.00	0.00	27	18.26	17.69	3683	20%
0xa0cb7cc4	0xa30c8bbb	03:27:20	-17	7.5	13.63	0.14	2.03	12.71	0.16	2.03	12.71	0.00	0.00	27	18.26	17.69	3681	20%
0xa0cb7cc4	0xa30c8bbc	03:28:07	-16	7.25	13.63	0.14	2.03	12.71	0.16	2.03	12.71	0.00	0.00	27	18.26	17.69	3680	20%
0xa0cb7cc4	0xa30c8bbd	03:28:45	-16	6.5	13.63	0.14	2.03	12.71	0.16	2.03	12.71	0.00	0.00	27	18.26	17.69	3678	20%
0xa0cb7cc4	0xa30c8bbe	03:29:25	-15	5.5	13.63	0.14	2.03	12.71	0.16	2.03	12.71	0.00	0.00	27	18.26	17.69	3684	20%

Slika 4. Podaci prikazani u tabeli

ACK [5] mehanizam unutar Meshtastic mreže predstavlja prvi sloj pouzdanosti. Svaka poslata poruka može dobiti potvrdu prijema (ACK) od narednog čvora. Time se osigurava da je podatak makar u mreži uspješno prosljeđen dalje, čak i ako još nije stigao do krajnje aplikacije. Ovaj nivo potvrđivanja posebno je značajan u mesh topologiji, gdje se poruke mogu preusmjeravati preko više međučvorova. Ako ACK ne stigne, poruka se ponovo šalje, čime se smanjuje vjerovatnoća gubitka podataka usljed prolaznih smetnji.

Na to se nadovezuje aplikativni ACK koji dolazi sa udaljenog API-ja nakon HTTP poziva. Dok Meshtastic potvrđuje samo da je poruka stigla kroz mrežu, HTTP odgovor pruža informaciju da li je podatak zaista prihvaćen i zabilježen u eksternom servisu, npr. u Grafani. Ako udaljeni server vrati grešku ili ne odgovori u predviđenom vremenu, aplikacija registruje taj događaj i označava poruku kao neisporučenu.

Da bi se obezbijedila redundansa podataka, svaka poruka, bez obzira na to da li je uspješno poslana prema API-ju ili ne, upisuje se u lokalnu bazu. Ako eksterni prenos ne uspije, uz poruku se dodaje flag “neisporučeno” i razlog greške (npr. nedostupan internet, timeout, greška u API odgovoru). Time se obezbjeđuje potpuna evidencija i jasna mogućnost kasnijeg debugovanja i analize

Kada se internet veza ponovo uspostavi, aktivira se automatska sinhronizacija. Aplikacija prepoznaje koje poruke imaju status “neisporučeno” i redom ih ponovo šalje prema udaljenom API-ju, dok ne dobije pozitivan ACK. Ovim mehanizmom se eliminiše mogućnost trajnog gubitka podataka, a sistem može nesmetano nastaviti rad čak i nakon dužih perioda bez mrežne povezanosti.

Takav višeslojni pristup pouzdanosti čini rješenje pogodnim za primjenu u realnim situacijama gdje su prekidi u komunikaciji česta pojava, poput udaljenih ruralnih lokacija ili industrijskih okruženja.

5. IMPLEMENTACIJA SISTEMA I REZULTATI

Razvijeni sistem implementiran je kombinacijom hardverskih i softverskih komponenti, gdje su ESP32 mikrokontroleri sa priključenim senzorima činili osnovu za prikupljanje podataka, dok je LoRa Meshtastic mreža obezbjeđivala komunikacioni sloj. Softverski dio obuhvatao je

aplikaciju razvijenu u Dart/Flutter okruženju, parser za filtriranje i transformaciju podataka te lokalnu bazu u kojoj se čuvaju sve poruke zajedno sa statusima isporuke. Na ovaj način formiran je samoodrživ mehanizam sposoban za rad u različitim mrežnim uslovima.

U prvoj fazi testiranja sistem je radio u stabilnim uslovima sa stalno dostupnom internet konekcijom. Senzorski čvorovi su slali podatke u intervalima od 10 sekundi, a aplikacija ih je procesirala i prosljeđivala prema udaljenom API-ju. Latencija od trenutka generisanja podatka na senzoru do njegovog prikaza u Grafani iznosila je u prosjeku 1,2 sekunde. Tokom višesatnog testa nije zabilježen nijedan izgubljen podatak, čime je potvrđeno da sistem funkcioniše bez gubitaka u idealnim mrežnim uslovima.

Nakon toga izvršeno je testiranje u situacijama sa prekidima internet veze. Tokom perioda od pet do trideset minuta bez konekcije, svi podaci su nesmetano zapisivani u lokalnu bazu, gdje su označavani statusom neisporučeno i dopunjavani metapodacima o uzroku greške. Po ponovnom uspostavljanju veze aplikacija je automatski izvršila resinhronizaciju i prosljedila sve poruke udaljenom API-ju. Rezultati su pokazali da nijedan podatak nije izgubljen, a lokalna baza omogućila je potpunu rekonstrukciju događaja i precizno praćenje vremena nastanka svake greške.

Testiran je i rad mreže sa većim brojem čvorova. U mrežu je uključeno deset nodova koji su periodično slali podatke, čime je simuliran složeniji sistem. Parser aplikacije uspješno je eliminisao oko 35% saobraćaja koji je Meshtastic generisao u vidu pomoćnih i nesistemskih poruka, tako da su u dalju obradu ulazili samo podaci od definisanih pošiljalaca. Uprkos povećanom obimu komunikacije, aplikacija je održala stabilan rad i nije došlo do zagušenja mreže ili gubitka poruka.

Lokalna baza se u praksi pokazala kao ključna ne samo za očuvanje integriteta sistema nego i za analizu podataka. Upiti kao što su izdvajanje svih podataka za određeni čvor u posljednja 24 sata ili pretraga vrijednosti napona iznad zadatog praga izvršavali su se za manje od 100 milisekundi. Na taj način potvrđeno je da baza ne predstavlja samo pasivni sloj, već aktivan alat za istraživanje istorijskih podataka u realnom vremenu.

Korisnički interfejs je kroz praktične testove demonstrirao preglednost i upotrebljivost. Dashboard je omogućavao uvid u aktivne nodove i osnovne metrike sistema, dok je konfiguracioni modul pružao fleksibilnost u dodjeli API ključeva, identifikacionih brojeva i vizuelnih oznaka. Query modul je bio posebno vrijedan u offline režimu jer je omogućio generisanje izvještaja direktno iz lokalne baze, bez potrebe za internet konekcijom. Funkcije poput automatskog povezivanja na prvi dostupni nod pri pokretanju pokazale su se praktičnim u terenskim uslovima gdje je brzina i jednostavnost upotrebe presudna.

Rezultati istraživanja pokazuju da sistem obezbjeđuje stabilan i pouzdan rad. Latencija u stabilnim uslovima bila je u prosjeku 1,2 sekunde, gubitak podataka nije zabilježen ni u jednom scenariju, dok je filtriranjem eliminisano oko 35% nesistemskog saobraćaja. Mreža je uspješno podnijela opterećenje sa deset čvorova, a lokalna baza omogućila je brzo izvođenje analitičkih upita sa vremenom odgovora manjim od 100 milisekundi. Najveće ograničenje ostaje nizak bitrate LoRa komunikacije, što sistem čini optimalnim za male količine podataka u periodičnim intervalima.

6. ZAKLJUČAK

Razvijeni sistem pokazao je da kombinacija LoRa Meshtastic mreže i aplikacije za filtriranje, transformaciju i distribuciju podataka može obezbijediti pouzdanu i ekonomičnu infrastrukturu za IoT primjene u područjima sa slabom ili nikakvom pokrivenošću mobilnim signalom. Zahvaljujući mesh topologiji i mogućnosti da svaki čvor istovremeno funkcioniše i kao emiter i kao repetitor, mreža je osigurala otpornost na prekide i stabilan prenos poruka, dok je aplikacija doprinijela time što je eliminisala nesistemske podatke, standardizovala sadržaj u JSON formatu i omogućila integraciju sa udaljenim servisima poput Grafane.

Testiranja su potvrdila da sistem uspješno radi i u uslovima prekida internet konekcije, jer lokalna baza podataka preuzima ulogu čuvara integriteta sistema. Mehanizmi potvrde isporuke i na mrežnom i na aplikativnom nivou, garantovali su da nijedan podatak ne bude izgubljen, dok je kasnija resinhronizacija osigurala konzistentnost podataka između lokalne baze i udaljenog API-ja. Posebna vrijednost rješenja ogleda se u njegovoj fleksibilnosti, isti sistem se može koristiti u server modu, kao centralna tačka obrade i vizualizacije ili u klijent modu, gdje udaljeni korisnici preko Meshtastica dobijaju pristup podacima čak i bez internet konekcije.

Ograničenja sistema vezana su prije svega za kapacitet LoRa tehnologije, koja je pogodna za male količine podataka u periodičnim intervalima, ali nije namijenjena aplikacijama koje zahtijevaju visoku propusnost. Ipak, upravo u situacijama sa sporadičnim i malim prenosima podataka, kao što su ekološki monitoring, poljoprivreda, nadzor udaljenih industrijskih postrojenja ili smart city aplikacije u zonama sa slabom infrastrukturom, razvijeno rješenje pruža optimalan balans između pouzdanosti, jednostavnosti i troškova.

Na osnovu postignutih rezultata može se zaključiti da predloženi sistem predstavlja održiv model za budući razvoj decentralizovanih IoT mreža. Dalji pravci istraživanja mogli bi obuhvatiti optimizaciju performansi za rad sa većim brojem čvorova, integraciju sa dodatnim vizualizacionim i analitičkim alatima, kao i proširenje funkcionalnosti aplikacije kako bi se sistem mogao primjenjivati u još širem spektru praktičnih situacija.

LITERATURA

- [1] F. Freitag, J. M. Solé, and R. Meseguer, "Position Paper: LoRa Mesh Networks for Enabling Distributed Intelligence on Tiny IoT Nodes," 2023. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/371826243>
- [2] G. Y. Kusuma and U. Y. Oktiawati, "Application Performance Monitoring System Design Using OpenTelemetry and Grafana Stack," *Journal of Internet and Software Engineering*, vol. 3, no. 1, 2024.
- [3] R. P. Centelles, R. Meseguer, and F. Freitag, "Exploring Open Source and Proprietary LoRa Mesh Technologies: A Minimalistic Routing Protocol for LoRa Mesh Networks," 2024. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/380253012>
- [4] R. Berto, P. Napoletano, and M. Savi, "A LoRa-Based Mesh Network for Peer-to-Peer Long-Range Communication," 2021. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/352707672>
- [5] M. A. Khan, M. T. Islam, and A. R. Chowdhury, "Implementation of Multi-Hop Mesh Networking Using ESP32 for IoT Communication," 2024. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/389763039>



XVII međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2025

Banja Luka, 26 - 27. 9. 2025. godine



KONFIGURACIJA IPSEC VPN TUNELA NA FORTIGATE I POREĐENJE SA MIKROTIK UREĐAJEM

Milan Panić

Panevropski univerzitet „APEIRON”, Banja Luka, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina
milan.v.panic@apeiron-edu.eu

Aleksa Marčeta

Panevropski univerzitet „APEIRON”, Banja Luka, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina
aleksa.v.marceta@apeiron-edu.eu

Dražen Marinković

Panevropski univerzitet „APEIRON”, Banja Luka, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina
drazen.m.marinkovic@apeiron-edu.eu

Nemanja Maček

Fakultet društvenih nauka, Univerzitet Privredna akademija u Novom Sadu, Beograd, Srbija
macek.nemanja@gmail.com

Sažetak: Neažurnost softverske, kao i hardverske opreme je jedan od faktora koji je zastupljen u informacionim sistemima, što dodatno doprinosi povećanju sajber napada. Neispravna konfiguracija i propusti određenih portova su takođe greške koje se često dešavaju, kao i prethodno pomenuto korištenje zastarjelog hardvera i softvera. Ovaj rad istražuje sigurnost i pouzdanost IPSec VPN tehnologije putem praktične primjene Site-to-Site tunela između dva Fortigate uređaja, uz poređenje sa MikroTik uređajem. Rad se fokusira na isticanje važnosti pravilnog odabira kao i konfiguracije mrežnih uređaja, kako bi se ostvarila sigurna komunikacija između udaljenih mreža.

Ključne riječi – IPSec VPN, Fortigate, MikroTik, tunel, mreža

CONFIGURATION OF IPSEC VPN TUNNEL ON FORTIGATE AND COMPARISON WITH MIKROTIK DEVICE

Abstract: Out-of-date software as well as hardware equipment is one of the factors present in information systems, which additionally contributes to the increase of cyber attacks. Improper configuration and failures of certain ports are also errors that often occur, as well as the previously mentioned use of outdated hardware and software. This paper investigates the security and reliability of IPSec VPN technology through the practical application of a Site-to-Site tunnel between two Fortigate devices, with a comparison with a MikroTik device. The paper focuses on emphasizing the importance of proper selection and configuration of network devices, in order to achieve secure communication between remote networks.

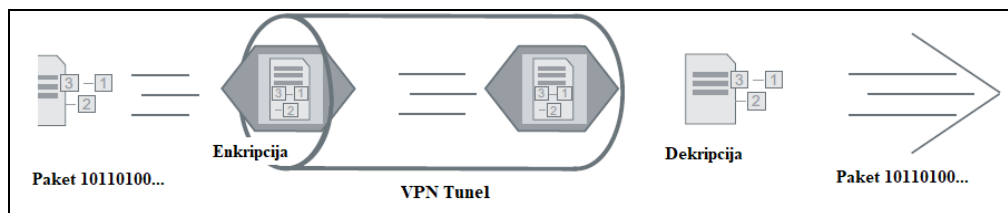
Keywords – IPSec VPN, Fortigate, MikroTik, tunnel, network

1. UVOD

Virtualna privatna mreža (eng. Virtual Private Network, VPN) tehnologija postaje sve više globalno zastupljena između više udaljenih odjeljenja, kako bi se postigla bolja komunikacija, ali na siguran način. Skup protokola IPsec je jedna od najpopularnijih tehnologija za implementaciju VPN-ova koji su bazirani na IP protokolu. Postoje razne literature koje pokrivaju tehničke detalje konfigurisanja, ali i dan danas ne rješavaju sveukupne probleme IPsec-a. Postoje razne vrste VPN-ova, ali će fokus ovog rada biti na IPsec protokolu. Svrha rada jeste da pokaže djelotvornost i performanse Fortigate uređaja, koji postaje zastupljen svuda širom svijeta, ali i na našim prostorima, zbog svoje jednostavnosti i kvalitetnog rada prvenstveno šifrovanja saobraćaja. Ova funkcionalnost omogućna je procesom enkapsulacije. IPsec paketi prolaze sa jednog kraja tunela na drugi, a osnovna namjena gledajući sa aspekta sigurnosti, jeste da paketi i podaci unutar njih stignu sigurno na datu lokaciju. Ovdje je ključni aspekt šifrovanje paketa, koji daje sigurnost da neko treći, ne presretne pakete i pristupi podacima i potencijalno naruši povjerljivost, dostupnost i integritet. Jedan od primarnih razloga korištenja VPN-a je ušteda novca. Firme širom svijeta, imaju potrebu da se međusobno povezuju, kako bi neometano obavljale poslovanje i osigurali što kvalitetniji proces rada. Osim toga postoje i druge tehnike VPN-a, za udaljeni pristup, gdje zaposleno lice uz određene privilegije može da pristupi svom računaru ili drugim uređajima putem sigurne mreže. Mikrotik i Fortigate spadaju u najzastupljenije uređaje, gdje svaki ima različite mogućnosti u smislu sigurnosti, performansi i upravljanja što će biti prikazano u ovom radu. Cilj rada jeste da se na realnom primjeru prikaže koliko je važan pravilan izbor opreme, kao i njeno konfigurisanje i uticaj na efikanost i sigurnost mrežne komunikacije.

2. IPSEC VPN

VPN je tehnologija koja pruža mogućnost povezivanja tako što šifrjuje saobraćaj i sakriva njegovu IP adresu. Drugim riječima, definiše se u literaturi i kao privatna mreža, isporučena preko javne mrežne infrastrukture. IPsec je protokol razvijen od strane IETF-a za postizanje najsigurnijih rješenja preko IP mreža. IPsec omogućava, autentifikovanje, kontrolu pristupa, integritet i povjerljivost. Layer 3 VPN je upravo IPsec, a nudi mogućnosti point-to-point za povezivanje dvije udaljene lokacije. Shodno tome može se reći da IPsec predstavlja i skup protokola. Osnovna arhitektura je definisana kroz RFC2401 i to na sledeći način:

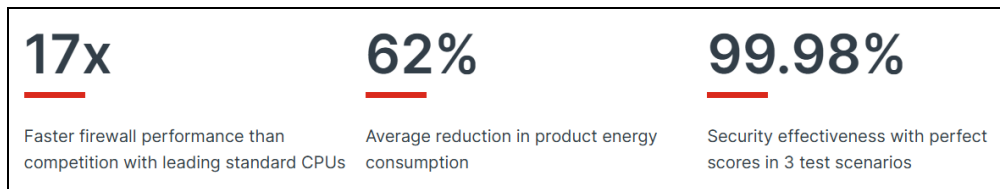


Slika 13. Dijagram procesa enkapsulacije podataka u IPsec tunelu između dva Fortigate uređaja [1]

- **Sigurnosni protokoli** – autentifikacijsko zagavlje (AH – Authentication header) i ESP (eng. Encapsulating Security Payload) koji pruža povjerljivost, integritet i dostupnost,
- Upravljanje ključevima – ISAKMP, IKE, SKEME

- **Algoritmi za šifrovanje i autentifikaciju.**

Fortigate firewall uređaji, predstavljaju jedno od najbolji rješenja od strane kompanije Fortient, koja jedna od vodećih vendedora na polju informacione sigurnosti. Spada u grupu NGFW (eng. Next Generation Firewall) uređaja.



Slika 14. Grafički prikaz ključnih prednosti upotrebe Fortigate uređaja u mrežnoj sigurnosti [2]

3. OSNOVNE KOMPONENTE IPSEC TUNELA

Pored transportnog postoji i tuneliranje. U tom slučaju glavni IP paket je enkapsuliran u drugom IP datagramu, a samo IPSec zaglavlje (ESP ili AH) je postavljeno između unutrašnjih i vanjskih zaglavlja. Gateway predstavlja usmjerivanje koji povezuje jednu mrežu sa drugim mrežama i daje mogućnost međusobne komunikacije. Shodno tome u nastavku će biti prikazan dijagram koji je dizajniran prema Fortigate standardima između dvije privatne mreže, koji se ponašaju kao udaljene VPN jedinice. Ova konfiguracija se uglavnom naziva Site-to-Site IPSec VPN.

Osnovne komponente IPSec VPN tunela su sledeće:

- **Krajnji uređaji** – npr. dva Fortigate uređaja, koji uspostavljaju VPN konekciju,
- **Šifrovanje** – korištenje kriptografskih algoritama, npr. AES
- **Autentifikacija** – random generisni ključevi ili sertifikati za potvrdu identiteta,
- **IKE (Internet Key Exchange)** – protokol za uspostavljanje i razmjenu ključeva,

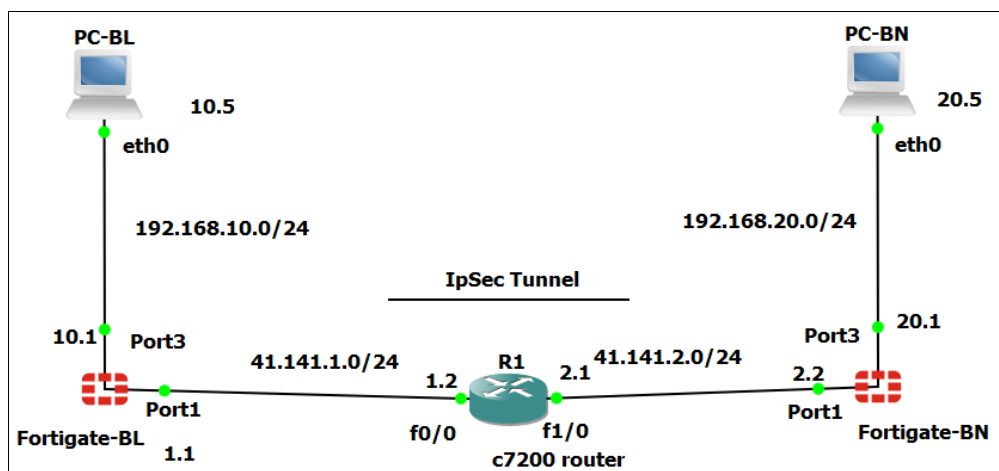
Odabir IP adresa – definisanje IP adresa koji će imati pristup tunelu.

VPN tunel se konfigurira u dvije faze. Postoje određni paramteri kojima se to određuje i na koji način rade. Osim IP adresa i ostali paramteri moraju da se podudaraju sa obe strane, uključujući tipove šifrovanja, razmjenu tajnih ključeva, kao i prethodno pomenute IP adrese, zato je vrlo važno uskladiti uređaje. Prema Fortigate standardima faza 1 se još naziva i “IKE Policy”, dok se faza 2 naziva “IPSec Policy”. U fazi 1 dvije udaljene lokacije koje su konfigurisane kao VPN-ovi vrše razmjenu informacija o algoritmima koji se koriste za šifrovanje, a nakon toga se vrši uspostava privremene sigurne veze za razmjenu podataka, kako bi se izvršila dodatna provjera autentifikacije. Važno je napomenuti da postoji mogućnost odabira različitih šifrovanja faze 1 i faze 2. Ako obe strane imaju bar jedan zajednički algoritam za enkripciju, moguće je uspostaviti VPN tunel. Međutim, ako ovi standardi enkripcije nisu usklađeni, može doći do sporijeg saobraćaja i sam prenos podataka može da traje znatno duže. U nekim slučajevima to može da uzrokuje veliko vremensko ograničenje. Što se faze 2 tiče, ako je prva ispravno definisana, potrebno je odabrati tačan naziv konfiguracije faze 1. Takođe je vrlo važno definisati remote gateway na obe strane, kako bi uspostava tunela mogla da funkcioniše kako treba. Izbor komponenti odnosno samih uređaja je od izuzetne važnosti kako bi bili kompatibilni i kako bi uspostava svih konfiguracionih fajlova mogla da bude validna i ispravna. Stoga će u nastavku

rada biti prikazan i praktičan primjer povezivanje, te će biti iskazane i prednosti korištenja Fortigate firewall uređaja u odnosu na ostale uređaje, npr. na Cisco Asa, Mikrotik, koja se ogleda najčešće u šifarskim algoritmima, pojednostavljenoj konfiguraciji, administraciji i održavanju ovakvih uređaja.

4. KONFIGURACIJA IPSEC VPN TUNELA

Konfiguracija IPSec VPN tunela u ovoj studiji slučaja je podešena sa dva *Fortigate* uređaja, kao što je prikazano na slici iznad. Verzija Fortigate-a je 6.4.5. Osim toga korišten je ruter *c7200*, za potrebe testiranja ove mreže. Ruter *c7200* korišten je zbog dostupnosti u simulacijskom okruženju, no buduće studije trebale bi uključiti novije modele kako bi se osigurala kompatibilnost s aktuelnim standardima šifrovanja. Preporuka je svakako da se koristi ruter novije generacije, jer je podrška za ovaj ruter istekla 29.9.2017. godine. Cijela simulacija se odvija u VMWare razvojnom okruženju, u kojem je podešena GNS3 virtualna mašina, koja ima mogućnosti korištenja gotovih appliance rješenja. GNS3 radi na sličnom principu kao i Cisco Packet Tracer, ali ima dodatne mogućnosti virtualizacije i jednostavnog export-a virtualnih mašina na kojima su već podešene konfiguracije. Svrha ovog projekta je povezivanje dva udaljena odjeljenja Banjaluka i Bijeljina. U mreži Banjaluka imamo podešen VLAN 10, odnosno 192.168.10.0/24, default gateway je 192.168.10.1 kao što je i prikazano na slici. Default Gateway ide preko porta3 na firewall-u pod nazivom "Fortigate-BL". Naredni dio mreže odnosno port1 na Fortigate-BL je podešen sa IP 41.141.1.1 i predstavlja IP adresu, koja pripada grupi javnih IP adresa i ovom slučaju je korištena samo za testiranje, i nema direktan izlaz na internet. Na Fortigate-BL uređaju je konfigurisana i statička ruta prema VLAN 41.141.2.0/24. Naredni port je FastEthernet 0/0 i na njemu je podešen IP 41.141.1.2. Port FastEthernet 1/0 je konfigurisan kao 41.141.2.1, jer se nalazi u drugom VLAN-u. Naredni uređaj je Fortigate-BN, i na portu1, ima konfigurisan IP 41.141.2.2, a port3 je *default-gateway* za VLAN 20, i konfigurisan je kao 192.168.20.1. Osnovna svrha je propuštanje komunikacije od VLAN 10 prema VLAN 20. Dva računara na šemi, odnosno PC-BL imaju statičke IP za testne svrhe i to 192.168.10.5, i PC-BN 192.168.20.5.



Slika 15. Dijagram IPSec tunela između Fortigate uređaja u Banjaluci i Bijeljini

Na slikama ispod je konfigurisanje Fortigate uređaja kroz CLI (eng. Command Line Interface), gdje su podešeni svi neophodni portovi. Takođe su definisana i imena uređaja, kao i statički mod konfigurisanja. Radi lakše administracije dodjeljna su i alias imena. Za testne svrhe je propušten HTTP protokol, po portu 80, kako bi se interno moglo pristupiti firewall uređajima. Takođe može da se omogući i propuštanje po ostalim portovima ukoliko je to neophodno. Na kraju su definisane i statičke rute, kako bi se mogla odvijati komunikacija i preko ruteru. Sve ovo je takođe moglo i da se definiše kroz Fortigate GUI, što dosta olakšava administraciju, ovdje je dat idejni primjer preko konzole. IPSec VPN tunel će biti konfigurisan kroz GUI wizard, i to je jedna od glavnih prednosti Fortigate uređaja, radi lakše administracije. [3]

```

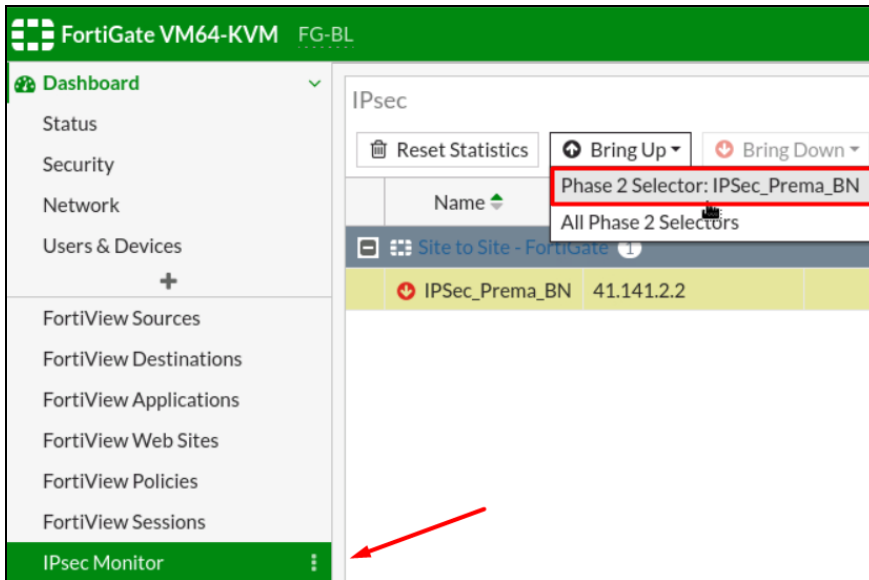
FortiGate-VM64-KVM # config system global
FortiGate-VM64-KVM (global) # set hostname FG-BL
FortiGate-VM64-KVM (global) # end
FG-BL # config system interface
FG-BL (interface) # edit port1
FG-BL (port1) # set role wan
FG-BL (port1) # set alias WAN
FG-BL (port1) # set mode static
FG-BL (port1) # set ip 41.141.1.2/24
FG-BL (port1) # next
FG-BL (interface) # edit port3
FG-BL (port3) # set mode static
FG-BL (port3) # set ip 192.168.10.1/24
FG-BL (port3) # set allowaccess http
FG-BL (port3) # set role lan
FG-BL (port3) # set alias LAN
FG-BL (port3) # end
FG-BL # config router static
FG-BL (static) # edit 1
new entry '1' added
FG-BL (1) # set gateway 41.141.1.1
FG-BL (1) # set device port1

Fortigate-VM-64-KVM (global) # set hostname FG-BN
FortiGate-VM64-KVM (global) # end
FG-BN # config system interface
FG-BN (interface) # edit port1
FG-BN (port1) # set role wan
FG-BN (port1) # set alias WAN
FG-BN (port1) # set mode static
FG-BN (port1) # set ip 41.141.2.2/24
FG-BN (port1) # next
FG-BN (interface) # edit port3
FG-BN (port3) # set mode static
FG-BN (port3) # set ip 192.168.20.1/24
FG-BN (port3) # set allowaccess http
FG-BN (port3) # set role lan
FG-BN (port3) # set alias LAN
FG-BN (port3) # end
FG-BN # config router static
FG-BN (static) # edit 1
new entry '1' added
FG-BN (1) # set gateway 41.141.2.1
FG-BN (1) # set device port1
end

```

Slika 16. Prikaz konfiguracionih parametara za Fortigate uređaje u Banjaluci i Bijeljini

Na slici ispod je prikazan korak aktiviranja Phase2 dijela za VPN, koji je neophodan da bi se izvršila kompletna aktivacija. Sve ovo je moglo i da se izvrši kroz CLI, ali postoji mnogo jednostavnija opcija, koja je prikazana iznad. Slični koraci su i u konfigurisanju VPN tunela od strane drugog Fortigate uređaja odnosno Fortigate – BN. Phase2 se sastoji od definisanja kriptografskog algoritma koji će da se koristi, po automatizmu se stavlja najjačiji, i preporuka je AES a za hash vrijednosti da se koristi bar SHA-256. Algoritmi poput MD5 i DES smatraju se nesigurnima zbog dokazanih kolizija (MD5) i nedovoljne dužine ključa (DES), što ih čini ranjivim na brute-force napade. Osim toga važno je napomenuti i da se uskladi mogućnost komunikacije sa ruterom. Iz tog razloga je u početku rečeno, da bi se mogao koristiti ruter novije generacije, koji bi podržao ovaj način najnovijeg šifrovanja. Jedna od glavnih preporuka jeste da je najbolje koristiti Fortigate uređaje, koji su ista verzija, radi usklađenosti operativnih sistema i svih ostalih protokola namjenjenih za ovakav vid komunikacije. Osim toga, za testne svrhe je kroz GUI uređaja propušten ping između ova dva VLAN-a, koji je prikazan na narednoj slici, kao uspješno izvršeno uspostavljanje IPSec VPN tunela. [4]



Slika 17. Konfiguracija Phase 2 parametara za uspostavljanje IPsec VPN tunela

```

LXTerminal
File Edit Tabs Help
root@PC-BL:~# ifconfig
eth0: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 192.168.10.5 netmask 255.255.255.0 broadcast 0.0.0.0
    inet6 fe80::42:6ff:fed:f200 prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
    ether 02:42:06:fd:f2:00 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 8334 bytes 790654 (772.1 KiB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 8960 bytes 840850 (821.1 KiB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536
    inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0
    inet6 ::1 prefixlen 128 scopeid 0x10<host>
    loop txqueuelen 1000 (Local Loopback)
    RX packets 178 bytes 17494 (17.0 KiB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 178 bytes 17494 (17.0 KiB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

root@PC-BL:~# ping 192.168.20.5
PING 192.168.20.5 (192.168.20.5) 56(84) bytes of data:
64 bytes from 192.168.20.5: icmp_seq=1 ttl=62 time=22.1 ms
64 bytes from 192.168.20.5: icmp_seq=2 ttl=62 time=21.5 ms
64 bytes from 192.168.20.5: icmp_seq=3 ttl=62 time=39.5 ms

```

Slika 18. Rezultat testiranja međusobne povezanosti VLAN-ova – uspješan ICMP odgovor

5. STUDIJA SLUČAJA – FORTIGATE ILI MIKROTIK

Oba uređaja imaju jako dobre performanse. Mikrotik ima izuzetno pristupačna rješenja, sa ogromnim brojem funkcija, a idealno je rješenje za manje i srednje mreže. Fortigate s druge strane nudi veliko nivo sigurnosti, kao i performansi, a fokus je na velike enterprise mreže. Prema finansijskom i cijenovnom rangu, Mikrotik je dosta jeftiniji, pa može biti bolje rješenje za manje firme. Osim toga Fortigate nudi i napredna sigurnosna rješenja, kao što su Intrusion Protection System, Antivirus, SSL deep inspection, na bazi vještačke inteligencije i mašinskog učenja, što može znatno da poveća sigurnost u velikim enterprise mrežama. [5] Rezultati poređenja su dati u tabeli ispod:

Tabela 2. Tabela uporednih karakteristika Fortigate i Mikrotik uređaja u kontekstu IPsec VPN funkcionalnosti

Parametar	Mikrotik	FortiGate
Cijena	Jeftinija	Skuplja
GUI	Složeno za početnike	Pregledno i intuitivno
IPsec performanse	Zadovoljavajuće za SMB	Odlične za <i>enterprise</i>
Sigurnosne funkcije	Osnovne	Napredne (IPS/AV/SSL)
VPN skalabilnost	Ograničeno	Odlično za velike mreže

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu date analize, praktičnog primjera, kao i studije slučaja, može se izvesti zaključak da ovakva konfiguracija Site-To-Site IPsec VPN tunela između dva Fortigate uređaja pruža pouzdanu i sigurnu komunikaciju između dvije udaljene mreže. Ovakva implementacija pruža visok nivo sigurnosti i smatra se u ovom trenutku jednu od najpouzdanijih, s napomenom za korištenje rutera koji kao idejni primer uzet c7200 za testne svrhe, gdje bi preporuka bila da se postavi noviji ažurniji. Jednostavnost i efikasnost ovog tipa rada je jasno potvrđena kroz rad. Kriptografski algoritmi napreduju iz dana u dan, a trenutno se AES smatra pouzdanim, dok su ostali poput DES, MD5 poprilično zastarjeli.

Takođe kroz sam proces konfigurisanja, pokazano je kolika je važnost pravilnog postavlja obe faze, te da je to ključni faktor da se osigura sigurna i stabilna veza između udaljenih mreža. Na kraju rada je sprovedena i studija slučaja sa uređajom Mikrotik, gdje se pokazal prednost Fortigate uređaja za enterprise rješenja, dok je Mikrotik dobar u manjim i srednjim preduzećima.

LITERATURA

- [1] FortiOS Handbook IPsec VPN for Forti OS 5.0, California: Fortinet, 2013.
- [2] "<https://www.fortinet.com/products/next-generation-firewall/>," Zadnji put pristupljeno 20. marta 2025. godine".
- [3] "<https://ipcisco.com/how-to-install-gns3-with-vmware/>," Zadnji put pristupljeno 22. aprila 2025. godine".
- [4] G. Bartlett, IKEv2 IPsec VPN, California: Cisco Press, 2016.
- [5] S. Wainner, IPsec VPN Design, New York: Cisco Press, 2005.



XVII međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2025

Banja Luka, 26 - 27. 9. 2025. godine



KRIPTOANALIZA S-DES SAJBER SISTEMA

Dragana Božilović Đokić

Univerzitet Union Nikola Tesla
dragana@jokic@unionnikolatesla.edu.rs, <https://orcid.org/0000-0002-9206-2764>

Vladimir Đokić

Univerzitet Union Nikola Tesla
vladimir@jokic@unionnikolatesla.edu.rs, <https://orcid.org/0009-0004-9678-6999>

Lazar Stošić

Univerzitet Union Nikola Tesla

Željko Stanković

Univerzitet Union Nikola Tesla

Olja Krčadinac

Univerzitet Union Nikola Tesla

Сажетак: Функција дешифрирања мора бити инверзна функцији шифрирања, док обрнуто не мора бити истинито. Криптосустав се састоји од пара функција шифрирања и дешифрирања. S-DES је редуцирана верзија DES алгоритма. Има слична својства као DES, али ради на много мањој величини блока и кључа (ради на 8-битним блоковима порука с 10-битним кључем). Дизајниран је као тестна блок шифра за учење о модерним криптоаналитичким техникама као што су линеарна криптоанализа, диференцијална криптоанализа и линеарно-диференцијална криптоанализа. Циљ нашег истраживања је процијенити и анализирати постојеће моделе редуциране верзије S-DES-а. Циљ истраживања је јасно дефинирати архитектуру S-DES-а, улазне податке, кључеве, 8-битно усмјеравање блокова и операције према правилима алгоритма. Анализират ћемо сигурносни статус S-DES-а у односу на његову једноставност и ограничења, могућности криптоаналитичких напада с примитивним значајкама те процијенити његову примјењивост за шифрирање изворне слике, као средство разумијевања основних криптографских концепата. Истраживачки проблем је како S-DES обрађује 8-битни блок података и 10-битни кључ у односу на уобичајене DES концепте (кључеви, ограничења сигурносних значајки).

Кључне ријечи: S-DES, DES, криптографија, статус сигурности S-DES-а, кодови.

CRYPTOANALYSIS OF THE S - DES CYBERSYSTEM

Abstract: The decryption function must be the inverse of the encryption function, while the converse does not have to be true. A cryptosystem consists of a pair of encryption and decryption functions.

S-DES is a reduced version of the DES algorithm. It has similar properties to DES, but operates on a much smaller block and key size (operating on 8-bit message blocks with a 10-bit key). It is designed as a test block cipher for learning about modern cryptanalytic techniques such as linear cryptanalysis, differential cryptanalysis, and linear-differential cryptanalysis.

The goal of our research is to evaluate and analyze existing models of the reduced version of S-DES. The goal of the research is to clearly define the architecture of S-DES, input data, keys, 8-bit block routing, and

operations according to the algorithm rules. We will analyze the security status of S-DES in relation to its simplicity and limitations, the possibilities of cryptanalytic attacks with primitive features, and evaluate its applicability for encrypting the original image, as a means of understanding basic cryptographic concepts.

The research problem is how S-DES processes an 8-bit data block and a 10-bit key in relation to the usual DES concepts (keys, security feature constraints).

Keywords: S-DES, DES, cryptography, S-DES security status, codes.

1. УВОД

Криптографија је наука о тајном писању (записивању), наука која се бави методама очувања тајности информација. Потиче од Грчке речи криптос (тајно, сакрити, скривено) и графос (писати, писање). Криптографски алгоритам нам служи да трансформише читљив текст, а криптоанализа је наука о добијању читљивог текста (или кључева...) на бази шифрованог текста.

Функција за дешифровање мора бити инверзна функцији за шифровање, док обрнуто не мора да важи. Криптосистем чини пар функција за шифровање и дешифровање [1].

S-DES је редукована верзија DES алгоритма. Има слична својства као DES, али се бави много мањим блоком и величином кључа (ради на 8-битним блоковима порука са 10-битним кључем). Дизајниран је као тест блок шифра за учење о савременим криптоаналитичким техникама као што су линеарна криптоанализа, диференцијална криптоанализа и линеарно-диференцијална криптоанализа. То је варијанта упроштеног DES [2].

Предмет нашег истраживања је анализа S-DES редуковане верзије DES алгоритма који је дизајниран као тест блок шифра за учење о савременим криптоаналитичким техникама као што су линеарна криптоанализа, диференцијална криптоанализа и линеарно-диференцијална криптоанализа.

Циљ нашег истраживања је да проценимо и анализирамо постојеће моделе S-DES редуковане верзије. Циљ истраживања је да јасно дефинишемо архитектуру S-DES-а, улазних података, кључеве, рутирање блока од 8 бита, и операције према правилима алгоритма. Анализираћемо безбедносни статус S-DES у односу на његову једноставност и ограничења, могућности криптоаналитичких напада примитивних карактеристика као средства за разумевање основних криптографских концепата.

Размотрити примере примене S-DES-а у практичном контексту и могућности за визуелизацију функција преласка, кључна генерисања и пермутације.

Проблем истраживања је како S-DES обрађује блок података од 8 бита и кључ од 10 бита у односу на уобичајене DES-ове концепте (кључеве, ограничавање безбедносних својстава). Како најјучинковитије приказати и документовано објаснити основне криптографске концепте (шифре, променљиве пермутације) кроз S-DES. Како емпиријски приказати ограничења и предности S-DES-а у поређењу са другим алгоритмима.

На основу прегледане литературе можемо поставити две хипотезе које ћемо покушати да докажемо истраживањем:

(X1): S-DES omogućava brže izvršavanje šifriranja i dekodiranja u poređenju sa kompletnim DES-om za jedan i više blokova podataka, zbog manjeg ulaza i opsega ključeva.

(X2): Примена S-DES у образовне сврхе обезбеђује јаснији увид у структуру криптографских операција (пермутације, избор кључа) уз мању повећану сложеност традиционалних DES алгоритама.

Разлог да се одлучим за научно истраживање је да на практичном примеру прикажемо предности криптографије које пружа S-DES.

2. КРИПТОАНАЛИЗА ШИФРАРСКОГ СИСТЕМА S - DES

Исти кључ се користи за шифровање и дешифровање. Међутим, распоред адресирања кључних бита је промењен тако да је дешифровање обрнуто од шифровања. Улазни блок који се шифрује је подвргнут почетној пермутацији IP-а. Затим се примењује на два круга израчунавања зависног од кључа. Коначно, примењује се на пермутацију која је инверзна од почетне пермутације. Сада ћемо прећи на детаљан опис компоненти S-DES-а.

2.1. Кључеви

10-битни кључ се користи за генерисање 2 различита блока од 8-битних поткључева где се сваки блок користи у одређеној итерацији. Означимо кључ од 10 бита као кључ, а 8-битни подкључ као K_1 и K_2 . Распоред кључева који се користи за генерисање поткључева је означен као KS.

Слика 1 илуструје израчунавање K_1 и K_2 датих кључева. Кључ подлеже почетној пермутацији, *Permuted Choice 1* који је одређен следећом табелом:

PC-1

9	7	3	8	0
2	6	5	1	4

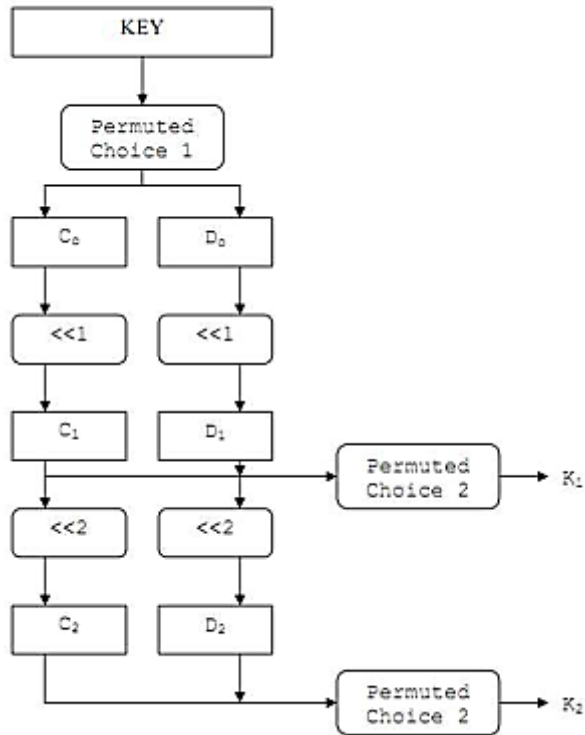
Табела је подељена на два дела. Горњи део одређује битове C_0 , а доњи део битове D_0 . Битови кључа су нумерисани од 0 до 9. Дакле, битови C_0 су битови 9, 7, 3..., а битови D_0 су битови 2, 6, 5....

Затим се врши једно померање улево и на C_0 и на D_0 . Резултат једног померања C_0 и D_0 улево је C_1 и D_1 . Да би се формирао K_1 , D_1 се спаја са C_1 (са најзначајнијим битом C_1 као најзначајнијим битом K_1 , а са најзначајнијим битом D_1 се спаја након најмањег бита C_1), а затим се подвргава пермутацији. *Permuted Choice 2* који је одређен следећом табелом:

PC-2

3	1	7	5	0	6	4	2
---	---	---	---	---	---	---	---

Први бит K_1 је трећи бит C_1D_1 . Можемо видети да су битови K_1 само 8 битова.



Слика 1. Израчунавање K_1 и K_2 кључева[3].

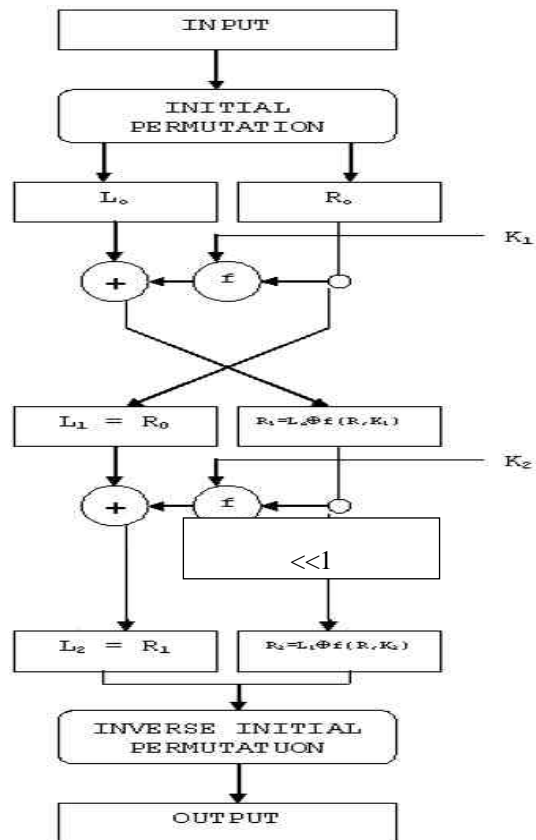
Да би се формирао K_2 , C_1 и D_1 се подвргавају два померања улево, што даје C_2 и D_2 . Затим, D_1 је спојен са C_1 и даје C_1D_1 . C_1D_1 се затим подвргава пермутацији, *Permutated Choice 2* као што је горе описано, чиме се добија K_2 .

2.2. Шифровање

Слика 2 описује израчунавање потребно за шифровање. Процедура шифровања се може сажети на следећи начин:

$$C = E(P, K) = IP^{-1}(r_2(r_1(IP(P))))$$

Сада почињемо да детаљно разматрамо сваку фазу алгорита.



Слика 2. Израчунавање потребно за шифровање[4].

8-битни блок је подвргнут почетној пермутацији, IP 1, која је следећа:

IP 1

7	6	4	0
2	5	1	3

Табела је подељена на два дела. Горњи део одређује битове L_0 , а доњи део битова R_0 . Битови INPUT су нумерисани од 0 до 7. Дакле, битови L_0 су битови 7, 6, 4... INPUT и битови R_0 су битови 2, 5, 1... INPUT-а.

Након почетне пермутације, L_0 и R_0 се затим подвргавају кругу 1. Излаз круга 1 је L_1 и R_1 . Обрачун је следећи:

$$L_1 = R_0$$

$$R_1 = L_0 \oplus f(R, K_1)$$

L_1 и R_1 се затим примењују на круг 2, дајући L_2 и R_2 као што је израчунато у наставку:

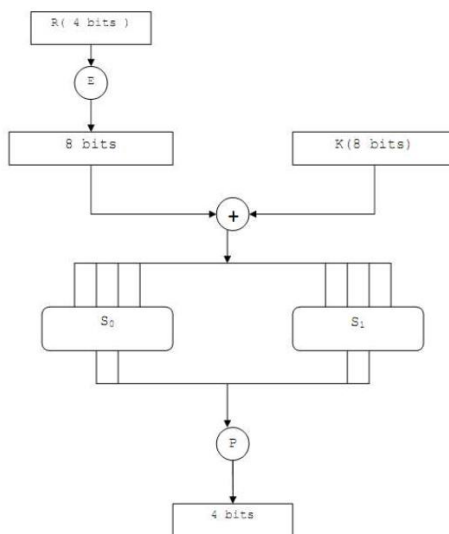
$$L_2 = R_1$$

$$R_2 = L_1 \square f(P, K_2)$$

Последњи корак захтева спајање R_2 са L_2 чиме се добија L_2R_2 . Ово се затим подвргава пермутацији која је инверзна од почетне пермутације. Након ове пермутације, производи се OUTPUT.

Функција шифре f

Скица прорачуна $f(R,K)$ дата је на слици 3.



Слика 3. Скица прорачуна $f(R,K)$ [5] .

E означава функцију која узима 4-битни блок улаз и даје 8-битни блок као излаз. 8-битни излазни блок E се добија према следећој табели:

ТАБЕЛА ЗА ИЗБОР E -БИТОВА:

3	0	1	2	1	2	3	0
---	---	---	---	---	---	---	---

Дакле, прва три бита $E(R)$ су битови 3, 0, 1 од R . 8-битни $E(R)$ је затим XORed са 8-битним поткључем K . Поткључ K_1 се користи за рунду 1, а K_2 се користи за рунду 2.

Резултат операције *XORing* се затим дели на два блока, прва четири бита од најзначајнијег бита су V_1 , а преостали битови су V_2 . V_1 и V_2 се затим примењују на S_0 и S_1 .

S_0 и S_1 су *S-BOX*-ови који узимају 4-битни улаз и дају 2-битни излаз.

S_0				
	Column Number			
Row No.	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>
0	1	0	2	3
1	3	1	0	2
2	2	0	3	1
3	1	3	2	0

S_1				
	Column Number			
Row No.	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>
0	0	3	1	2
1	3	2	0	1
<u>2</u>	1	0	3	2
3	2	1	3	0

Узимамо S_0 као пример да илуструјемо како се одређује излазни блок. S_0 узима први бит и последњи бит 4-битног блока и користи их за представљање у бази 2 броја у опсегу од 0 до 3. На пример, за блок битова 1101 добија се 11 и затим се конвертује до 3. Ово се користи за одређивање реда, у овом случају, реда 3.

Средња 2 бита се користе за представљање у бази 2 броја у опсегу од 0 до 3. Ово се користи за одређивање колоне. У случају нашег примера блока, два бита у средини представљају колону 2.

Из S_0 изнад, бира се број из реда 3, колоне 2, чиме се добија број 2, који се у бинарном облику записује као 10.

Резултат S_0 и S_1 су спојени да формирају блок од четири бита који се затим примењује на пермутацију, R . Ова функција је дефинисана следећом табелом:

P			
1	0	3	2

Резултат P ће бити 4 бита које враћа функција f . За дешифровање се користи исти алгоритам, али се поткључеви примењују обрнутим редоследом. То јест, уместо примене K_1 за рунду 1 се користи K_2 . За рунду 2, уместо K_2 се користи K_1 .

2.3. *Brute Force Attack* (напад грубом силом)

Криптоанализа грубе силе, као што јој име каже, је најједноставнији напад криптоанализом. Иако је једна од најпримитивнијих метода напада на шифру, добија све већу применљивост као резултат повећања рачунарске снаге.

Иако је једноставна, груба сила практична само за криптосистеме са величином кључа од максимално 56 бита (преко $2^{56} = 72$ квадриљона покушаја) [6]. Другим криптосистемима са величином кључа већом од 56 бита може бити потребно много времена да се разбије грубом силом, а можда чак и неће бити изводљиво. На пример, тренутни AES са 128-битном величином блока готово је немогуће разбити грубом силом са данашњим рачунарима опште намене[7]. Број комбинација које треба испробати је већи од зрна песка на земљи, много пута више од милијарду за сваки квадратни метар на земљи.

Изводљиво је напасти *S-DES* грубом силом јер има величину кључа од 10 бита[8]. Да бисмо извршили напад грубом силом, потребно је да имамо чист текст-шифровани текст у коме претражујемо простор кључа док одговарајући отворени текст, шифрован циљаним кључем, не добије шифровани текст.

2.4. Диференцијална криптоанализа

Диференцијална криптоанализа је напад изабраног отвореног текста/изабраног шифрованог текста који је првобитно развијен за напад на шифре сличне *DES*-у[9]. Одабрани напад отвореног текста је онај у којем нападач може да изабере улазе за шифру и испита излаз. Као један од ранијих напада на *DES*, диференцијална криптоанализа је опширно проучавана[10]. Многе данашње шифре су дизајниране с обзиром на имунитет против диференцијалне криптоанализе. Ипак, диференцијална криптоанализа и даље пружа добро разумевање могућих слабости шифара и техника за њихово превазилажење.

Диференцијална криптоанализа укључује анализу ефекта разлике у паровима отвореног текста на резултујућу разлику шифрованог текста. Најчешћа разлика која се користи је фиксна *XOR* вредност парова отвореног текста. Користећи ове разлике, може се погодити делимични поткључ који се користи у алгоритму за шифровање. Ово нагађање се врши статистички коришћењем процедуре бројања за сваки кључ у коме се претпоставља да је кључ са највећим бројем највероватнији делимични поткључ.

Анализираћемо следећу основну функцију линеарне шифре:

$$C = P \oplus K$$

Узимајући разлику од пара шифрованог текста, поништили бисмо укључени кључ, не остављајући нам информације о кључу:

$$C \oplus C' = P \oplus K \oplus P' \oplus K \quad C \oplus C' = P \oplus P'$$

То је због линеарности функције. Горња једначина једноставно нам говори да је разлика између отвореног текста иста као и разлика између шифрованог текста [11].

3. МЕТОД

У нашем истраживању користили смо компаративни метод и метод студије случаја и описали их дескриптивном методом као скуп емпиријских истраживачких техника.

Користили смо истраживачки алат на основу доступне литературе и дескрипцијом описали истраживање на основу анализираних података.

4. РЕЗУЛТАТИ РАДА

Кључ од 10 бита се користи за прављење 2 различита блока од 8-битних подкључева, где се сваки блок користи у одређеној итерацији. Означимо 10-битни кључ као кључ, а 8-битне подкључеве као K_1 и K_2 . Распоред кључева који се користи за генерисање подкључева означен је као K_s .

PC 1

9	7	3	8	0
2	6	5	1	4

Табела је подељена на два дела. Горњи део одређује битове C_0 , а доњи део одређује битове D_0 . Битови кључа су бројеви од 0 до 9. Дакле, битови C_0 су битови 9, 7, 3... од кључа, а битови D_0 су битови 2, 6, 5... од кључа. Затим се извршава један леви пренос на C_0 и D_0 . Ефекат једног левог померања C_0 и D_0 је C_1 и D_1 . Да би се формирао K_1 , D_1 се спаја са C_1 (при чему је најзначајнији бит C_1 значајнији бит од K_1 , а најважнији бит D_1 следи најмање важан бит C_1) и затим се подвргавају варијацији, пермутованом избору 2 који је решен следећом табелом:

PC 2

3	1	7	5	0	6	4	2
---	---	---	---	---	---	---	---

Табела за избор битова.

3	0	1	2	1	2	3	0
---	---	---	---	---	---	---	---

Дакле, прва три бита $E(R)$ су битови 3, 0, 1 од R . Осмобитни $E(R)$ се затим XOR операцијом обавља са 8-битним подкључем K . Подкључ K_1 се користи за рунду 1, а K_2 за рунду 2. Резултат XOR операције се затим дели на два блока, при чему су прва четири бита од најзначајнијег бита V_1 , а преостали битови V_2 . V_1 и V_2 се затим примењују на S_0 и S_1 .

S_1 број колоне				
Редни број <u>0</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	
<u>0</u>	0	3	1	2
<u>1</u>	3	2	0	1
<u>2</u>	1	0	3	2
<u>3</u>	2	1	3	0

затим дели на два блока, при чему су прва четири бита од најзначајнијег бита V_1 , а преостали битови V_2 . V_1 и V_2 се затим примењују на S_0 и S_1 . S_0 и S_1 су S-кутије које примају 4-битни улаз и дају 2-битни излаз.

5. ДИСКУСИЈА

Предности S-DES-a:

1. Једноставнији је од стандарда за шифровање података.
2. Узима мањи блок отвореног текста и користи мањи кључ у шифровању него DES.
3. Брзина извршавања је већа од DES-a.

Ограничења S-DES-a

1. Величина кључа је мала у алгоритму.
2. Због мале величине кључа, безбедност S-DES алгоритма је смањена.
3. Ако користимо много података као што је слика, онда тај алгоритам не може да задовољи захтев за шифровање.

Пошто S-DES даје фиксну структуру система и мало кључева, потребно је мање времена него DES. Хаотично мапирање ствара велике количине случајних и кључних кључева и то чини ово шифровање безбеднијим и даје брзину раду.

6. ЗАКЉУЧАК

Можемо закључити да је криптоанализа научна дисциплина која проучава методе откривања значења криптираних информација без приступа тајним информацијама за декриптовање.

Можемо закључити на основу примера у раду да је напад био веома успешан и успео је да издвоји цео поткључ из рунде 2. Ови битови поткључа су стварних 8 битова S-Box 10 битова кључа, док 2 бита још увек недостају. Такође, са тим поткључем, цео кључ се тада може извести без испробавања 22 могућности.

Можемо закључити да је S-DES класични симетрични систем блок шифрирања који је имао значајан утицај на историју криптографије. Иако је његова безбедност доведена у питање развојем рачунарске технологије, S-DES остаје важан део криптографске историје и развоја савремених шифарских система.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] E. Biham A., Shamir, „*Differential Cryptanalysis of the Data Encryption Standard*“, Springer-Verlag, Berlin, Germany, 1993.
- [2] E. Biham A., Shamir, „*Differential Cryptanalysis of DES-like Cryptosystems. Advances in Cryptology -- CRYPTO '90*“, Springer-Verlag, 1990, 2-21.
- [3] D. Hanluain, „*Got Your Number Ericsson ON: The New World of Communication*“, 2001, Issue.
- [4] H. M. Heys, „*A Tutorial on Linear and Differential Cryptanalysis*“, Memorial University of Newfoundland, Canada, 2000.
- [5] M. Matsui, „*Linear cryptanalysis method for DES cipher, EUROCRYPT 1994*“, 1994, no.765, pg. 386-397.
- [6] F. Mirzan, „*Block Ciphers and Cryptanalysis, Department of Mathematics*“, Royal Holloway University of London, 2000.
- [7] D. Pleskonjić, N. Maček, B. Đorđević, M. Carić, „*Sigurnost računarskih sistema i mreža*“. Mikroknjiga, 2007, Str. Br. 43-45.
- [8] E. Schaefer, „*A Simplified Data Encryption Standard Algorithm*“, Cryptologia, 1996, pp. 96.
- [9] S. K. OOI, C. B. Vito, „*Cryptanalysis of S-DES*“, University of Sheffield Centre, Taylor's College, 2002.
- [10] M. Curtin J. Dolske, „*A Brute Force Search of DES Keyspace*“, 1998. Dostupno na: <http://www.interhack.net/pubs/des-key-crack/> Datum pristupa: 01.09.2025.
- [11] J. Daemen, V. Rijmen, „*Advanced Encryption Standard (AES)*“, 2000. Dostupno na: <https://ieeemilestones.ethw.org/w/images/1/1d/Ref-2.pdf> Datum pristupa: 02.09.2025.



XVII međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2025

Banja Luka, 26 - 27. 9. 2025. godine



TRENTNI PRETNJE OD MALICIOZNIH SOFTVERA I INTERNET NAPADA

Boris Kovačić

Agencija za lijekove i medicinska sredstva BiH, b.kovacic@almbih.gov.ba

Gordan Bajić

Panevropski univerzitet Apeiron, gordan.z.bajic@apeiron-edu.eu

Sažetak: Cilj istraživanja je ukazati na trenutne rizike od malicioznih softvera i napada na računare i računarske mreže u zadnjih mjesec dana

Ključne riječi: Trojanac, Crv, Virus, Ransomware, Exploit, Mrežni stog, zlonamjerni softver, DDoS napad

CURRENT THREATS FROM MALICIOUS SOFTWARE AND INTERNET ATTACKS

Abstract: The aim of the research is to point out the current risks of malicious software and attacks on computers and computer networks at last month

Key Words: Trojan, Worm, Virus, Ransomware, Exploit, Network attack, malicious software, DoS attack

1. UVOD

Kada pomenemo maliciozni softver u informatici upućuje nas na računarski virus, crv, trojanac ili drugi vid malicioznog softvera.

Računarski virus je računarski program koji svojom reprodukcijom može zaraziti računare tako da bez dopuštenja ili znanja korisnika kopira samog sebe u sistem ili memoriju ciljanog računarskog sistema. Izraz "virus" često se povezuje i s zlonamjernim programima poput programa za oglašavanje (engl. *adware*) i programa za prikupljanje podataka (engl. *spyware*), koji nemaju sposobnost reprodukcije kao virus. Virusi se šire najčešće s jednog računara na drugi u obliku izvršnog zlonamjernog koda putem interneta, priloga u e-pošti, porukama ili medija poput USB medija, vanjskog tvrdog diska, CD, DVD medija ili traka. Povećana je mogućnost širenja virusa u slučaju da se folderi zaraženi virusom nalaze na serveru kojem može pristupiti više korisnika, te na taj način se distribucija širi.

Najčešće vrste računarskih virusa ću navesti u daljnjem tekstu.

boot sektor virusi – kopiraju svoj zlonamjerni kod u *Master boot* sektor i tako osiguravaju izvršenje zlonamjernog koda pri svakom pokretanju računarskog sistema. Šire se putem USB uređaja. Mogu spriječiti pokretanje sistema ili izazvati gubitak podataka.

programski virusi – aktiviraju se pri izvršenju zaražene izvršnog fajla, najčešćom s ekstenzijom .exe ili .com

makro virusi – virusi koji su napisani višim programskim makro jezikom, imaju mogućnost kopiranja i brisanja samih sebe te mijenjanja dokumenata. Obično se nalaze u dokumentima kao što su *Word (.doc)* ili *Excel (.xls)*.

Trojanski konj ili kraće trojanac je zlonamjerni računarski program koji se lažno predstavlja kao neki drugi program s korisnim ili poželjnim funkcijama. Najčešći slučaj je da se predstavljaju kao antivirusni program ili drugi korisnički program na računaru. Ne šire se sami, već se oslanjaju na korisnika da ih pokrene.

Dropper - služi za inficiranje računarskog virusa u napadnuti računar. Dropper igra ulogu žrtve, namjerno omogućujući virusu da se naseli u računar. To je program koji ugrađuje u sebe dodatnu komponentu zlonamjernog programa. [3]. Glavna funkcija ove vrste virusa nije da direktno nanosi štetu, već da "dostavi" ili instalira druge viruse na zaraženom računaru. Može se posmatrati kao "transportni agent" za ozbiljnije pretnje poput trojanaca, *ransomware-a*, *spyware-a* i *rootkit-a*.

Backdoor („zadnja vrata”) – e vrsta zlonamernog softvera ili skrivenog mehanizma koji omogućava neovlašćen pristup računarskom sistemu, mreži ili aplikaciji — bez znanja korisnika ili administratora. Backdoor omogućava napadaču da zaobiđe standardne bezbednosne protokole (lozinke, autentifikaciju) i da:

- Daljinski kontroliše sistem,
- Pristupi, menja ili briše podatke,
- Instalira druge vrste malvera,
- Prati korisničke aktivnosti.

Ova vrsta virusa je opasna jer ga je teško otkriti jer se često maskira kao legitimna komponenta. Može ostati aktivan dugo vremena bez primjetnih simptoma. Omogućava kontinuirani pristup čak i nakon uklanjanja drugih malvera.

Downloader - trojanski konj koji pristupa različitim internetskim stranicama kako bi s njih preuzeo, obično zlonamjerne datoteke te ih na kraju i pokrenuo. Ova vrsta zlonamjernih programa je najjednostavniji tip na koji možete naići tokom analize zlonamjernih programa. [3].

Rezidentni virus - Instaliraju se u RAM memoriju i ostaju aktivni čak i kada se zaraženi program zatvori. Mogu presretati operacije sistema i širiti se na druge datoteke u pozadini.

Ransomware virus - je zlonamerni softver koji zaključava ili šifruje podatke na računaru i zahteva otkupninu (najčešće u kriptovalutama) da bi se podaci ponovo otključali. Cilj napada je finansijska dobit, a žrtve mogu biti pojedinci, kompanije, pa čak i državne institucije.

Exploit je napad na računarski sistem gde napadači koriste ranjivost sistema ili aplikacije kako bi presrelili komunikaciju i preuzeli kontrolu nad računarom ili aplikacijom. Poslije uspešnog *exploita*, napadač može da onespособi ciljanu aplikaciju ili da potencijalno dobije sve privilegije i prava koje postoje za kompromitovanu aplikaciju.

U daljnjem tekstu će biti prikazana statistika iz trenutno dostupnih izvora, te ukazati na trenutno najčešćih infekcija.

2. STATISTIKA MALICIOZNIH SOFTVERA

U daljnjem tekstu predstavljam statistiku najčešćih malicioznih softvera. Uvidom u top deset malicioznih softvera na pristupnom skeniranju u Bosni i Hercegovini i u svijetu došlo je do velike razlike između infekcija u svijetu i u Bosni i Hercegovini. Naime poklapanje je maksimalno u 5 od 10 najčešćih malicioznih infekcija.

Tabela: 1 Top deset - Na pristupnom skeniranju u prethodnom mesecu u svijetu [4]

1	DangerousObject.Multi.Generic	10,91%
2	Trojan.Script.Generic	3,73%
3	HackTool.VBS.KeySender.gen	3,01%
4	Trojan.Win32.Hosts2.gen	2,14%
5	Trojan.WinLNK.Agent.gen	2,00%
6	Trojan.AndroidOS.Fakemoney.v	1,70%
7	Trojan.Win32.Convagent.gen	1,66%
8	Trojan-Spy.Win32.Agent.gen	1,46%
9	Trojan.Multi.GenBadur.gen	1,45%
10	Virus.MSExcel.Laroux.lh	1,41%

Tabela: 2 Top deset - Na pristupnom skeniranju u prethodnom mesecu u Bosni i Hercegovini [4]

1	Trojan-Downloader.MSOffice.SLoad.gen	13,54%
2	DangerousObject.Multi.Generic	9,73%
3	Trojan-Downloader.MSOffice.Dotmer.gen	7,62%
4	Trojan.Script.Generic	7,05%
5	Trojan.VBS.Starter.pl	4,37%
6	Trojan-Downloader.MSOffice.Agent.sb	3,24%
7	Trojan-Downloader.Script.SLoad.gen	2,54%
8	Virus.Acad.Bursted.a	2,54%
9	Trojan.MSIL.Taskun.gen	2,12%
10	Trojan.Win32.AutoRun.gen	1,83%

Trojan-Downloader.MSOffice.SLoad.gen

Programi klasificirani kao Trojan-Downloader preuzimaju i instaliraju nove verzije zlonamjernih programa, uključujući Trojance i AdWare, na računare žrtava. Nakon preuzimanja s interneta, programi se pokreću ili se uključuju na listu programa koji će se automatski pokrenuti kada se operativni sistem pokrene. Informacije o imenima i lokacijama preuzetih programa nalaze se u kodu Trojanca ili ih Trojanac preuzima s internet resursa (obično web

stranice). Ova vrsta zlonamjernog programa često se koristi pri početnoj infekciji posjetitelja web stranica koje sadrže exploite.

Protivnici mogu zloupotrijebiti Windows komandnu ljsku za izvršavanje naredbi. Windows komandna ljska (cmd) je primarna komandna linija na Windows sistemima. Windows komandna linija se može koristiti za kontrolu gotovo svakog aspekta sistema, s različitim nivoima dozvola potrebnim za različite podskupove naredbi. Komandna linija se može pozvati daljinski putem udaljenih usluga kao što je SSH.

Protivnici mogu zloupotrijebiti Regsvr32.exe za izvršavanje zlonamjernog koda. Regsvr32.exe je program komandne linije koji se koristi za registraciju i odregistraciju kontrola povezivanja i ugrađivanja objekata, uključujući dinamičke biblioteke veza (DLL), na Windows sistemima. Binarnu datoteku Regsvr32.exe može potpisati i Microsoft.

Protivnici mogu mijenjati dozvole/atribute datoteka ili direktorija kako bi izbjegli liste kontrole pristupa (ACL) i pristupili zaštićenim datotekama. Dozvole za datoteke i direktorije obično se upravljaju ACL-ovima koje konfigurira vlasnik datoteke ili direktorija ili korisnici s odgovarajućim dozvolama. Implementacije ACL-ova za datoteke i direktorije razlikuju se ovisno o platformi, ali općenito eksplicitno određuju koji korisnici ili grupe mogu izvršavati koje radnje (čitati, pisati, izvršavati itd.).

DangerousObject.Multi.Generic

DS:DangerousObject.Multi.Generic je vrsta malvera koji je klasifikovan kao *ransomware* ili trojanski virus. Često je ugrađen u datoteke dokumenata i programa *Settings* kao komponenta C diska. UDS:DangerousObject.Multi.Generic je moćan i opasan malver. Teško je otkriti i još teže ukloniti sa pogođenog računara.

Evo liste simptoma i efekata ovog *ransomware*-a:

- *Uds:DangerousObject.Multi.Generic* može ograničiti pristup vašim datotekama, ostaviti napomene o otkupnini kao obaveštenja, usporiti računar i blokirati neke druge programe od pokretanja.
- Ovaj trojanac pokreće zlonamerne skripte i neovlašćene unose u vaše systemske direktorijume.
- *Uds:DangerousObject.Multi.Generic* može da radi u pozadini i snima svoje informacije kao što su bankarske informacije, sačuvane lozinke i istorija pregledanja.
- Ovaj virus može da prijavi pritiske na tastere, pristupite kameri i redovno pravite snimke ekrana.
- Može se povezati sa komandno-kontrolnim serverima i preneti tehničke informacije o vašem računaru, omogućavajući hakerima da pristupe sistemu na daljinu.
- Trojanci kao što su *Uds: DangerousObject.Multi.Generic* će oslabiti bezbednost vašeg računara stvaranjem *backdoor* pristup i dovesti do drugih ransomware i virusnih infekcija.

Tabela: 3 Top deset - Statistika o pretnjama otkrivenim od strane Web Anti-Virus komponente u svijetu [4]

1	Trojan.Script.Generic	42,74%
2	Trojan.PDF.Badur.gen	9,77%
3	Trojan-Clicker.Script.GhostPlugin.gen	3,83%
4	Trojan.BAT.Miner.gen	3,78%
5	Hoax.HTML.Phish.gen	3,60%
6	Trojan.Multi.Preqw.gen	2,82%
7	Trojan.VBS.SAgent.gen	2,44%
8	Trojan.BAT.Obfus.gen	2,32%
9	Trojan-Downloader.Script.Generic	2,29%
10	DangerousObject.Multi.Generic	1,70%

Tabela: 4 Tabela: Top deset - Statistika o pretnjama otkrivenim od strane Web Anti-Virus komponente u BiH [4]

1	Trojan.Script.Generic	61,38%
2	Trojan.Multi.Preqw.gen	18,12%
3	Trojan.PowerShell.Obfus.gen	14,92%
4	Trojan-Downloader.PowerShell.Agent.aat	1,88%
5	DangerousObject.Multi.Generic	1,86%
6	Trojan.Script.Agent.gen	0,59%
7	Trojan-PSW.Script.Generic	0,26%
8	Trojan-Downloader.Script.SLoad.gen	0,10%
9	Trojan.MSOffice.Badur.gen	0,09%
10	Trojan-Spy.MSIL.Noon.gen	0,07%

Trojan.Script.Generic

Trojanci su zlonamjerni programi koji izvršavaju radnje koje korisnik nije odobrio: brišu, blokiraju, mijenjaju ili kopiraju podatke i ometaju performanse računara ili računarskih mreža. Za razliku od virusa i crva, prijetnje koje spadaju u ovu kategoriju ne mogu se kopirati niti samostalno replicirati. Trojanci se klasificiraju prema vrsti radnje koju izvršavaju na zaraženom računaru.

Zlonamjerni program dizajniran za elektronsko špijuniranje aktivnosti korisnika (presretanje unosa s tastature, pravljenje snimaka ekrana, snimanje liste aktivnih aplikacija itd.). Prikupljene informacije se šalju sajberkriminalcu na različite načine, uključujući e-poštu, FTP i HTTP (slanjem podataka u zahtjevu).

Tabela: 5 Top 10 otkrivenih pretnji u svijetu Ransomware-klase pretnje [4]

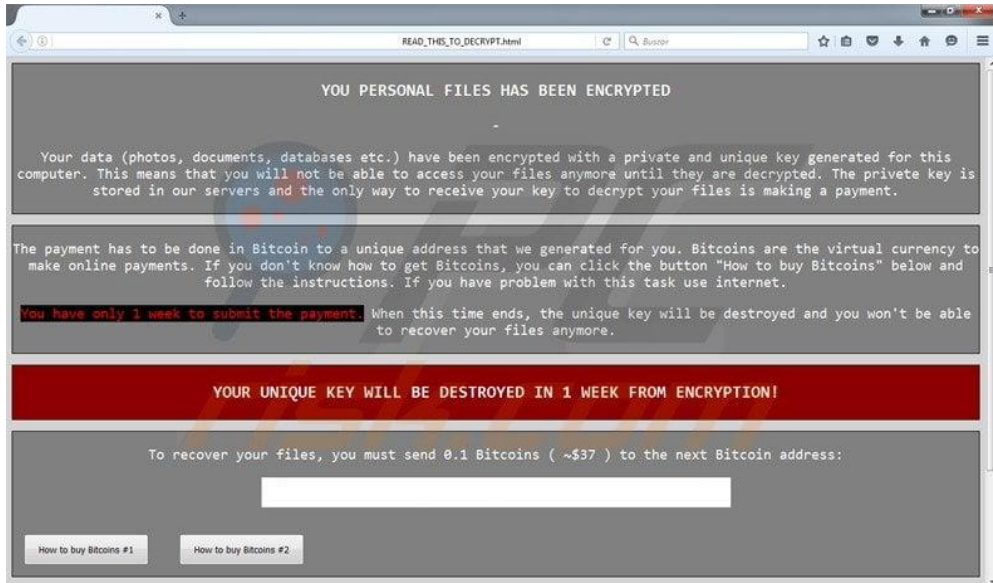
1	Trojan-Ransom.Win32.Gen.p	20,64%
2	Trojan-Ransom.Win32.Blocker.ckeq	8,55%
3	Trojan-Ransom.Win32.Crypren.gen	4,95%
4	Trojan-Ransom.Win32.Wanna.m	4,61%
5	Trojan-Ransom.Win32.Gen.abxr	4,24%
6	Trojan-Ransom.Win32.Blocker.gen	3,27%
7	Trojan-Ransom.MSIL.Blocker.gen	2,86%
8	Trojan-Ransom.WIN32.Phny.a	2,49%
9	Trojan-Ransom.Win32.Convagent.gen	2,48%
10	Trojan-Ransom.Win32.Wanna.zbu	2,46%

Tabela: 6 Top 10 otkrivenih pretnji u BiH Ransomware-klase pretnje [4]

1	Trojan-Ransom.Win32.Crypren.gen	41,04%
2	Trojan-Ransom.Win32.Crypren	19,80%
3	Trojan-Ransom.Win32.Crypren.albc	12,72%
4	Trojan-Ransom.Win32.Blocker.zpfd	4,77%
5	Trojan-Ransom.Win32.Phds.a	3,32%
6	Trojan-Ransom.MSIL.Blocker.gen	3,18%
7	Trojan-Ransom.Win32.Foreign.vho	1,73%
8	Trojan-Ransom.Win32.Gen.gen	1,30%
9	Trojan-Ransom.Win32.Blocker.gen	1,30%
10	Trojan-Ransom.Win32.Foreign.pef	0,87%

Trojan-Ransom.Win32.Crypren.gen

Ova vrsta trojanca mijenja podatke na računaru žrtve tako da žrtva više ne može koristiti podatke ili sprječava ispravan rad računara. Nakon što su podaci "uzeti kao taoci" (blokirani ili šifrirani), korisnik će dobiti zahtjev za otkupninu. Zahtjev za otkupninu govori žrtvi da pošalje novac zlonamjernom korisniku; po prijemu ovog zahtjeva, sajber kriminalac će poslati program žrtvi za vraćanje podataka ili vraćanje performansi računara.



Slika 19 Prikaz poruke nakon kriptovanja Ransomware Crypren [7]

Protivnici mogu zloupotrijebiti Windows Task Scheduler za zakazivanje zadataka za početno ili ponavljajuće izvršavanje zlonamjernog koda. Postoji više načina za pristup Task Scheduleru u Windowsu. Uslužni program schtasks može se pokrenuti direktno iz komandne linije ili se Task Scheduler može otvoriti putem GUI-ja u odjeljku Administratorski alati na Kontrolnoj ploči. U nekim slučajevima, protivnici su koristili .NET omotač za Windows Task Scheduler, a alternativno, protivnici su koristili Windows netapi32 biblioteku za kreiranje zakazanog zadatka.

Protivnici mogu zloupotrebljavati PowerShell komande i skripte za izvršavanje. PowerShell je moćno interaktivni interfejs komandne linije i okruženje za skriptiranje uključeno u operativni sistem Windows. Protivnici mogu koristiti PowerShell za izvođenje niza radnji, uključujući otkrivanje informacija i izvršavanje koda. Primjeri uključuju Start-Process cmdlet koji se može koristiti za pokretanje izvršne datoteke i Invoke-Command cmdlet koji pokreće komandu lokalno ili na udaljenom računaru (iako su potrebne administratorske dozvole za korištenje PowerShella za povezivanje s udaljenim sistemima).

Protivnici mogu iskoristiti softverske ranjivosti u klijentskim aplikacijama za izvršavanje koda. Ranjivosti mogu postojati u softveru zbog nesigurnih praksi kodiranja koje mogu dovesti do nepredviđenog ponašanja. Protivnici mogu iskoristiti određene ranjivosti putem ciljanog iskorištavanja u svrhu proizvoljnog izvršavanja koda. Često su najvrjedniji iskorištavanjima za ofanzivni skup alata oni koji se mogu koristiti za dobijanje izvršenja koda na udaljenom sistemu jer se mogu koristiti za dobijanje pristupa tom sistemu. Korisnici će očekivati da vide datoteke povezane s aplikacijama koje su obično koristili za rad, tako da su korisna meta za istraživanje i razvoj iskorištavanja zbog svoje visoke korisnosti.

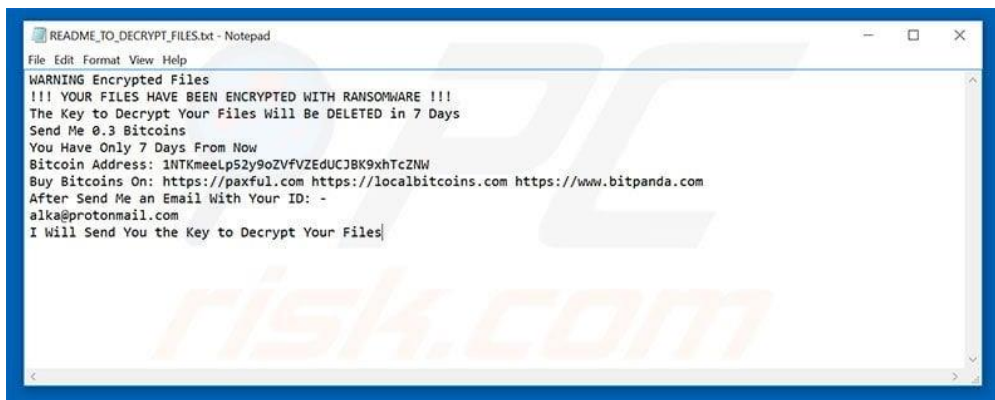
Protivnik se može osloniti na to da će korisnik otvoriti zlonamjernu datoteku kako bi je izvršio. Korisnici mogu biti podvrgnuti socijalnom inženjeringu kako bi se naveli da otvore datoteku koja će dovesti do izvršenja koda. Ova korisnička radnja će se obično primijetiti kao naknadno

ponašanje nakon Spearphishing priloga. Protivnici mogu koristiti nekoliko vrsta datoteka koje zahtijevaju od korisnika da ih izvrši, uključujući .doc, .pdf, .xls, .rtf, .scr, .exe, .lnk, .pif i .cpl.

Trojan-Ransom.MSIL.Blocker.gen

Ova vrsta trojanca menja podatke na računaru žrtve tako da žrtva više ne može da koristi podatke, ili sprečava računar da radi ispravno. Kada su podaci "uzeti kao taoci", blokirani ili šifrovani, korisnik će dobiti zahtev za otkupninu. Zahtev za otkupninu govori žrtvi da pošalje zlonamjerni novac korisnika; Po prijemu ovoga, sajber kriminalac će poslati program žrtvi da vrati podatke ili vrati performanse računara.

Zajednički srednji jezik (ranije poznat kao *Microsoft Intermediate Language*, ili *MSIL*) je srednji jezik koji je razvio Microsoft za .NET Framework. CIL kod generišu svi Microsoft.NET kompajleri u Microsoft Visual Studio-u (Visual Basic.NET, Visual C ++, Visual C # i drugi).



Slika 20 Snimak ekrana poruke koja podstiče korisnike da plate otkupninu za dešifrovanje svojih kompromitovanih podataka [6]

Ovaj malver je prvi put otkrio istraživač bezbednosti malvera pod nazivom SecPanda. Kada se infiltrira, virus šifruje različite datoteke i dodaje povezana imena datoteka sa ekstenzijom ".ransom" (na primjer, "sample.jpg" je preimenovan u "sample.jpg.ransom"). MSIL zatim kreira dvije tekstualne datoteke ("README_TO_DECRYPT_FILES.txt" i "README_TO_DECRYPT_FILES.html"), stavljajući ih u svaku fasciklu koja sadrži šifrovane datoteke. *HTML* i *txt* fajlovi sadrže identičnu poruku o otkupnini u kojoj se navodi da su fajlovi šifrovani i da žrtva mora da plati otkupninu od 0.3 Bitcoin da bi ih vratila. Trenutno nije poznato koju vrstu kriptografije (simetrične ili asimetrične) koristi *MSIL*, međutim, u oba slučaja, dešifrovanje bez jedinstvenog ključa je nemoguće.

Inicijalni pristup preko prenosnih USB medija. Protivnici mogu da pređu na sisteme, verovatno one na nepovezanim mrežama ili mrežama sa vazдушnim razmakom, kopiranjem zlonamernog softvera na prenosive medije i korišćenjem prednosti funkcija automatskog pokretanja kada se medij ubaci u sistem i izvrši. U slučaju *Lateral Movement*, ovo se može desiti modifikacijom izvršnih datoteka koje se nalaze na prenosivim medijima ili kopiranjem malvera i preimenovanjem da izgleda kao legitimna datoteka kako bi prevarila korisnike da ga izvrše na posebnom sistemu. U slučaju inicijalnog pristupa, to se može desiti ručnom manipulacijom medija, modifikacijom sistema koji se koriste za početno formatiranje medija ili modifikacijom samog firmvera medija.

Tabela: 7 Top 10 zemalja u svijetu inficirane sa Ransomware grupom virusa

1	Turkmenistan	0,98%
2	Yemen	0,81%
3	Afghanistan	0,79%
4	Uruguay	0,67%
5	Iran	0,58%
6	Pakistan	0,47%
7	South Korea	0,44%
8	Bosnia and Hercegovina	0,43%
9	Iraq	0,41%
10	Ethiopia	0,37%

Tabela: 8 Top 5 zemalja u Evropi inficirane sa Ransomware grupom virusa

1	Bosnia and Hercegovina	0,43%
2	San Marino	0,27%
3	Italy	0,19%
4	Belarus	0,18%
5	Republic of North Macedonia	0,17%

S obzirom na vrstu virusa, *Ransomware* virusi su najzastupljeniji u Bosni i Hercegovini kako u Evropi, tako i u svijetu. Statistika pokazuje da je Bosna i Hercegovina prva na listi po infekcijama ovom grupom virusa, a posebno Trojan-Ransom.Win32.Crypren podgrupom.

Tabela: 9 Top 10 zemalja u svijetu inficirane sa virusom putem e-Mejla

1	Bosnia and Hercegovina	4,53%
2	South Africa	3,70%
3	Serbia	3,54%
4	Republic of North Macedonia	3,45%
5	San Marino	3,35%
6	Uruguay	3,12%
7	Croatia	3,05%
8	United Arab Emirates	2,87%
9	Portugal	2,84%
10	Slovenia	2,59%

Tabela: 10 Top 5 zemalja u Evropi inficirane sa virusom putem e-Mejla

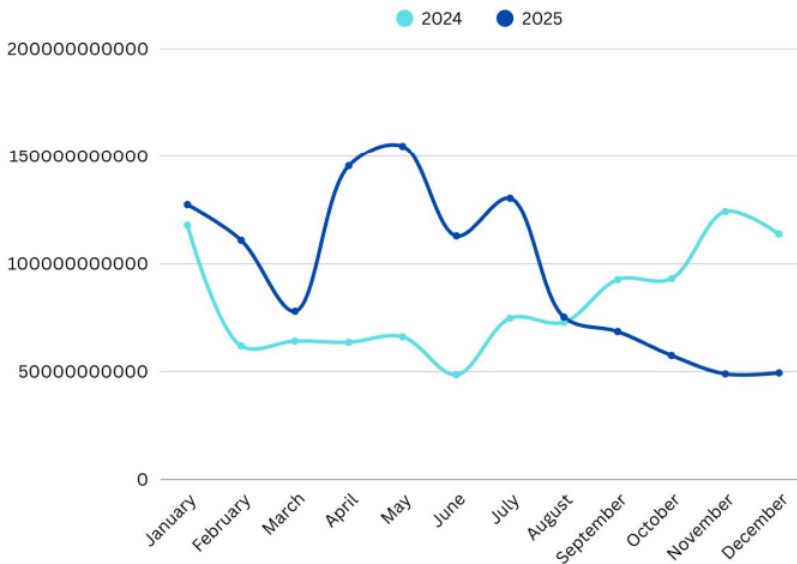
1	Bosnia and Herzegovina	4,53%
2	Serbia	3,54%
3	Republic of North Macedonia	3,45%
4	San Marino	3,35%
5	Croatia	3,05%

S obzirom na presjek zemalja u Evropi koje su inficirane sa *Ransomware* grupom virusa, najviše infekcija je u Bosni i Hercegovini. Takođe je slična situacija sa zemljama okruženja, odnosno u Srbiji, Republici Sjevernoj Makedoniji i Hrvatskoj.

3. STATISTIKA MREŽNIH NAPADA

Nadalje shodno podacima o mrežnim napadima sa interneta.

Trenutno stanje napada sa izvorom napada, prikazano sa Fortinet opreme.



Slika 21 Analiza napada detektovanih Fortinet opremom po mjesecima i projekcija [5]

Uvidom u izvještaj detekcije Fortinet opreme malicioznih fajlova u 2025-toj u odnosu na 2024-tu je povećanje za 16,71%.

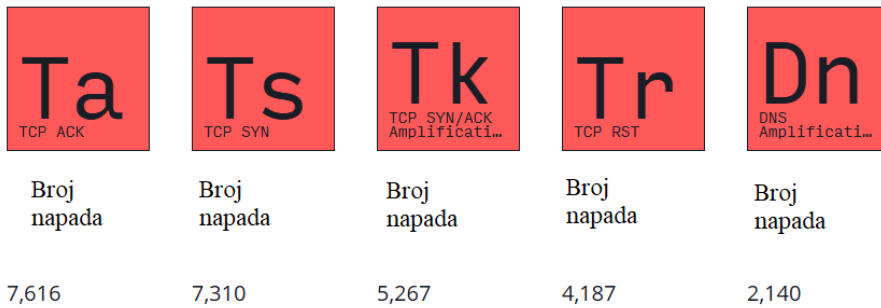
Tabela: 11 Broj detekcija malicioznih softvera od Fortinet opreme u 2024-toj i 2025-toj [5]

Godina detekcije	Broj detekcija malicioznih fajlova
Detekcije u 2025-toj	1,16 biliona
Detekcije u 2024-toj	993 milijardi

Maksimalan broj vektora viđenih u jednom napadu sa NETSCOUT opremom na teritoriji BiH je 23.

Korišteni vektori napada detektovani NETSCOUT opremom na teritoriji BiH: [6]

1. Bittorrent Amplification
2. CLDAP Amplification
3. DNS
4. DNS Amplification
5. ICMP
6. L2TP Amplification
7. MS SQL RS Amplification
8. NetBIOS Amplification
9. RIPv1 Amplification
10. SNMP Amplification
11. SSDP Amplification
12. TCP ACK
13. TCP RST
14. TCP SYN
15. TCP SYN/ACK Amplification
16. UDP
17. VSE Amplification
18. chargen Amplification
19. mDNS Amplification
20. memcached Amplification
21. rpcbnd Amplification



Slika 22 Najčešći napadi detektovani NETSCOUT opremom [6]

Da bi se sprečili upadi u računarsku mrežu potrebno je koristiti sigurnosne protokole i zaštitni zid. Osim toga potrebno je korištenje zaštite od DDoS napada.

Da bi poboljšavali i provjeravali periodično bezbjednost mreže, potrebno je periodično testiranje protokola u mreži. Alati koji pomažu u ovom su Hping, Netcat, Nmap. [2]

4. ZAKLJUČAK

Shodno napred navedenom vidljivo je da je potrebno da se periodično pregleda mreža, te prate aktuelnosti novih sigurnosnih propusta. Osim toga potrebno je redovno ažurirati operativne sisteme i mrežne uređaje sa zadnjim sigurnosnim paketima. Segmentacija mreže će smanjiti opseg mogućeg upada u mrežu.

Primjetno je da je povećan broj infekcija virusima i drugim malicioznim fajlovima. Posebno velik rizik je od Ransomware zloćudnog softvera. Povećana je i distribucija virusa putem elektronske pošte. Za navedene 2 detekcije od par vendora je Bosna i Hercegovina prepoznata kao prva sa ovim infekcijama i načinom distribuije, odnosno e-poštom.

Praćenje novih virusa i novih propusta na operativnim sistemima, te opseg portova na kojima se izvodi napad sa novim zlonamjernim aplikacijama omogućuje prevenciju infekcija i napada kako na mrežu, tako i na računare.

Potrebno je izvršiti obuku zaposlenih u svim djelatnostima, da bi se rasteretila IT stručna lica i fokusirala na odbranu i prevenciju virusa i drugih zloćudnih napada. Osim što nanose štetu hakeri inficirane računare koriste kao medij za infekciju i napade na druge mreže širom Evrope i svijeta. Jer bez obzira koliko sistem bio zaštićen ako korisnik klikne u elektronskoj pošti i pokrene zloćudni softver, teško je zaštititi sistem.

Takođe je bitno da redovan bekap bude na odvojenim diskovima, trakama ili drugim uređajima zaštićen na način da infekcija ransonwerom ne može oštetiti bekap, te da je siguran od drugih mogućih zloćudnih softvera.

REFERENCE

- [1] Dragan Pleskonjić, Nemanja Maček, Borislav Đorđević, Marko Carić, Sigurnost računarskih sistema i mreža, Mikro Knjiga 2007, Beograd;
- [2] James Forshaw, Napadi na mrežne protokole, Mikroknjiga 2018, Beograd;
- [3] Monnappa K. A, Zaštita od zlonamernih programa, Kompjuter biblioteka 2019, Zemun;
- [4] Link statistike Kaspersky Lab-a, <https://cybermap.kaspersky.com/stats>, posjećeno 01.09.2025;
- [5] Link statistike Fortinet-a izvještaja, <https://www.fortinet.com/content/dam/fortinet/assets/threat-reports/threat-landscape-report-2025.pdf>, posjećeno 01.09.2025;
- [6] Link statistike NETSCOUT, <https://www.netscout.com/threatreport/country/bosnia-and-herzegovina/>, posjećeno 01.09.2025.
- [7] Link Crypren Ransomware, <https://www.pcrisk.com/removal-guides/10019-crypren-ransomware> posjećeno 01.09.2025.



XVII međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2025

Banja Luka, 26 - 27. 9. 2025. godine



OPTIMIZACIJA ČIŠĆENJA I PREDOBRADE PODATAKA PAMETNOG DOMA POMOĆU PYTHON-A

Ana Đokić

Faculty of Engineering, University of Kragujevac, Serbia, adjokic2403@gmail.com

Dragana Dudić

Faculty of Informatics and Computer Science, Union-Nikola Tesla University, Belgrade, Serbia, ddudic@unionnikolatesla.edu.rs

Hana Stefanović

School of Electrical and Computer Engineering, Belgrade, Serbia, hanas@viser.edu.rs

Olja Krčadinac

Faculty of Informatics and Computer Science, Union-Nikola Tesla University, Belgrade, Serbia, okrcadinac@unionnikolatesla.edu.rs

Željko Stanković

Pan-European University APEIRON, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina, zeljko.z.stankovic@apeiron-edu.eu

Sažetak. Pametni kućni sustavi generiraju velike količine podataka iz različitih senzora, kao što su temperatura, vlažnost, kretanje i potrošnja energije. Učinkovita predobrada ključna je za poboljšanje kvalitete podataka, smanjenje šuma i omogućavanje točne analize. Ovaj rad ispituje tehnike predobrade podataka temeljene na Pythonu za okruženja pametnih domova. Tijek rada predobrade uključuje čišćenje podataka, rukovanje nedostajućim vrijednostima, normalizaciju, odabir značajki i transformaciju podataka. Čišćenje podataka rješava duplicirane zapise, outliere i nedosljednosti, dok se nedostajuće vrijednosti imputiraju korištenjem statističkih pristupa i pristupa strojnog učenja. Tehnike normalizacije standardiziraju očitavanja senzora kako bi se osigurala dosljednost među podatkovnim točkama. Inženjering značajki i smanjenje dimenzionalnosti poboljšavaju skup podataka za poboljšano prediktivno modeliranje. Poboljšanjem kvalitete podataka, predobrada doprinosi pametnijoj automatizaciji doma, učinkovitom otkrivanju anomalija i optimiziranom upravljanju energijom. Ova studija naglašava ključnu ulogu predobrade u analitici pametnih domova, olakšavajući pouzdane i smislene uvide za donošenje odluka. Predložene tehnike poboljšavaju integraciju podataka pametnih domova u modele strojnog učenja, potičući napredak u inteligentnim sustavima automatizacije doma. Osim toga, tijekom rada može se prilagoditi u obrazovne svrhe, demonstrirajući tehnike predobrade podataka u akademskim i istraživačkim okruženjima.

Ključne riječi: predobrada podataka, analitika pametnih domova, Python, podaci IoT senzora

OPTIMIZING SMART HOME DATA CLEANING AND PREPROCESSING VIA PYTHON

Abstract. *Smart home systems generate large volumes of data from various sensors, such as temperature, humidity, motion, and energy consumption. Effective preprocessing is essential to enhance data quality, reduce noise, and enable accurate analysis. This paper examines Python-based data preprocessing techniques for smart home environments. The preprocessing workflow includes data cleaning, handling missing values, normalization, feature selection, and data transformation. Data cleaning addresses duplicate records, outliers, and inconsistencies, while missing values are imputed using statistical and machine learning approaches. Normalization techniques standardize sensor readings to ensure consistency across data points. Feature engineering and dimensionality reduction refine the dataset for improved predictive modeling. By enhancing data quality, preprocessing contributes to smarter home automation, efficient anomaly detection, and optimized energy management. This study underscores the critical role of preprocessing in smart home analytics, facilitating reliable and meaningful insights for decision-making. The proposed techniques enhance the integration of smart home data into machine learning models, driving advancements in intelligent home automation systems. In addition, the workflow can be adapted for educational purposes, demonstrating data preprocessing techniques in academic and research settings.*

Keywords: *data preprocessing, smart home analytics, Python, IoT sensor data*

1. INTRODUCTION

Smart homes generate vast quantities of heterogeneous data from various sensors and devices (Alrefaei, 2024). This raw data, however, is often noisy, incomplete, and inconsistent making direct analysis and modeling challenging (Bilal, 2022). Effective data preprocessing is therefore a crucial step in transforming raw sensor readings into structured, high-quality datasets suitable for machine learning, data mining or other analytical tasks (Tayeb, 2020).

In recent years, there has been a significant expansion of AutoML tools capable of automating all or some steps of data preprocessing. Notable examples include H2O-AutoML, Auto-sklearn, AutoWEKA, TPOT, AutoGluon, and DataRobot. However, no AutoML technique is yet mature enough to completely handle data preprocessing with complete accuracy (Bilal, 2022). To maintain flexibility, enable advanced customization, and retain full control over data transformations, we opted for manual data preprocessing using Python programming language.

In this paper, we will examine common preprocessing steps, relevant Python libraries like numpy, pandas, matplotlib and seaborn, and best practices for handling specific data challenges encountered in smart home environments.

The increasing complexity of smart home systems, with their interconnected devices and diverse data streams, necessitates a robust and adaptable preprocessing pipeline to ensure the accuracy and reliability of subsequent analyses (Essafi, 2024).

By providing a structured approach to preprocessing smart home data, this paper aims to serve as a valuable resource for researchers, engineers, and developers working in this domain. Through practical insights and real-world applications, we emphasize the importance of high-quality data preparation in unlocking the full potential of smart home analytics.

2. DATA ACQUISITION

Smart homes leverage a diverse array of sensors to capture a rich tapestry of data reflecting the activities and conditions within the home environment. These sensors encompass a wide range of modalities, including motion sensors detecting movement within specific areas (Babangida, 2022), temperature sensors monitoring ambient conditions (Pirzada, 2018), light sensors measuring illumination levels (Pirzada, 2018), door/window sensors tracking entry and exit points (Babangida, 2022), and smart appliance usage data recording energy consumption and operational status (Maguluri, 2024). The heterogeneity of these sensor types contributes to the complexity of smart home data, demanding tailored preprocessing strategies for each data modality.

The methods of data acquisition vary considerably depending on the specific sensor and its intended application. Some systems employ continuous data streams, constantly monitoring and recording sensor readings (Pirzada, 2018). This approach provides a detailed picture of the home's dynamic state but results in large volumes of data that require efficient processing and storage. Other systems may utilize event-based logging, only recording data when a significant event occurs, such as a door opening or a motion detection (Tax, 2019). This method reduces data volume but may miss subtle changes or patterns. The choice between continuous and event-based data acquisition involves a trade-off between data richness and computational efficiency.

The data collected in smart homes encompasses a wide spectrum of information relevant to various applications. Energy consumption data, typically measured by smart meters, is crucial for energy management and forecasting (Maguluri, 2024). This data reveals patterns of energy use, enabling optimization strategies to reduce costs and improve efficiency. Activity patterns, inferred from sensor data, provide insights into residents' daily routines and habits (Babangida, 2022; Tax, 2019). This information is valuable for applications such as personalized healthcare recommendations, activity-based lighting control, and security systems. Moreover, smart home data can even serve as a proxy for health indicators (Hunter, 2020), providing unobtrusive monitoring of an individual's well-being. For instance, changes in activity patterns or bathroom usage might signal a decline in health status. The versatility of smart home data makes it a powerful resource for a wide array of applications, but this diversity also necessitates sophisticated preprocessing techniques to extract meaningful insights from the raw data

3. USED DATA PREPROCESSING TECHNIQUES

The raw data collected from smart homes is rarely suitable for direct analysis. It often suffers from various imperfections that necessitate careful preprocessing to ensure accurate and reliable results. This section delves into the used preprocessing techniques employed to address these issues.

3.1. Data Cleaning

Missing values and outliers are common occurrences in smart home data (Naware, 2024). Missing values arise from various sources, including sensor malfunctions, communication errors, or simply the absence of specific events. Outliers represent data points that significantly deviate from the expected pattern, often due to noise, errors, or unusual events. The presence of missing values and outliers can significantly distort the results of data analysis and lead to inaccurate conclusions.

Several methods exist for handling missing values. Simple imputation techniques include mean imputation, where missing values are replaced with the mean of the available data, and median imputation, where missing values are replaced with the median. However, these methods can distort the data distribution if a substantial portion of the data is missing. More sophisticated methods include k-nearest neighbors imputation, which uses the values of similar data points to estimate missing values, and model-based imputation, which uses a statistical model to predict missing values. The choice of imputation method depends on the characteristics of the data and the amount of missing data.

Outliers can be identified using various statistical methods. Box plots provide a visual representation of data distribution, highlighting data points that fall outside the interquartile range. The z-score, which measures the number of standard deviations a data point is from the mean, can also be used to identify outliers. Once identified, outliers can be handled through removal, transformation (e.g., using logarithmic transformation to reduce the impact of extreme values), or imputation (Naware, 2024). The decision on how to handle outliers depends on the context and the potential impact of the outliers on the analysis. Removing outliers might lead to loss of information, while retaining them could bias the results. Careful consideration is necessary to choose the most appropriate approach.

3.2. Feature Selection

Feature selection aims to identify the most relevant features for a given task, reducing dimensionality and enhancing model efficiency. High-dimensional data can lead to overfitting, where the model performs well on training data but poorly on unseen data. Feature selection techniques help mitigate this issue by selecting a subset of the most informative features for the prediction task.

Common feature selection methods include filter methods (e.g., correlation analysis, information gain), wrapper methods (e.g., recursive feature elimination), and embedded methods (e.g., L1 regularization). Additionally, principal component analysis (PCA) is a widely used dimensionality reduction technique that transforms original features into a smaller set of uncorrelated principal components, capturing the most significant variance in the data. The choice of feature engineering and selection techniques depends on the specific application and the characteristics of the dataset. It is essential to carefully balance model complexity and performance to achieve optimal results.

4. USE CASE

4.1. The dataset

To demonstrate the data preparation process, we utilized the publicly available smart home dataset provided by Taranveer (2020), which includes weather information.

The dataset is available in CSV format and contains 32 columns with smart meter readings for home appliances in kW, recorded at one-minute intervals over a span of 350 days, along with weather information specific to that location. Original column names in the dataset are described in Table 1.

Table 1. Descriptions of column names from the dataset.

Column name	Description	Column name	Description
time	Time	Microwave [kW]	Energy consumed by specific appliance
use [kW]	Total energy consumption	Living room [kW]	Energy consumption in Living room
gen [kW]	Total energy generated by means of solar or other power generation resources	Solar [kW]	Solar power generation
House overall[kW]	Overall house energy consumption	temperature	Temperature
Dishwasher [kW]	Energy consumed by specific appliance	icon	Overall weather condition (clear-night:39%;clear-day:36%; Other:25%)
Furnace 1 [kW]	Energy consumed by specific appliance	humidity	Humidity
Furnace 2 [kW]	Energy consumed by specific appliance	visibility	Visibility
Home office [kW]	Energy consumed by specific appliance	summary	Summarise weather (Clear:75%; Partly Cloudy:12%; Other:13%)
Fridge [kW]	Energy consumed by specific appliance	apparTemperature	Apparent temperature
Wine cellar [kW]	Energy consumed by specific appliance	pressure	Pressure
Garage door [kW]	Energy consumed by specific appliance	windspeed	Wind speed
Kitchen 12 [kW]	Energy consumption in kitchen 1	cloudCover	Cloud cover (0:14%; 0.31:10%; Other:77%)
Kitchen 14 [kW]	Energy consumption in kitchen 2	windBearing	Wind bearing
Kitchen 38 [kW]	Energy consumption in kitchen 3	precipIntensity	Precipitation Intensity
Barn [kW]	Energy consumed by specific appliance	dewpoint	Dew point
Well [kW]	Energy consumed by specific appliance	precipProbability	Precipitation probability

4.2. Data cleaning and feature selection

For preliminary results, we conducted data cleaning and feature selection. A program was written to load the dataset, display its shape, show the first five rows, print the columns and their respective data types, check for entries with null values, drop rows containing missing values and checks the unique values.

We used the following Python libraries to clean the obtained dataset: NumPy, Pandas, Matplotlib, Seaborn, and Time. We checked the data types and resolved any inconsistencies. Although 'cloudCover' is one of the unique entries, it appears that it should be a float. The 'cloudCover' entry appears in the first 57 minutes of the first hour, which seems to be an error. These values have been replaced with the first valid entry, assuming that cloud cover does not change dramatically in the first hour. Additionally, we observed that the dataset includes columns related to energy generation, energy consumption per room/appliance, weather data, and a 'time' column.

From the correlation matrix of the dataset, it is evident that three pairs of variables are highly correlated: 'use [kW]' and 'House overall [kW]', 'gen [kW]' and 'Solar [kW]', and 'Temperature' and 'apparentTemperature'. To facilitate analysis, the variables 'House overall [kW]', 'Solar [kW]', and 'apparentTemperature' were dropped. Since the 'time' column is now the index of the data frame, it has also been removed. The object columns 'icon' and 'summary' were deemed irrelevant for further analysis and were discarded. Additionally, two variables related to the 'Furnace' and three variables related to the 'kitchen' were combined by summing the corresponding variables into new columns, and the individual columns were dropped. Finally, the column names were renamed to remove spaces and the '[kW]' unit.

The final results of data cleaning are presented in Table 2.

Table 2 The dataset information of prepared data

Column	Non-Null	Count	dtype	Column	Non-Null	Count	dtype
use	466308	not-null	float64	Living_room	466308	not-null	float64
gen	466308	not-null	float64	temperature	466308	not-null	float64
Dishwasher	466308	not-null	float64	humidity	466308	not-null	float64
Furnace	466308	not-null	float64	visibility	466308	not-null	float64
Home_office	466308	not-null	float64	pressure	466308	not-null	float64
Fridge	466308	not-null	float64	windspeed	466308	not-null	float64
Wine_cellar	466308	not-null	float64	cloudCover	466308	not-null	float64
Garage_door	466308	not-null	float64	windBearing	466308	not-null	float64
Kitchen	466308	not-null	float64	precipIntensity	466308	not-null	float64
Barn	466308	not-null	float64	dewpoint	466308	not-null	float64
Well	466308	not-null	float64	precipProbability	466308	not-null	float64
Microwave	466308	not-null	float64				

5. DISCUSSION

Considering only the variables related to energy consumption in different rooms, it can be concluded that energy consumption is highest in the home office and lowest in the kitchen for the given dataset. Approximately the same energy consumption is recorded in the wine cellar and the living room.

Similarly, when analyzing the variables related to energy consumption for specific devices, it is evident that the furnace consumes the most energy, while the microwave and garage door consume the least. The fridge and barn exhibit approximately the same energy consumption. The high energy consumption of the furnace is expected, as it generates heat using electric resistance coils, which is then distributed throughout the house. This heating system is known for operating safely, cleanly, and without producing hazardous byproducts.

Regarding monthly energy consumption, the results indicate that the highest values are recorded in February, July, and November. These findings align with expectations, given the increased energy usage during winter months for heating and during summer months for cooling. Additionally, solar panel energy production is significantly reduced during the winter months. For devices such as the microwave, fridge, and garage door, no significant variations in energy consumption are observed throughout the year.

6. CONCLUSION

Data preprocessing is a crucial step in smart home data analysis, as it directly impacts the accuracy, reliability, and overall quality of insights derived from the data. The techniques employed must be carefully selected and rigorously evaluated to ensure that smart home data is properly cleaned, transformed, and structured for meaningful analysis. The choice of preprocessing methods depends on various factors, including the specific application, the nature of the data, and privacy considerations. Given the diverse and complex nature of smart home data, preprocessing remains a challenging yet indispensable task.

Despite advancements in data preprocessing techniques, several challenges persist, particularly in handling high-dimensional, heterogeneous, and rapidly generated smart home data. The variability in sensor readings, missing or inconsistent values, and privacy concerns further complicate the preprocessing pipeline. Addressing these challenges requires a strategic approach that balances computational efficiency with data integrity.

Future research should initially focus on evaluating the obtained results and completing a comprehensive preprocessing workflow to ensure high-quality data preparation. Additionally, further efforts should be directed toward developing more sophisticated, efficient, and privacy-preserving preprocessing techniques. These advancements will not only enhance data quality but also improve the effectiveness of machine learning models and analytical frameworks used in smart home applications.

Moreover, the establishment of standardized preprocessing pipelines and evaluation frameworks would significantly advance the field. Standardization would promote reproducibility, facilitate comparability across studies, and support the broader adoption of best practices in smart home data analysis. Ultimately, by refining data preprocessing methods and addressing existing challenges, researchers and developers can unlock the full potential of smart home technologies, leading to smarter, more efficient, and privacy-aware intelligent home automation systems.

REFERENCES

- [1] Alrefaei, A. & Ilyas, M. (2024). Using machine learning multiclass classification technique to detect IoT attacks in real time. Italian National Conference on Sensors. <https://doi.org/10.3390/s24144516>
- [2] Babangida, L., Perumal, T., Mustapha, N., & Yaakob, R. (2022). Internet of things (iot) based activity recognition strategies in smart homes: a review. IEEE Sensors Journal. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2022.3161797>

- [3] Bilal, M., Ali, G., Iqbal, M. W., Anwar, M., Malik, M. S. A., & Kadir, R. A. (2022). Auto-prep: efficient and automated data preprocessing pipeline. IEEE Access. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3198662>
- [4] Essafi, K., & Moussaid, L. (2024). The potential of the internet of things for human activity recognition in smart home: overview, challenges, approaches. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v36.i1.pp302-317>
- [5] Hunter, I., Elers, P., Lockhart, C., Guesgen, H. W., Singh, A., & Whiddett, D. (2020). Issues associated with the management and governance of sensor data and information to assist aging in place: focus group study with health care professionals. JMIR Publications. <https://doi.org/10.2196/24157>
- [6] Maguluri, L., Shankar, M., Aruna, R., Devi, D. C., & Suganya, M. J. (2024). A comprehensive evaluation of machine learning algorithms for precise energy consumption forecasting in smart homes. None. <https://doi.org/10.11591/ijped.v15.i4.pp2138-2144>
- [7] Pirzada, P., White, N., & Wilde, A. (2018). Sensors in smart homes for independent living of the elderly. None. <https://doi.org/10.1109/imt.2018.8467234>
- [8] Tax, N. (2019). Mining insights from weakly-structured event data. Cornell University. <https://doi.org/10.48550/arxiv.1909.01421>
- [9] Tayeb, H. F., Karabatak, M., & Varol, C. (2020). Time series database preprocessing for data mining using python. International Symposium on Digital Forensics and Security. <https://doi.org/10.1109/ISDFS49300.2020.9116260>



XVII međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2025

Banja Luka, 26 - 27. 9. 2025. godine



ULAGANJE U MULTIFUNKCIONALNU SOFISTICIRANU PLATFORMU – STUDIJA SLUČAJA PROJEKTA E-UČENJE

Sanja Dalton

Univerzitet Metropolitan, sanja.dalton@metropolitan.ac.rs

Jeffro Džino

Panevropski univerzitet Apeiron, jefto.dzino@apeiron-edu.eu

Apstrakt: *Ovaj rad analizira mogućnost ulaganja u implementaciju multifunkcionalne sofisticirane platforme za učenje kroz kvalitativni istraživački pristup na osnovu primarnih i sekundarnih prikupljenih podataka prikupljenih metodom ankete, kroz polistukturirane intervjuje sa srednjoškolicima, studentima i zaposlenima kojima je potrebno personalizovano usavršavanje. Analizom i sintezom dobijenih podataka došlo se do rezultata da je moguća komercijalizacija inovativne platforme.*

Ključne riječi: *sophisticirana platforma; ulaganje; platformsko poslovanje; personalizovano učenje*

INVESTMENT IN A MULTIFUNCTIONAL SOPHISTICATED PLATFORM - A CASE STUDY OF THE E-LEARNING PROJECT

Abstract: *This paper analyzes the possibility of investing in the implementation of a multifunctional sophisticated learning platform through a qualitative research approach based on primary and secondary data collected using a survey method, through multi-structured interviews with high school students, students and employees who need personalized training. The analysis and synthesis of the obtained data led to the conclusion that the commercialization of the innovative platform is possible.*

Key Words: *sophisticated platform; investment; platform business; personalized learning.*

1. UVOD

Napredne obrazovne tehnologije sve više se oslanjaju na personalizaciju učenja, prilagođavajući sadržaj, tempo, i metode rada individualnim potrebama korisnika. Platforme koje su personalizovane za učenje predstavljaju dinamične digitalne alate koji koriste podatke o korisnicima kako bi obezbijedili najbolja obrazovna iskustva za različite ciljne grupe.

Platforme za učenje koje su personalizovane predstavljaju efikasan alat za obrazovanje svih generacija. Osnovna vrijednost leži u njihovoj sposobnosti da odgovore na različite stilove učenja, potrebe i stilove korisnika, čime podižu kvalitet obrazovanja i doprinose boljoj motivaciji i rezultatima učenja.

1.1. Poslovanje kroz platforme

Ovdje ćemo razmotriti samo neke od navoda u literaturi koji su vezani za platformsko poslovanje poznato i kao poslovni model „sistem koji se sastoji od komponenti, veza među tim komponentama i dinamike“ [1].

S jedne strane, poslovni model identifikuje partnere u transakciji, definiše vrijedonosnu ponudu za svakog partnera i opisuje kako se centralna firma povezuje sa njima [2]. S druge strane, on opisuje kako se vrijednost isporučuje, monetizuje i dijeli među partnerima u transakciji [3].

Prema nekim autorima, u platformskom poslovanju je bitno definisati kako se vrijednost isporučuje, monetizuje i dijeli među partnerima u transakciji [4], pri čemu je bitna međuzavisnost između aktivnosti koje nam omogućavaju da sagledamo skupove strukturalnih odnosa između pružaoca platforme i njenih korisnika [5].

Uspon digitalnih platformi transformisao je način na koji se kreativni sadržaj proizvodi, dijeli i konzumira, otvarajući nove mogućnosti za kreatore sadržaja da unovče svoj rad. Međutim, uprkos brzom rastu digitalnog sadržaja, i dalje postoje izazovi u razumijevanju najefikasnijih strategija za komercijalizaciju [6].

Brzi napredak digitalnih tehnologija promijenio je način na koji se kreativni sadržaj proizvodi, distribuira i konzumira [7]. Platforme poput društvenih mreža demokratizovale su stvaranje sadržaja, omogućavajući pojedincima da dosegnu globalnu publiku bez tradicionalnih posrednika kao što su izdavači ili emiteri [8]. Ova promjena otvorila je nove mogućnosti za kreatore sadržaja da direktno zarađuju od svog rada, umesto da se oslanjaju na posrednike ili konvencionalne strukture industrije.

Literatura opisuje višestranne platforme kao centre ili posrednike za razmijenu vrijednosti između dvije ili više grupa korisnika-proizvođača [9] [10]. Na primjer, određeni autori definišu višestranne platforme kao mrežu koja povezuje dvije ili više različitih vrsta korisnika i omogućava transakcije među njima [11], dok drugi autori konceptualizuju višestranne platforme kao „interfejse koji mogu posredovati u transakcijama između dvije ili više strana“ [12].

Brzi napredak digitalnih tehnologija promijenio je način na koji se kreativni sadržaj proizvodi, distribuira i konzumira [7]. Platforme poput društvenih mreža demokratizovale su stvaranje sadržaja, omogućavajući pojedincima da dosegnu globalnu publiku bez tradicionalnih posrednika kao što su izdavači ili emiteri [8]. Ova promjena otvorila je nove mogućnosti za kreatore sadržaja da direktno zarađuju od svog rada, umesto da se oslanjaju na posrednike ili konvencionalne strukture industrije.

Postoje različiti modeli monetizacije - priroda monetizacije se razlikuje na platformama kao što su YouTube, TikTok, Instagram i Patreon. Na primjer, oslanjanje YouTube-a na prihode od oglasa značajno se razlikuje od TikTok-ovih partnerstava sa brendovima i Instagramovih modela zasnovanih na influencerima. Slično tome, model pretplate koji koristi Patreon pruža direktniji i održiviji oblik prihoda, što je u suprotnosti s promjenljivom prirodom prihoda zasnovanih na oglašavanju [12].

Strategije monetizacije postale su ključne za uspjeh digitalnih kreatora sadržaja, a razvijeni su različiti modeli kako bi se zadovoljile potrebe i kreatora i njihove publike [13]. Prihodi od oglašavanja, partnerstva sa brendovima, modeli pretplate i grupno finansiranje (crowdfunding) spadaju među najčešće metode koje digitalne platforme koriste kako bi omogućile kreatorima da

ostvaruju prihod [14]. Mnogi kreatori istovremeno koriste više izvora monetizacije, koristeći širok spektar alata koje ove platforme nude kako bi maksimalno povećali svoj potencijal zarade.

1.2. Personalizovane platforme za edukaciju

Personalizovane metode učenja mogu pomoći u ispunjavanju individualnih potreba i ciljeva. Personalizovano učenje može biti efikasan pristup koji povećava motivaciju, angažovanost i razumijevanje [15], maksimizirajući zadovoljstvo učenika, efikasnost i efektivnost učenja [16]. Određeni autori tvrde da je obrazovna zajednica zainteresovana za uspostavljanje sistema personalizovanog učenja koji prilagođava pedagogiju, nastavni plan i program, kao i okruženje za učenje, kako bi odgovarali potrebama i preferencijama učenika [17]. Dok drugi autori podržavaju ovu tvrdnju navodeći da još uvijek ne postoji jasno definisan koncept personalizovanog učenja; umesto toga, on se koristi kao krovni pojam za obrazovne strategije koje nastoje da odgovore na individualne sposobnosti, znanje i potrebe svakog učenika [18].

Personalizovano učenje je obrazovna strategija koja prilagođava nastavu zainteresovanima, sposobnostima ili potrebama, i obično podrazumijeva da učenici imaju određeni stepen glasa i izbora (tj. autonomiju) u tom prilagođavanju.

Škole, univerziteti i korporativna okruženja danas posjeduju tehnološke mogućnosti za personalizaciju učenja u skladu sa jedinstvenim potrebama učenika. Tehnologija pruža brojne opcije učenicima i edukatorima za nove pristupe personalizovanom učenju.

Određeni autori su ponudili su okvir za razmišljanje o dimenzijama personalizovanog učenja u praksi [19]. Oni su predložili da se personalizacija nastave može ostvariti prilagođavanjem vremena, mjesta, tempa i/ili puta učenja. Dok su tu određeni autori dodali su petu dimenziju ovom okviru – ciljeve [20]. Shemshack i saradnici sugerisali su da bi jedinstveni, evolutivni pristup personalizovanom učenju trebalo da obuhvati četiri glavne komponente: profile učenika, prethodno znanje učenika, personalizovane puteve učenja i fleksibilna okruženja za učenje sopstvenim tempom, koje se formiraju na osnovu dinamičke analitike učenja [21]. Okruženja za učenje koja uključuju ove različite dimenzije i komponente mogu osnažiti učenike da preuzmu odgovornost za sopstveno učenje i povećaju sopstvenu vjeru u uspjeh u učenju.

Istraživanja koja se oslanjaju na dekonstrukcije koncepta personalizovanog učenja objašnjavaju da, iako različite definicije personalizovanog učenja opisuju prilagođavanje nastave na osnovu porijekla, potreba, sposobnosti ili interesovanja učenika, opisi personalizovanog učenja bi trebalo da obuhvate sledeće:

- (a) **šta se personalizuje** – ciljevi učenja, evaluacije ili obrazovne aktivnosti;
- (b) **kako se personalizuje** – kroz ciljeve, vrijeme, mjesto, tempo i/ili put učenja;
- (c) **ko ili šta sproviđi personalizaciju** – nastavnik, učenik ili adaptivni sistem za učenje;
- (d) **na osnovu čega se vrši personalizacija** – podaci o učinku, podaci o aktivnostima ili podaci iz profila učenika [22].

Druga istraživanja ukazuju na to da je potrebno dodatno istražiti **ishode inicijativa personalizovanog učenja** i **nadanja** da će tehnologija ispuniti svoj **transformativni potencijal** u omogućavanju prilagođenog, individualizovanog obrazovanja [23] [24].

1.3. Isplativost platformskog poslovanja

Konstantan napredak digitalnih platformi promijenio je način na koji se kreativni sadržaj proizvodi, dijeli i konzumira, otvarajući nove mogućnosti za kreatora sadržaja da unovče svoj rad. Međutim, uprkos brzom rastu digitalnog sadržaja, i dalje postoje izazovi u razumijevanju najefikasnijih strategija za komercijalizaciju [12].

Strategije monetizacije postale su ključne za uspjeh digitalnih kreatora sadržaja, pri čemu su se razvili različiti modeli kako bi odgovorili na potrebe i kreatora i njihove publike [13]. Prihodi od oglašavanja, partnerstva sa brendovima, modeli pretplate i grupno finansiranje (crowdfunding) spadaju među najčešće metode koje digitalne platforme upotrebljavaju kako bi omogućile kreatorima da ostvare prihod [25]. Mnogi kreatori istovremeno koriste više izvora monetizacije, koristeći širok spektar alata koje im platforme nude kako bi maksimizovali svoj potencijal zarade.

Prema nekim autorima, kombinacija angažovanja publike, dosljedne produkcije sadržaja i strategija specifičnih za platforme (kao što su oglasi, pretplate i prodaja robe) bili su ključni za uspješnu komercijalizaciju. Dodatno, kreatori koji su diverzifikovali svoje izvore prihoda imali su veću vjerovatnoću da ostvare dugoročnu finansijsku održivost [6].

Uprkos sve većem obimu sadržaja koji se proizvodi na ovim platformama, i dalje postoji ograničeno razumijevanje dugoročne održivosti ovih modela monetizacije. Iako se kratkoročni prihodi mogu ostvariti, ostaje pitanje kako kreatori mogu izgraditi održive karijere tokom vremena, posebno u kontekstu stalno promjenljivih algoritama platformi, preferencija publike i tržišnih trendova [26].

Uprkos rastućem broju studija o kreiranju sadržaja i njegovoj monetizaciji, specifični faktori koji doprinose dugoročnom finansijskom uspjehu ostaju nedovoljno istraženi [27]. Iako su brojne studije ispitivale pojedinačne metode monetizacije, postoji jaz u razumijevanju kako ove strategije funkcionišu sinergijski na različitim platformama [28]. Kreatori često koriste više taktika monetizacije istovremeno, ali postoji malo uvida u to kako se ovi različiti izvori prihoda međusobno povezuju i kako utiču na finansijsku stabilnost kreatora tokom vremena.

Pored toga, istraživanja o tome kako različite vrste sadržaja (npr. obrazovni, zabavni, životni stil) utiču na uspješnost monetizacije i dalje su ograničena [29]. Iako su određeni žanrovi sadržaja možda pogodniji za specifične modele monetizacije (npr. tutorijali za usluge bazirane na pretplati), ta veza nije sistematski proučavana. Postoji potreba za nijansiranim, žanrovski specifičnom analizom kako bi se razumjelo koje vrste sadržaja imaju najveće šanse za uspjeh na različitim platformama [30].

Brz tempo tehnoloških promjena znači da kreatori sadržaja moraju neprestano da se prilagođavaju novim formatima i ponašanjima potrošača, što može imati značajne posljedice po njihovu sposobnost da ostvaruju prihod [31].

Na kraju, finansijska održivost malih i srednjih kreatora u poređenju sa velikim influenserima nije dovoljno obrađena u akademskim istraživanjima [32]. Mnoge studije fokusiraju se na kreatora iz najvišeg ranga, ali se malo zna o izazovima sa kojima se suočavaju novi i manje poznati kreatori koji nemaju dovoljno resursa ili institucionalnu podršku za uspjeh na tim platformama.

Popunjavanje praznina u razumijevanju monetizacije sadržaja od suštinskog je značaja i za kreatore i za same platforme [33]. Proučavanjem sinergijskih efekata različitih strategija monetizacije, kreatori mogu bolje da se snađu u složenom ekosistemu digitalnog stvaralaštva [34]. Uvidi dobijeni ovim istraživanjem mogu im pomoći da optimizuju svoje izvore prihoda i ostvare dugoročnu finansijsku održivost.

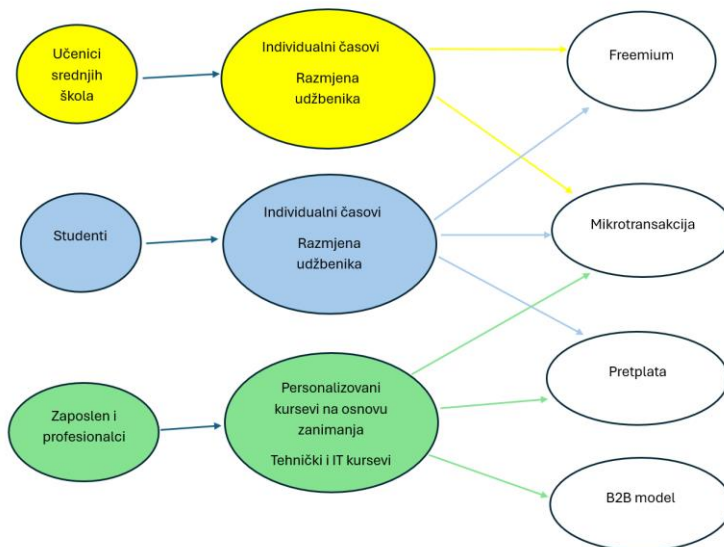
Pored toga, dublje razumijevanje toga kako različite vrste i žanrovi sadržaja funkcionišu u okviru različitih modela monetizacije može dovesti do preciznije oblikovanih strategija za kreatore na svim nivoima [35]. Ovo istraživanje može takođe pružiti vrijedne informacije i samim platformama, usmjeravajući razvoj funkcionalnosti koje su više orijentisane ka dugoročnom uspjehu kreatora, a ne samo ka kratkoročnoj profitabilnosti.

Digitalna ekonomija, koju u velikoj mjeri pokreće konzumacija sadržaja, omogućila je kreatorima da svoju strast pretvore u profesiju, čime je monetizacija postala neizostavan aspekt kreiranja sadržaja. Strategije monetizacije sada su od ključnog značaja za održivost i rast kreiranja sadržaja kao profesije. Kreatori sadržaja moraju istraživati izvore prihoda izvan prihoda od oglasa, koji, iako pristupačni, često nisu dovoljno pouzdani ni dovoljni sami po sebi [36].

2. O ISTRAŽIVANJU

Ova studija koristi kvalitativni istraživački dizajn, sa osvrtom na multifunkcionalno platformsko poslovanje i, u skladu sa tim, različite strategije monetizacije koje mogu koristiti kreatori sadržaja na digitalnim platformama [37]. Istraživanje se fokusira na mogućnost uspješnog unovčavanja rada na platformi i ispituje faktore koji utiču na njihov finansijski uspjeh [38]. Pristup analize i sinteze koristi se za projektovanu finansijsku analizu monetizacije na platformi.

2.1. Uzorak i Instrumenti



Slika 1. Ciljne grupe i strategije inovativne društvene mreže (izvor: autori)

Uzorak u ovom istraživanju čine potencijalni korisnici platforme – studenti različitih fakulteta i srednjoškolci različitih srednjih škola kao i zaposleni i profesionalci kojima je potrebno personalizovano profesionalno usavršavanje. Korišćena je namjerna (purposive) metoda uzrokovanja, kako bi se projektovao uspjeh u monetizaciji, kao što su stalni prihodi od oglasa, sponzorstava ili direktne podrške korisnika (Slika 1).

Prikupljanje podataka je sprovedeno korišćenjem polustrukturisanih intervjuua [39]. Vodiči za intervjuue razvijeni su kako bi obuhvatili ključne oblasti kao što su strategije monetizacije kreatora, izazovi sa kojima su se suočavali i finansijski ishodi. Takođe su analizirani sekundarni podaci na različitim platformama i internet člancima kako bi se dopunili primarni podaci prikupljeni kroz intervjuue.

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I RAZMATRANJA

Podaci prikupljeni za ovu studiju obuhvataju metrike potražnje sadržaja na projektovanoj platformi i to: razmjena edukativnog i nastavnog materijala, organizovanje personalizovanih kurseva i konsultacija.

Pokazatelji su projektovani na osnovu prikupljenih primarnih podataka – polustrukturirani intervjuui sa ispitanicima iz ciljnih grupa, kao i sekundarnih podataka na platformama na kojima su oglasi u kojima se traže ove usluge. Na osnovu skupa prikupljenih podataka, projektovane su vrijednosti ukupnih ulaganja, rashoda, prihoda i neto dobiti (Slika 2).

Slika koja slijedi ispod prikazuje rezime glavnih izvora prihoda za svaku platformu.



Slika 2. Projektovana ulaganja, prihodi, rashodi i neto dobit

Izvor: obrada podataka autora iz istraživanja

Podaci pokazuju na projektovane ekonomske vrijednosti i šta se treba uzeti u obzir da bi se izračunale potrebni pokazatelji. Kreatori na platformi se pretežno oslanjaju na prihode od oglašavanja, pretplata i mikrotransakcija, pri čemu značajan broj korisnika i interakcija doprinosi njihovoj zaradi.

Skup podataka otkriva koeficijent ekonomičnosti kroz odnos ostvarenih efekata (rezultata) i utrošenih sredstava (resursa) koji je veći od 1, što znači da je platforma ekonomična jer se na svaku utrošenu marku ostvari 1,02 KM prihoda.

Tabela 1. Racio analiza

Pokazatelj	Računanje	Vrijednost
Koeficijent ekonomičnosti	Ukupni prihodi/ukupni rashodi	1,02
Stopa akumulativnosti	Akumulacije/ukupna ulaganja * 100%	1,1 %
VVU	Ukupna ulaganja/novčani tok	3,4 godine
ROI	Neto dobit /investicije * 100%	3,71 %

Takođe, analizom stope akumulativnosti od 1,1%, pokazuje se da dio ostvarene dobiti koja se ne troši, već se reinvestira u dalji razvoj platforme koji je 1,1% kao procenat dobiti koja ostaje za akumulaciju.

Analizom projektovane vrijednosti, može se uočiti vrijeme vraćanja ulaganja (VVU) – Pay Back Period (PBP) od 3,4 godine koje je potrebno da se kroz ostvarenu dobit ili uštedu pokrije početna investicija, što znači da će monetizacija platforme za 3,4 godine pokriti cijelu investiciju.

Izračun - ROI (Return on Investment) pokazuje koliko je investicija bila isplativa, odnosno koliki je povrat na investicije. Budući da je ROI pozitivan jer je 3,71%, investicija je ekonomski opravdana (Tabela 1).

3.1. Diskusija

Monetizacija višestrane platforme za personalizovano učenje predstavlja ključni izazov, ali i priliku za održivost i dalji razvoj digitalnog obrazovanja.

Budući da se personalizovano učenje bazira na prilagođavanju sadržaja, tempa i metoda učenicima, model zarade mora biti pažljivo osmišljen kako bi istovremeno podržao inkluzivnost, kvalitet i komercijalni interes.

Pokretanje platforme za inovativne društvene mreže omogućava:

- Personalizovane časove
- Razmenu nastavnih i edukativnih materijala (skripti, udžbenika i sl.)
- Personalizovane konsultacije
- Personalizovane časove
- Personalizovane kurseve na osnovu zanimanja

- Tehničke i IT kurseve
- B2B model

Jedan od strategija je freemium model gde osnovne funkcionalnosti ostaju besplatne za sve korisnike, dok se napredne funkcije – kao što su pristup mentorima, ili specijalizovani kursevi - naplaćuju putem pretplate. Ovaj model osigurava široku pristupačnost, ali i kreiranje stabilnog prihoda kroz lojalne korisnike. Freemium koncept podrazumijeva kombinovani pristup u kome korisnici mogu da biraju između korišćenja besplatne verzije proizvoda sa osnovnim funkcijama ili premijum verzije uz plaćanje naknade [40].

Drugi pristup podrazumijeva B2B model, u kojim platforma saraduje sa obrazovnim institucijama ili kompanijama, nudeći integraciju Sistema u njihove interne obuke i obrazovne procese. U ovom kontekstu, monetizacija se ostvaruje kroz ugovore, obuke ili sadržaje prilagođene specifičnim potrebama klijenata. U literaturi je dosta istraživani kako B2B model utiče na prihode od sadržaja na platformi [41].

Dodatni izvor prihoda predstavlja oglašavanje kao i mikrotransakcija, gde korisnicu mogu kupovati pojedinačne lekcije, testove konsultacije i časove. Ovaj model omogućava veću fleksibilnost i dostupnost, posebno za grupe kojima je kupovna moć ograničena, a korisnici radije plaćaju selektivno. Usluge pretplate – modeli koji su više usmjereni direktno na korisnike. Ove alternative omogućavaju kreatorima pouzdanije i raznovrsnije izvore prihoda, koji su manje podložni promjenama na platformama. Mnogi kreatori danas kapitalizuju svoju lojalnu publiku nudeći ekskluzivan sadržaj putem pretplatničkih usluga [42].

4. ZAKLJUČAK

Rezultati istraživanja, kao i projektovana analiza ulaganja, prihoda i dobiti (slika 2 i tabela 1), ukazuju da je monetizacija inovativne višestrane platforme za personalizovano učenje moguća, ali zahtjeva pažljivo osmišljenu strategiju implementacije u praksi.

Prije svega, preporučuje se primjena freemium poslovnog modela, kojim bi se omogućilo da osnovne funkcionalnosti platforme – kao što su razmjena nastavnog materijala i pristup opštim kursevima – budu dostupne svim korisnicima bez nadoknade, dok bi se napredne usluge (individualne konsultacije, mentorski programi, specijalizovani kursevi) monetizovale putem pretplate i mikrotransakcija. Ovakav pristup omogućava istovremenu inkluzivnost i generisanje prihoda, što je posebno značajno u inicijalnoj fazi razvoja kada je važno privući široku korisničku bazu.

U svrhu stabilizacije prihoda i širenja tržišta, preporučuje se razvoj B2B saradnji sa obrazovnim institucijama i korporacijama, kroz koje bi se platforma mogla integrisati u interne sisteme za obrazovanje i obuke. Ovakav pristup može rezultirati ugovornim prihodima koji omogućavaju dugoročnu održivost poslovanja i jačanje institucionalne podrške.

Takođe, s obzirom na centralnu ulogu kreatora edukativnog sadržaja u digitalnim platformama [9] [42], neophodno je razviti sistem podsticaja i podrške za edukatore. To podrazumijeva transparentnu podjelu prihoda, vidljivost najboljih edukatora na platformi, kao i analitičke alate koji im omogućavaju uvid u angažovanje korisnika. Takva praksa doprinosi motivaciji, kvalitetu sadržaja i profesionalizaciji cjelokupnog ekosistema.

Dodatno, iskustvo korisnika mora biti u fokusu. Ulaganje u intuitivan interfejs i korisničku podršku ima potencijal da poveća zadržavanje korisnika i smanji otpor prilikom pristupa platformi, naročito kod korisnika koji nemaju visoke digitalne kompetencije [18].

U skladu sa savremenim trendovima, preporučuje se korišćenje podataka o ponašanju korisnika za unaprjeđenje personalizacije sadržaja. Dinamička analiza aktivnosti može doprinijeti ponudi relevantnih kurseva i resursa u pravom trenutku, čime se povećava i vrijednost po korisniku.

Sa obzirom da se projektovani ROI od 3,71% i vrijeme povrata investicije od 3,4 godine nalaze u zoni umjerene isplativosti, preporučuje se diverzifikacija izvora prihoda kroz kombinovanje modela pretplate, oglašavanja, mikrotransakcija i potencijalno grupnog finansiranja (crowdfunding) za razvoj novih funkcionalnosti. Time bi se smanjila zavisnost od jednog izvora i obezbedila veća finansijska otpornost poslovnog modela.

Uspješna monetizacija platforme za personalizovano učenje zavisi od sposobnosti da se usklade poslovni model i sa obrazovnim ciljevima i potrebama korisnika.

Ograničenja ovog istraživanja se ogleda u ograničenim uzorcima. Istraživanje zaključuje da se budućnost monetizacije kreativnog sadržaja nalazi u razvoju personalizovanih modela usmjerenih ka publici i integraciji novih tehnologija kao što su vještačka inteligencija i blokčejn, što bi bila tema za sledeća istraživanja. Ovi nalazi pružaju dragocjene uvide za kreatore sadržaja koji žele da optimizuju svoje strategije monetizacije u stalno promijenljivom digitalnom okruženju.

LITERATURA

- [1] Afuah, A., Tucci, C.L. (2000). *Internet Business Models and Strategies: Tet and Cases*. McGraw-Hill Higher Education, New York.
- [2] Baden-Fuller, C., Mangematin, V. (2013). Business Models: a challenging agenda. *Strateg. Organ.* 11(4), 418-427.
- [3] Johnson, M.W., Christensen, C.M., Kagermann, H. (2008). Reinventing your business ecosystems: evidence from application software developers in the iOS and Android smartphone ecosystems. *Organ. Sci.* 28(3), 531-551.
- [4] Teece, (2010). Business models, business strategy and innovation. *Long. Range.Plan.* 43(2-3), 172-194.
- [5] Baden-Fuller, C., Heafliker, S. (2013). Business models and technological innovations. *Long. Range Plan.*, 46(6), 419-426.
- [6] Kadeni, Kadeni., Santoso, E & Jing, W. (2025). Creative Content Monetization: Case Studies on Digital Platforms. *Journal of Social Entrepreneurship and Creative Technology*, 2(2), 81–91. <https://doi.org/10.70177/jseact.v2i2.2059>
- [7] Mourtzis, D., Angelopoulos, J., Panopoulos, N. (2021). A survey of digital B2B platforms and marketplace for purchasing industrial product service systems: A Conceptual Framework. *Procedia CIRP*, 97, 331-336. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.246>
- [8] Ardolino, M., Saccani, N., Adrodegari, F., Perona, M. (2020). A Business Model Framework to Characterize Digital Multisided Platforms. *Journal of Open Innovation: Technology, Market and Complexity*, 6(1), 10. <https://doi.org/10.3390/joitmc6010010>
- [9] Gawer, A., Cusamano, M.A. (2014). Industry platforms and ecosystem innovation. *J. Prod. Innov. Manag.* 31(3), 417-433.
- [10] Hagi, A., Wright, J. (2015). Marketplace or reseller? *Manag. Sci.*, 61(1), 184-203.
- [11] Cennamo, C., Santaló, J. (2015). How to avoid platform traps. *MIT Sloan Manag. Rev.* 57(1), 12-15.
- [12] Kadeni, K., Santoso, E., Jing, W. (2025). Creative Content Monetization: Case Studies on Digital Platforms. *Journal of Social Entrepreneurship and Creative Technology* 2(2), pp. 81-91. DOI: 10.70177/jsect.vxix.xxx
- [13] Cheng, K.H., Tsai, C.C.(2019).A case study of immersive virtual field trips in an elementary classroom: Students' learning experience and teacher-student interaction behaviors. *Computers & Education*, 140, 103600. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103600>

- [14] Baltas, H., Sirin, M., Gokbayrak, E., Ozcelik, A.E. (2020). A case study on pollution and a human health risk assessment of heavy metals in agricultural soils around sinop province *Chemosphere* 241, 125015. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125015>
- [15] Pontual Falcão, T., e Peres, F.M.A., Sales de Morais, D.C., da Silva Oliveira, G. (2018). Participatory methodologies to promote student engagement in the development of educational digital games. *Computers & Education*, 116, 161-175. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.09.006>
- [16] Gómez, S., Zerva, S.P., Sampson, D.G., Fabreget, R. (2014). Context-aware adaptive and personalized mobile learning delivery supported by UoLmP. *Journal of King Sand University – Computer and Information Sciences*, 26(1), 47-61. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2013.10.008>
- [17] Niknam, M., Thulasiraman, P. (2020). LPR: a bio-inspired intelligent learning path recommendation system on meaningful learning theory. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10133-3>
- [18] Schmid, R., Petko, D. (2019). Does the use of educational technology in personalized learning environments correlate with self-reported digital skills and believes of secondary-school students? *Computers & Education*, 136 (March), 75-86. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.03.006>
- [19] Horn, M.B., & Staker, H. (2014). *Blended: Using disruptive innovation to improve schools*. Jossey-Bass.
- [20] Graham, C.R., Borup, J., Short, C.R., Acchambault, L. (2019). *K-12 blended teaching: A guide to personalized learning and online integration*. Provo, UT: Ed Tech Books.org. <http://edtechbooks.org/K12blended>
- [21] Schamshack, A., Spector, J.M. (2020). A systematic literature review of personalized learning terms. *Smart Learning Environments*, 7(33).
- [22] Short, L.C., Shemshack, A. *Personalized Learning*. EDTECHNICA. doi: 10.59668/371.11067
- [23] Watters, A. (2023). *Teaching Machines: The history of personalized learning*. The MIT Press.
- [24] Zhang, L., Basham, J.D., Yng, s. (2020). Understanding the implementation of personalized learning: A Research Synthesis. *Educational Research Review*, 31 (100339). <https://doi.org/10.1016/J.endurev.2020.100339>
- [25] Baltas, H., Sirin, M., Gökbayrak, E., & Ozcelik, A. E. (2020). A case study on pollution and a human health risk assessment of heavy metals in agricultural soils around Sinop province, Turkey. *Chemosphere*, 241, 125015. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125015>
- [26] Feng, W., Zhang, Q., Ji, H., Wang, R., Zhou, N., Ye, Q., Hao, B., Li, Y., Luo, D., & Lau, S. S. Y. (2019). A review of net zero energy buildings in hot and humid climates: Experience learned from 34 case study buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114, 109303. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109303>
- [27] Kannan, K., & Arunachalam, N. (2019). A Digital Twin for Grinding Wheel: An Information Sharing Platform for Sustainable Grinding Process. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 141(2), 021015. <https://doi.org/10.1115/1.4042076>
- [28] Da Silva, E. K. N., Dos Santos, V. B., Resque, I. S., Neves, C. A., Moreira, S. G. C., Franco, M. D. O. K., & Suarez, W. T. (2020). A fluorescence digital image-based method using a 3D-printed platform and a UV-LED chamber made of polyacid lactic for quinine quantification in beverages. *Microchemical Journal*, 157, 104986. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.104986>
- [29] Sakamiya, M., Fang, Y., Mo, X., Shen, J., & Zhang, T. (2020). A heart-on-a-chip platform for online monitoring of contractile behavior via digital image processing and piezoelectric sensing technique. *Medical Engineering & Physics*, 75, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2019.10.001>
- [30] Xu, X., Zhang, Q., Song, J., Ruan, Q., Ruan, W., Chen, Y., Yang, J., Zhang, X., Song, Y., Zhu, Z., & Yang, C. (2020). A Highly Sensitive, Accurate, and Automated Single-Cell RNA Sequencing Platform with Digital Microfluidics. *Analytical Chemistry*, 92(12), 8599–8606. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.0c01613>
- [31] Samui, P., Mondal, J., & Khajanchi, S. (2020). A mathematical model for COVID-19 transmission dynamics with a case study of India. *Chaos, Solitons & Fractals*, 140, 110173. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110173>
- [32] Gao, W., Veerasha, P., Baskonus, H. M., Prakasha, D. G., & Kumar, P. (2020). A new study of unreported cases of 2019-nCoV epidemic outbreaks. *Chaos, Solitons & Fractals*, 138, 109929. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.109929>
- [33] Tien Bui, D., Hoang, N.-D., Martínez-Álvarez, F., Ngo, P.-T. T., Hoa, P. V., Pham, T. D., Samui, P., & Costache, R. (2020). A novel deep learning neural network approach for predicting flash flood susceptibility: A case study at a high frequency tropical storm area. *Science of The Total Environment*, 701, 134413. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134413>
- [34] Porter, B., & Grippa, F. (2020). A Platform for AI-Enabled Real-Time Feedback to Promote Digital Collaboration. *Sustainability*, 12(24), 10243. <https://doi.org/10.3390/su122410243>

- [35] Wang, Q., & Su, M. (2020). A preliminary assessment of the impact of COVID-19 on environment –A case study of China. *Science of The Total Environment*, 728, 138915. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138915>
- [36] Adewumni, O. (2024). Monetization Strategies For Content Creators. *Iosr Journal Of Economics And Finance (Iosr-Jef)*, 15(6), Ser. 5, pp. 57-66. E-Issn: 2321-5933, P-Issn: 2321-5925. www.Iosrjournals.Org
- [37] Wu, F., Wang, Y., Leung, J. Y. S., Huang, W., Zeng, J., Tang, Y., Chen, J., Shi, A., Yu, X., Xu, X., Zhang, H., & Cao, L. (2020). Accumulation of microplastics in typical commercial aquatic species: A case study at a productive aquaculture site in China. *Science of The Total Environment*, 708, 135432. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135432>
- [38] Xiao, R., Guo, D., Ali, A., Mi, S., Liu, T., Ren, C., Li, R., & Zhang, Z. (2019). Accumulation, ecological-health risks assessment, and source apportionment of heavy metals in paddy soils: A case study in Hanzhong, Shaanxi, China. *Environmental Pollution*, 248, 349–357. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.045>
- [39] Harvey Arce, N. P., & Cuadros Valdivia, A. M. (2020). Adapting Competitiveness and Gamification to a Digital Platform for Foreign Language Learning. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 15(20), 194. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i20.16135>
- [40] Osipov, I.V., Nikulchev, E., Plokhov, D., Volinsky, A.A. (2015). Study of Monetization as a Way of Motivating Freemium Service Users. *Contemporary Engineering Sciences*, 8(20), pp. 911-918, DOI: 10.12988/ces2015.57212
- [41] Kohtamäki, M., Parida, V., Patel, P.C., Gabauer, H. (2020). The relationship between digitalization and servitization. The role of servitization in capturing the financial potential of digitalization. *Technological Forecasting and Social Change*, 151, 119804.
- [42] Debutify. (2021). "How Content Creators Are Making A Living In The Creator Economy." Retrieved From <https://Debutify.Com/Blog/What-Is-Creator-Economy>



XVII međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2025

Banja Luka, 26 - 27. 9. 2025. godine



AI ASISTENTI KAO PODRŠKA NASTAVNICIMA

Aleksandra Ivanov

Arhitektonska tehnička škola, ssaamddrraa09@gmail.com

Jasmina Aleksić

Osnovna škola "Dragojlo Dudić", jasmina.aleksic11@gmail.com

Lazar Stošić

Fakultet za informatiku i računarstvo, Univerzitet Union Nikola Tesla, lazarstosic@yahoo.com

Olja Krčadinac

Fakultet za informatiku i računarstvo, Univerzitet Union Nikola Tesla, okrcadinac@unionnikolatesla.edu.rs

Željko Stanković

Panevropski univerzitet Apeiron, zeljko.z.stankovic@apeiron-edu.eu

Zoran Ž. Avramović

Panevropski univerzitet Apeiron, zoran.z.avramovic@apeiron-edu.eu

Apstrakt: Tema ovog istraživanja je uloga AI asistenata kao podrške nastavnicima u savremenom obrazovanju. Osnovni cilj je da se ispita kako nastavnici percipiraju potencijal AI alata, koje konkretne alate koriste, u kojim nastavnim situacijama, koje prepreke prepoznaju i koje etičke dileme smatraju ključnim za njihovu bezbednu i odgovornu integraciju u obrazovni proces. Istraživanje je sprovedeno anketom među nastavnicima osnovne i srednje škole, uz kvantitativnu i kvalitativnu analizu odgovora. Rezultati pokazuju da većina nastavnika AI asistente koristi povremeno ili ih tek planira koristiti, dok je redovna i sistematska primena još uvek ograničena. Uočena je pozitivna povezanost između digitalne pismenosti i učestalosti korišćenja, a najčešće prepreke su nedovoljno znanje, strah od zloupotrebe i nedostatak smernica. Stavovi prema AI su generalno pozitivni, posebno kod nastavnika sa više iskustva u njihovoj primeni, koji ističu uštedu vremena i unapređenje kvaliteta nastave. Nalazi potvrđuju slične obrasce identifikovane u savremenoj naučnoj literaturi i ukazuju na potrebu za stručnom obukom i jasno definisanim etičkim okvirima za primenu AI u obrazovanju.

Ključne reči: veštačka inteligencija, obrazovanje, nastavnici, AI asistenti, digitalna pismenost, etika u obrazovanju

AI ASSISTANTS AS SUPPORT TO TEACHERS

Abstract: The focus of this study is the role of AI assistants as support tools for teachers in contemporary education. The primary aim is to examine how teachers perceive the potential of AI tools, which specific tools they use, in what instructional contexts they apply them, what obstacles they identify, and which ethical dilemmas they consider essential for the safe and responsible integration of AI into the educational process. The research was conducted through a survey among primary and secondary school teachers, followed by both quantitative and qualitative analyses of the responses. Findings indicate that most teachers use AI assistants occasionally or are only beginning to explore their use, while regular and systematic implementation remains limited. A positive correlation was observed between digital literacy and the frequency of AI tool usage, with the most frequently cited barriers being insufficient knowledge,

fear of misuse, and lack of clear guidelines. Attitudes toward AI are generally positive, particularly among teachers with more experience using these technologies, who highlight time savings and improvements in teaching quality. The results align with patterns identified in contemporary academic literature and underscore the need for professional training and clearly defined ethical frameworks for the implementation of AI in education.

Keywords: *artificial intelligence, education, teachers, AI assistants, digital literacy, educational ethics*

1. UVOD

Digitalna transformacija obrazovanja sve više uključuje primenu alata veštačke inteligencije (AI), koji postaju dostupni ne samo učenicima, već i nastavnicima u svakodnevnom radu. Među najzastupljenijim oblicima upotrebe AI u obrazovanju ističu se tzv. AI asistenti – alati zasnovani na velikim jezičkim modelima kao što su *ChatGPT*, *Copilot*, *Grammarly* i slični, koji mogu služiti kao podrška u pripremi nastave, izradi obrazovnih materijala, kreiranju testova, diferenciranju sadržaja i unapređenju profesionalnog razvoja nastavnika. Iako AI asistenti nude značajne mogućnosti za unapređenje efikasnosti i kvaliteta obrazovnog procesa, njihova integracija u rad nastavnika otvara i niz pitanja. Ona se odnosi na stepen poznavanja tehnologije, frekvenciju upotrebe, motivaciju i prepreke u implementaciji, kao i na etiku, poverenje i odgovornost u kontekstu korišćenja AI alata u obrazovanju. Pored tehničkih i pedagoških aspekata, posebno su važna pitanja vezana za akademski integritet, mogućnost zloupotrebe, pristrasnost algoritama i zaštitu podataka.

Uprkos sve većoj prisutnosti ovih alata, istraživanja pokazuju da među nastavnicima i dalje vlada nesigurnost i rezervisanost kada je u pitanju njihova široka upotreba u obrazovnim sistemima. Prema istraživanju Pew Research Centra 2023. godine, samo 6% nastavnika smatra da AI donosi više koristi nego štete u obrazovanju, dok 35% ne može da zauzme jasan stav, što ukazuje na potrebu za dubljim ispitivanjem stavova i potreba nastavnika kada je reč o primeni veštačke inteligencije u obrazovnom kontekstu (Lin, 2024). Labadze i saradnici sprovedi su sistematski pregled 67 studija i istakli da AI chatboti omogućavaju nastavnicima uštedu vremena, unapređenje komunikacije i dostupnost personalizovanih resursa. Iako se u mnogim slučajevima koristi kao pomoćni alat, postoje ozbiljne zabrinutosti u vezi sa tačnošću generisanih informacija, mogućnostima zloupotrebe i etičkim dilemama u obrazovnim okruženjima (Labadze, 2003). U drugoj studiji autorka ukazuje na porast primene veštačke inteligencije u pripremi časova i planiranju aktivnosti, ali i na izražen nedostatak sistematske obuke nastavnika o odgovornoj i efikasnoj upotrebi ovih alata (Tan, 2024). Višeslojni uticaj veštačke inteligencije na obrazovanje, uključujući personalizaciju učenja, automatizaciju evaluacije i administrativnih procesa, ali i podršku nastavnicima ukazuje na poseban akcenat za etičkim, inkluzivnim i transparentnim pristupom njenoj integraciji (Stošić, Radonjić i Krčadinac, 2025). U radu Elsayed i saradnika (2024) analizirana je upotreba AI alata u nastavi stranih jezika, pri čemu se posebna pažnja posvećuje njihovom uticaju na motivaciju i emocionalni doživljaj učenika. Rezultati istraživanja ukazuju da se, kada su veštačka inteligencija i pedagoška podrška nastavnika kombinovani, mogu postići pozitivni efekti u vidu povećane angažovanosti učenika i smanjenja anksioznosti u procesu učenja. Ipak, autori upozoravaju na određene izazove i rizike povezane sa nekritičkim oslanjanjem na AI tehnologije. Među njima se ističe opasnost da učenici razviju zavisnost od AI alata za rešavanje zadataka, čime se umanjuje razvoj autentičnih jezičkih kompetencija. Takođe, postavlja se pitanje pouzdanosti i pedagoške adekvatnosti sadržaja koje AI generiše, naročito ukoliko izostane nadzor nastavnika.

Korišćenje AI u obrazovanju otvara i etička pitanja, pre svega u vezi sa zaštitom privatnosti učenika i transparentnošću algoritamskih procesa. Istraživanje zaključuje da je uloga nastavnika i dalje nezamenjiva, te da AI može biti efikasan alat samo ukoliko se koristi kao podrška, a ne kao zamena za ljudsku interakciju u nastavi (Elsayed, 2024). Veštačka inteligencija značajno doprinosi unapređenju akademskog pisanja i istraživanja kroz podršku u svim fazama istraživačkog procesa, uz naglasak na potrebu za etičkim okvirom, obukom korisnika i očuvanjem ravnoteže između tehnologije i ljudske kreativnosti (Khalifa i Albadawy, 2024). Međutim, postoje studije koje upozoravaju da prekomerno i nekritičko oslanjanje učenika i nastavnika na AI dijaloške sisteme poput ChatGPT-a može negativno uticati na razvoj kognitivnih sposobnosti, samostalnog mišljenja i akademskog integriteta, pa naglašava potrebu za razvojem AI pismenosti i kritičkog odnosa prema tehnologiji (Zhai, Wibowo i Li, 2024). Takođe, pojedine studije ukazuju da generativna veštačka inteligencija transformiše obrazovne procese nudeći mogućnosti za personalizaciju i efikasnost, ali istovremeno nameće hitnu potrebu za etičkim, pravnim i pedagoškim okvirima koji bi obezbedili njenu odgovornu, pravednu i transparentnu upotrebu (García-López i Trujillo-Liñán, 2025).

2. METODOLOGIJA RADA

Osnovni istraživački instrument bio je namenski kreiran **onlajn upitnik**, koji je distribuiran nastavnicima različitih obrazovnih profila zaposlenim u jednoj osnovnoj i jednoj srednjoj stručnoj školi u Republici Srbiji. Upitnik je sadržao **15 pitanja** i obuhvatao sledeće oblasti: demografske podatke, nivo digitalne pismenosti, učestalost korišćenja AI alata, konkretne situacije u kojima se AI asistenti primenjuju, identifikovane prepreke i stavove o etičkim aspektima upotrebe veštačke inteligencije u nastavi. Pitanja su bila različitog tipa: višestrukog izbora, skale procene (Likertova skala), linearne skale, kao i otvorenog tipa za kvalitativne uvide. Uzorak je činilo **109 nastavnika**, a analiza podataka obavljena je korišćenjem softverskih alata Excel i Python. **Deskriptivna statistika** primenjena je radi prikaza frekvencija i procentualne raspodele odgovora, dok su za testiranje hipoteza korišćene **korelacione analize (Spearmanova korelacija)**. Otvoreni odgovori analizirani su kvalitativno, putem identifikacije tematskih obrazaca.

Osnovni cilj ovog istraživanja je da se ispita kako nastavnici percipiraju ulogu i potencijal AI asistenata u obrazovanju, koje AI alate koriste, u kojim situacijama, koje prepreke identifikuju i koje etičke dileme prepoznaju kao važne za bezbednu i odgovornu integraciju veštačke inteligencije u nastavu. Hipoteze korišćene u istraživanju su: **H1:** Većina nastavnika koristi AI asistente povremeno ili eksperimentalno, ali ne sistematski u nastavnom procesu; **H2:** Postoji pozitivna korelacija između nivoa digitalne pismenosti i učestalosti korišćenja AI alata u obrazovanju; **H3:** Najveće prepreke za širu upotrebu AI asistenata odnose se na nedovoljno znanje, etičke nedoumice i strah od zloupotrebe; **H4:** Nastavnici koji češće koriste AI alate imaju pozitivniji stav prema njihovoj ulozi u unapređenju nastave i učenikove motivacije.

3. REZULTATI

Uzorak istraživanja čini dominantno ženska populacija, gde čak 78,9% ispitanika čine žene, dok su muškarci zastupljeni sa 21,1%. Starosna struktura ukazuje na izraženu prisutnost iskusnijih nastavnika – 43,1% ima više od 51 godinu, dok 42,2% pripada grupi između 41 i 50 godina. Manje je zastupljeno mlađe nastavničko osoblje, sa samo 9,2% u kategoriji od 31 do 40 godina i 5,5% mlađih od 30. Kada je reč o stepenu obrazovanja, većina ispitanika poseduje visoko obrazovanje – 73,2% je završilo fakultet, dok 26,6% ima master diplomu, a 1,1% je sa

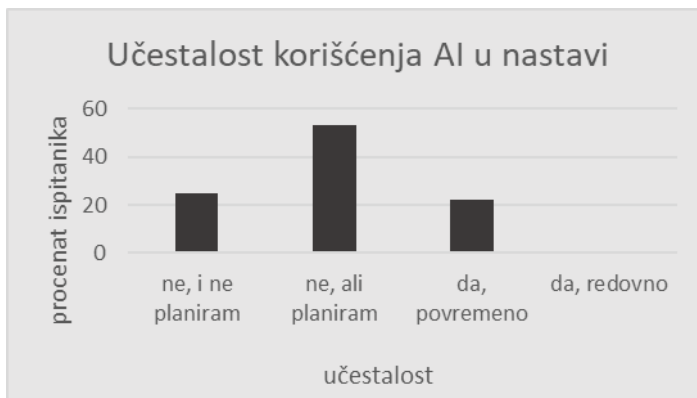
završenim doktorskim studijama. U pogledu nastavnih oblasti, najviše je onih koji predaju prirodne nauke (34,9%) i stručne predmete (26,6%), dok su društveni predmeti zastupljeni sa 17,4%, informatika sa 15,6%, a umetnički predmeti najmanje – svega 5,5%.

Većina nastavnika (86,2%) navodi da koristi veštačku inteligenciju u svakodnevnom životu, dok 11,9% to ne čini, a 1,8% nije sigurno. Međutim, kada se procenjuje nivo znanja o veštačkoj inteligenciji, najviše ispitanika se svrstava u srednju kategoriju (39,4%), dok 31,2% smatra da im je znanje nisko, a 16,5% veoma nisko. Visok nivo znanja prijavljuje 11%, a samo 1,8% smatra da poseduje veoma visoko znanje. U pogledu primene AI asistenta u nastavi, većina ispitanika navodi da ih ne koristi, ali planira u budućnosti (45,9%). Povremeno ih koristi 31,2%, redovno 8,3%, dok 14,7% ne koristi i ne planira. Na pitanje o upoznatosti sa etičkim principima u obrazovanju koji se tiču AI alata, 51,4% ispitanika izjavljuje da nije upoznato, 34,9% delimično jeste, a 13,8% u potpunosti jeste.

Kada su u pitanju stavovi o uticaju AI alata u obrazovanju, većina nastavnika izražava umeren optimizam. Slažu se da AI asistenti mogu doprineti kvalitetu nastave, ali istovremeno izražavaju zabrinutost u vezi moguće zloupotrebe. Takođe, visok procenat vidi AI kao sredstvo koje štedi vreme, ali ne zanemaruju ni potrebu za jasnom pravnom regulacijom i odgovornim korišćenjem od strane učenika. Emocionalni odnos prema prodoru AI u obrazovanje je uglavnom pozitivan ili radoznao (više od polovine ispitanika), ali sa određenom dozom opreza.

Rezultati testiranja hipoteze H1: Većina nastavnika koristi AI asistente povremeno ili eksperimentalno, ali ne sistematski u nastavnom procesu

Rezultati jasno potvrđuju ovu hipotezu. Najveći broj ispitanika (53,2%) navodi da još uvek ne koristi AI asistente, ali ima nameru da to učini u budućnosti. Povremeno korišćenje beleži 22% ispitanika, dok redovno ne koristi nijedan ispitanik. Ova raspodela ukazuje da se AI u obrazovanju trenutno nalazi u fazi eksperimentalne i oportunističke primene, bez šire strategije i sistemske integracije (Dijagram 1).



Dijagram 1. Korišćenje AI u nastavi

Rezultati testiranja hipoteze H2: Postoji pozitivna korelacija između nivoa digitalne pismenosti i učestalosti korišćenja AI alata u obrazovanju

Spearmanova korelacija između samoprocene znanja o AI tehnologijama i učestalosti korišćenja AI asistenata u nastavi iznosi $\rho = 0,36$, što ukazuje na umereno pozitivnu povezanost. Ovaj rezultat podržava hipotezu da viši nivo digitalne pismenosti podstiče češće korišćenje veštačke inteligencije u obrazovnom kontekstu. Nastavnici koji se bolje snalaze sa AI alatima skloniji su da ih uključe u planiranje i izvođenje nastave, makar i povremeno.

Rezultati testiranja hipoteze H3: Najveće prepreke za širu upotrebu AI asistenata odnose se na nedovoljno znanje, etičke nedoumice i strah od zloupotrebe

Kvalitativna analiza otvorenih odgovora na pitanje o preprekama upotrebe AI u nastavi pokazuje da se najčešće spominju zloupotrebe (38 pojavljivanja), kao i strah (28 pojavljivanja) i neznanje/znanje (11 pojavljivanja). Ovi rezultati pokazuju da je najizraženija zabrinutost nastavnika povezana sa potencijalom za neetičko korišćenje i manipulaciju sadržajem, kao i sa osećajem nesigurnosti usled nedovoljne edukacije i razumevanja funkcionalnosti alata. Nasuprot tome, etički pojmovi kao što su „etičko” i „bezbednost” eksplicitno se ne pominju često, što može ukazivati na to da su etičke dileme više internalizovane u formi straha nego artikulisane u stručnim terminima. Ovi nalazi snažno potvrđuju postavljenu hipotezu.

Rezultati testiranja hipoteze H4: Nastavnici koji češće koriste AI alate imaju pozitivniji stav prema njihovoj ulozi u unapređenju nastave i učenikove motivacije

Analizom povezanosti između učestalosti korišćenja AI asistenata i stavova izraženih kroz Likert skalu uočen je niz pozitivnih, ali različito izraženih korelacija. Najjača veza zabeležena je za tvrdnju da „AI asistenti štede vreme nastavnicima” ($\rho = 0,40$), što sugeriše da oni koji češće koriste ove alate prepoznaju njihovu praktičnu vrednost u svakodnevnom radu. Umerenija pozitivna povezanost postoji i za tvrdnju da AI može doprineti kvalitetu nastave ($\rho = 0,21$). Istovremeno, blago negativna povezanost uočena je kod zabrinutosti zbog zloupotrebe i potrebe za regulacijom, što ukazuje da češći korisnici AI alata imaju nešto manje izražen strah od potencijalnih rizika. Ovi nalazi potvrđuju da praksa doprinosi pozitivnijem stavu i većem poverenju u korisnost AI tehnologija u obrazovanju

4. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Rezultati istraživanja ukazuju na to da je primena AI asistenata u obrazovanju među nastavnicima u Srbiji još uvek u fazi početne integracije, bez razvijenog sistemskog pristupa. Većina ispitanika ne koristi veštačku inteligenciju redovno, već je prepoznaje kao potencijalni resurs koji bi mogli uključiti u budućnosti. Ovakvi nalazi potvrđuju i slične obrasce identifikovane u radu Tana, gde se ukazuje na nedostatak formalne obuke i sistematske podrške u integraciji AI u obrazovni process (Tan, 2024). Postoji umerena pozitivna korelacija između digitalne pismenosti i učestalosti korišćenja AI alata, što implicira da se veće samopouzdanje u poznavanju tehnologije odražava na spremnost za njihovu primenu. S druge strane, stavovi nastavnika prema AI su pretežno pozitivni, posebno u pogledu uštede vremena i unapređenja nastave, što je u skladu s nalazima Labadzea i saradnika, koji ističu funkcionalne koristi AI alata u pedagoškoj praksi (Labadze, 2023). Međutim, otvoreni odgovori ukazuju na izražene zabrinutosti u vezi sa zloupotrebom, neetičkom upotrebom i nedovoljnom edukacijom nastavnika. Ove zabrinutosti se poklapaju s etičkim dilemama koje opisuju Yan i saradnici, kao i Zhai i saradnici, pri čemu se kao posebno problematična ističe mogućnost da učenici razviju zavisnost od alata poput ChatGPT-a i da smanji njihovu motivaciju za samostalnim učenjem (Yan, 2023, Zhai, 2024). Dodatno, autori poput Elsayeda (2024) naglašavaju potrebu za balansiranjem između tehnološke podrške i ljudske uloge u obrazovanju, što potvrđuju i rezultati

ovog istraživanja — uloga nastavnika se percipira kao i dalje ključna, bez obzira na prednosti AI tehnologija (Elsayed, 2024). Uočene su i razlike u stavovima u zavisnosti od učestalosti korišćenja AI, češći korisnici imaju izraženije pozitivne stavove, što sugerise da iskustvo sa tehnologijom doprinosi većem poverenju i boljem razumevanju potencijala i ograničenja ovih alata.

Preporuke proistekle iz istraživanja ukazuju na potrebu za sistematskom obukom nastavnika koja bi obuhvatila funkcionalne, pedagoške i etičke aspekte upotrebe AI alata, uz fokus na konkretne scenarije u nastavi i kritičku analizu generisanog sadržaja. Neophodno je uvesti jasne smernice i etičke okvire koji obuhvataju zaštitu podataka, transparentnost algoritama i odgovornost u proceni informacija, uz obezbeđenje njihove dostupnosti i razumljivosti za sve profile nastavnika. Važno je podržati nastavnike kroz profesionalne mreže i razmenu dobrih praksi, što bi doprinelo sigurnijoj i odgovornijoj primeni AI u obrazovanju. AI alati bi trebalo da budu pedagoški prilagođeni i lako dostupni, naročito u kontekstu inkluzivne i diferencirane nastave, pri čemu je važno da tehnologija bude podrška, a ne zamena za nastavnika. Takođe, preporučuje se uvođenje AI pismenosti u kontinuirani profesionalni razvoj, uz jačanje metakognitivnih i evaluativnih veština koje omogućavaju nastavnicima da zadrže aktivnu ulogu u obrazovnom procesu i odgovorno koriste veštačku inteligenciju kao alat u službi učenja.

LITERATURA:

- [1] Elsayed, D., et al. (2024). AI-assisted instruction and learner outcomes in language education. *Language Testing in Asia*.
- [2] García-López, I. M., & Trujillo-Liñán, L. (2025, June). Ethical and regulatory challenges of Generative AI in education: a systematic review. In *Frontiers in Education* (Vol. 10). Frontiers Media SA.
- [3] Khalifa, M., & Albadawy, M. (2024). Using artificial intelligence in academic writing and research: An essential productivity tool. *Computer Methods and Programs in Biomedicine Update*, 5, 100145.
- [4] Labadze, L., et al. (2023). A systematic review of AI chatbots in education. *International Journal of Educational Technology*. <https://educationaltechnologyjournal.springeropen.com/articles/10.1186/s41239-023-00426-1>
- [5] Lin, L. (2024). A quarter of US teachers say AI tools do more harm than good in K-12 education. Pew Research Center.
- [6] Ling, M. H. (2025). Artificial intelligence in teaching and teacher professional development: A systematic review. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 8, 100355.
- [7] Stošić, L., Radonjić, A., & Krčadinac, O. (2025). The Evolution of Artificial Intelligence and Its Transformative Role in Education. *Journal of UUNT: Informatics and Computer Sciences*, 2(1), 15-21. <https://doi.org/10.62907/juuntics250201015s>
- [8] Tan, X. (2024). Teachers' integration of AI in instructional design: Needs and gaps in training. *Education and AI Journal*, ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666920X24001589>
- [9] Yan, X., et al. (2023). LLM in education: Risks and ethics. arXiv preprint. <https://arxiv.org/abs/2303.13379>
- [10] Zhai, C., Wibowo, S., & Li, L. D. (2024). The effects of over-reliance on AI dialogue systems on students' cognitive abilities: a systematic review. *Smart Learning Environments*, 11(1), 28.



XVII međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2025

Banja Luka, 26 - 27. 9. 2025. godine



KAKO ĆE VJEŠTAČKA INTELIGENCIJA PROMIJENITI OBRAZOVANJE U NAREDNIH 10 GODINA

Jovo Marković

MUP RS, jovo.markovic@hotmail.rs

Igor Dugonjić

UKC RS, igor.dugonjic@ukc-bl.com

Ružica Đervida

Nezavisni univerzitet u Banjaluci, ruzica.djervida@gmail.com

Mirko Sajić

Nezavisni univerzitet u Banjaluci, mirko.sajic@gmail.com

Sažetak: Vještačka inteligencija (AI) će u narednoj deceniji značajno transformisati sve nivoe obrazovanja kroz personalizaciju nastave, automatizaciju ocjenjivanja, podršku nastavnicima, prediktivnu analitiku, dostupnost resursa i promjenu uloga nastavnika i institucija. Promjene će donijeti veće mogućnosti učenja prilagođenog pojedincu, ali i zahtjeve za regulacijom podataka, etiku i osposobljavanje nastavnog kadra. Ovaj rad razmatra očekivane promjene, praktične primjere primjene, tehničke i institucionalne zahtjeve, upravljanje rizicima i plan implementacije koji može poslužiti školama, univerzitetima i donosiocima odluka.

Ključne riječi: AI, Obrazovanje

HOW WILL ARTIFICIAL INTELLIGENCE CHANGE EDUCATION IN THE NEXT 10 YEARS

Abstract: Artificial intelligence (AI) will significantly transform all levels of education in the next decade through personalized learning, automated grading, teacher support, predictive analytics, resource accessibility, and changes in the roles of teachers and institutions. These changes will bring greater opportunities for individualized learning, but also demands for data regulation, ethics, and teacher training. This paper examines the expected changes, practical examples of application, technical and institutional requirements, risk management, and an implementation plan that can serve schools, universities, and decision-makers.

Keywords: AI, Education

1. UVOD

Vještačka inteligencija (AI, eng: *Artificial Intelligence*) danas predstavlja jedno od najvažnijih dostignuća koje oblikuje savremeni svijet. Njena primjena je prisutna u gotovo svim oblastima, od medicine i ekonomije, preko industrije i transporta, pa sve do svakodnevnih digitalnih servisa. Ipak, jedan od sektora gdje AI može imati najdublje i najtrajnije posljedice je

obrazovanje. Tokom naredne decenije očekuje se da će ona izmijeniti ne samo metode učenja i obrazovanja, već i samu organizaciju obrazovnih sistema [1].

Današnje obrazovanje suočeno je sa nizom izazova: nedostatak personalizovanog pristupa svakom učeniku, administrativno opterećenje nastavnika, nedovoljna podrška onima koji se suočavaju sa problemima, te izražene razlike u dostupnosti resursa između razvijenih i manje razvijenih sredina [2][1]. Sve to dovodi do nejednakosti u šansama i smanjenja ukupnog kvaliteta obrazovnog procesa.

Upravo zbog toga AI se nameće kao potencijalno rješenje koje može donijeti veću efikasnost, pravednost i kvalitet učenja. Ključna ideja nije da zamijenite nastavnika, već da ga podrži, rastereti i osnaži [3]. Uloga nastavnika u takvom sistemu ne gubi na značaju, naprotiv, ona postaje još važnija jer se njihov rad fokusira na kreativnost, kritičko razmišljanje i mentorsku ulogu. Ravnoteža između pedagoškog iskustva i sposobnosti AI sistema za analitiku i adaptivno učenje predstavlja temelj budućeg obrazovanja.

2. PERSONALIZOVANO UČENJE, AUTOMATIZOVANO OCJENJIVANJE I NOVA ULOGA NASTAVNIKA

Jedna od najupečatljivijih promjena koju AI donosi obrazovanju jeste mogućnost personalizacije procesa učenja. Tradicionalni modeli, koji se uglavnom oslanjaju na uniformisan pristup, često zanemaruju individualne potrebe učenika. AI, analizom podataka o znanju, tempu i interesovanjima, nudi priliku da se svakom učeniku obezbijedi plan učenja prilagođen njegovim specifičnim sposobnostima [4].

Tako učenici koji sporije usvajaju gradivo dobijaju dodatna objašnjenja i vježbe, dok oni napredniji dobijaju složenije zadatke. Na ovaj način raste motivacija, angažman i osjećaj postignuća, učenje postaje proces koji prati zadovoljstvo i napredak. U praksi već postoje obrazovne platforme koje kroz AI analiziraju učeničke greške i biraju zadatke koji najviše doprinose razvoju znanja, dok kursevi stranih jezika koriste AI za prilagođavanje vježbi izgovora i vokabulara.

Ocjenjivanje je proces koji u savremenim školama često oduzima mnogo vremena nastavnicima. AI tehnologije omogućavaju da se veliki dio tog posla automatizuje, od testova sa višestrukim izborom do složenijih zadataka poput eseja ili programiranja. Učenici zahvaljujući tome dobijaju povratnu informaciju odmah, što im pomaže da brže isprave greške i unaprijede svoje znanje [5].

Naravno, postoje oblasti u kojima ljudska procjena ostaje nezamjenjiva, posebno kada je riječ o kreativnim, analitičkim i kritičkim zadacima. Upravo zato se AI i ljudski rad dopunjuju: dok algoritmi obrađuju rutinske poslove, nastavnici mogu posvetiti više pažnje individualnom radu, podršku učenicima i razvijanju nastavnih sadržaja. Njihova uloga se mijenja iz tradicionalnog prenosnika znanja u mentora i vodiča kroz proces učenja.

Virtuelni asistenti i tutor-botovi predstavljaju novi oblik obrazovne podrške. Oni mogu biti dostupni učenicima u bilo koje doba dana, odgovarati na pitanja, pomagati pri domaćim zadacima, pa čak i nuditi motivacione podsjetnike. Posebno su značajni u inkluzivnom obrazovanju, jer omogućavaju dodatnu podršku učenicima za posebne potrebe.

Na taj način obrazovanje postaje stalno dostupno, učionica se širi izvan fizičkih zidova škole. Učenici mogu naučiti sopstvenim tempom, a nastavnici dobijaju alat koji im olakšava pripremu personalizovanih materijala i interaktivnih zadataka. Ovi sistemi postepeno oblikuju školu budućnosti, u kojoj je podrška dostupna svakome, u svakom trenutku.

3. INFRASTRUKTURA

Uspješna primjena vještačke inteligencije u obrazovanju nezamisliva je bez adekvatne infrastrukture, što podrazumijeva skup tehničkih, organizacionih i kadrovskih resursa potrebnih za održivu integraciju novih tehnologija u nastavni proces. Prvi preduslov je stabilna digitalna mreža, jer primjena AI sistema zahtijeva kontinuiran pristup internetu i pouzdanu razmjenu podataka. Škole i univerziteti moraju biti opremljeni serverima, računarima i mobilnim uređajima dovoljnog kapaciteta kako bi omogućili funkcionisanje složenih algoritama, kao i softverskim rješenjima koja obezbjeđuju skalabilnost i interoperabilnost različitih obrazovnih alata.

Posebno važan segment infrastrukture odnosi se na standardizaciju podataka. Učenici i nastavnici stvaraju ogromne količine informacija npr. od rezultata testova i domaćih zadataka do bilješki, digitalnih resursa i komunikacija na platformama. Ukoliko podaci nisu strukturisani na jedinstven način, njihova obrada postaje otežana ili neupotrebljiva. Zato je neophodno uspostaviti otvorene standarde koji omogućavaju razmjenu između različitih sistema, kao i jasno definisane protokole za arhiviranje, čuvanje i brisanje informacija. Jednako važna je i kadrovska infrastruktura. Obuka nastavnika i administrativnog osoblja ključna je za uspjeh svake reforme zasnovane na tehnologiji. Nastavnici moraju steći samo tehničke veštine korišćenja AI alata, već i pedagoška znanja o tome kako da ih primjenjuju u nastavi na način koji doprinosi učenju, a ne da ga ometa. Investicije u profesionalni razvoj kadra moraju biti sistematske i kontinuirane, kako bi se pratio razvoj tehnologije i izbjeglo stvaranje jaza između tehničkih mogućnosti i pedagoške prakse.

Na kraju, infrastruktura ne podrazumijeva samo tehniku i obuku, već i regulatorni okvir koji omogućava sigurnu i odgovornu upotrebu AI [6]. Jasni zakoni i propisi o digitalnoj sigurnosti, zaštiti podataka i odgovornosti institucija stvaraju povjerenje među učenicima, roditeljima i nastavnicima. Bez povjerenja javnosti, i najsofisticiraniji sistemi mogu naići na otpor i biti odbijeni u obrazovnoj praksi.

Jedna od najvažnijih mogućnosti koje AI nudi obrazovanje jeste prediktivna analitika. Analizom podataka o učeničkom ponašanju i uspješnosti, moguće je na vrijeme prepoznati učenike koji su u riziku loših rezultata ili čak napuštanja školovanja. Upozorenja koja ovakvi sistemi generišu nastavnicima i roditeljima otvaraju prostor za pravovremenu intervenciju. Zahvaljujući tome, povećava se šansa da učenici dobijaju potrebnu podršku i ostaju u obrazovnom sistemu. Dugoročno, ovo vodi smanjenju stope napuštanja školovanja i poboljšanju ukupne uspješnosti, čime obrazovanje postaje inkluzivnije i prilagođenije svakom pojedincu.

Uspješna primjena AI u obrazovanju zahtijeva čvrste temelje: potrebna je adekvatna tehnička infrastruktura, standardizovani podaci, obučeni nastavnici i jasna regulativa. Poseban naglasak mora biti na zaštiti privatnosti učenika i sigurnosti podataka, jer bez povjerenja javnosti obrazovni sistemi ne mogu u potpunosti prihvatiti ovakve tehnologije.

Pored navedenog, etička pitanja su ključna: algoritamska pristrasnost može dovesti do diskriminacije, a netransparentni sistemi do nepovjerenja. Zato je neophodno razvijati procedure

nadzora, testiranja i kontrole, kako bi se obezbedila ispravnost i pouzdanost. Istovremeno, obrazovni programi treba da jačaju digitalnu pismenost i kritičko mišljenje učenika, jer samo tako mogu razumjeti mogućnosti i ograničenja vještačke inteligencije.

4. ETIČKI IZAZOVI

Primjena vještačke inteligencije u obrazovanju otvara čitav niz etičkih pitanja koja se moraju razmatrati jednako pažljivo kao i tehnički aspekti. Jedan od najvećih izazova jeste zaštita privatnosti učenika. AI sistemi prikupljaju i analiziraju osjetljive podatke o znanju, ponašanju i napretku pojedinaca, pa postoji rizik da se ti podaci zloupotrijebe ili da budu dostupni neovlašćenim licima. Transparentnost u načinu prikupljanja i korišćenja podataka, kao i jasna saglasnost učenika i roditelja, predstavljaju osnovu odgovorne primjene [7].

Drugi značajan problem jeste algoritamska pristrasnost. Ako AI modeli nisu obučeni na reprezentativne i raznovrsne skupove podataka, oni mogu generisati preporuke i odluke koje diskriminišu određene grupe učenika. Na primjer, iz manje razvijenih sredina ili oni sa posebnim obrazovnim potrebama mogu biti nepravedno ocijenjeni ili označeni kao manje sposobni učenici. Da bi se izbjeglo, potrebno je razviti proceduru stalnog testiranja i nadzora algoritama, uz uključivanje stručnjaka iz oblasti etike i obrazovanja.

Posebnu pažnju treba posvetiti i ulozi nastavnika i učenika u interakciji sa AI sistemima. Ukoliko učenici počnu da bezrezervno vjeruju preporukama tehnologije, postoji mogućnost gubitka sposobnosti kritičkog promišljanja i samostalnog donošenja odluka. Zbog toga je nužno da kurikulumi budu obogaćeni sadržajima iz digitalne pismenosti i etike, kako bi učenici razvili kompetencije za kritičko ocjenjivanje rezultata koje im pružaju AI alati.

Na kraju, odgovornost za pogrešne odluke koje donesu AI sistemi moraju biti jasno definisana. U slučaju da algoritam pogrešno ocijeni učenika ili da prediktivni model izostavi intervenciju kod učenika u riziku, mora biti jasno ko snosi odgovornost: da li nastavnik, institucija ili proizvođač tehnologije. Bez precizne regulative, obrazovne institucije mogle bi biti izložene pravnim i reputacionim rizicima.

Upravo zbog svega navedenog, etički izazovi ne smiju biti posmatrani kao sekundarni aspekt implementacije AI u obrazovanju, već kao centralni stub na kojem počiva odgovorna i pravedna upotreba tehnologije [8]. Samo balansiranjem tehničkog napretka i etičkih principa moguće je obrazovni sistem budućnosti koji je istovremeno efikasan, inkluzivan i usmjeren na dobrobit svakog učenika.

5. FAZA IMPLEMENTACIJE I MJERILA USPJEŠNOSTI

Šira primjena vještačke inteligencije u obrazovanju ne može se sprovesti naglo, već zahtijeva pažljivo planiranje i postepeni pristup koji omogućava provjeru efikasnosti i prilagođavanje sistema specifičnim potrebama obrazovnih institucija. Proces implementacije najbolje se organizuje kroz nekoliko faza koje se logički nadovezuju jednu na drugu.

Prva faza, koja bi mogla trajati do dvije godine, uključuje kreiranje jasnih politika zaštite podataka, definisanje sigurnosnih standarda i sprovođenje pilot projekata u odabranim školama i fakultetima. U ovoj fazi ključna je obuka nastavnika o osnovama AI sistema i njihovoj primjeni, kako bi se izbjegao otpor prema novim tehnologijama i podstakla spremnost za njihovo korištenje.

Druga faza, u periodu od tri do pet godina, podrazumijeva širenje uspješnih pilot projekata na višim školama i univerzitetima, kao i uvođenje automatizovanog ocjenjivanja za rutinske zadatke. Paralelno s tim, potrebno je razvijati alate za prediktivnu analitiku, koji će pomagati u ranom prepoznavanju učenika u riziku od slabijeg uspjeha. Važno je napomenuti da u ovoj fazi mora postojati jasna ljudska kontrola nad algoritamskim odlukama, kako bi se spriječile greške i osigurao kredibilitet sistema.

Treća faza, koja bi trajala od šest do deset godina, obuhvata punu integraciju AI u obrazovni proces. To znači da bi AI sistemi postali standardni dio nastavnih planova i programa, a kurikulumi bi bili redizajnirani kako bi se više naglašavali kompetencije potrebne za 21. vijek, digitalne pismenosti, kritičkog mišljenja i interdisciplinarnog pristupa. U ovoj fazi, interoperabilnost i otvoreni standardi postaju presudni, jer omogućavaju međusobnu povezanost različitih sistema i alata. Posebna pažnja mora se posvetiti osiguranju jednakog pristupa tehnologijama, naročito za učenike i škole iz manje razvijenih sredina, kako bi se spriječilo produblјivanje digitalnog jaza.

Da bi se procijenila uspješnost svake od ovih faza, neophodno je koristiti jasno definisana mjerila. Kvantitativni indikatori obuhvataju praćenje napretka učenika kroz rezultate prije i poslije primjene AI, smanjenje stope napuštanja školovanja, vrijeme potrebno za ocjenjivanje i efikasnost administrativnih procesa. Pored toga, treba mjeriti i obim korištenja AI alata, kao i broj nastavnika i institucija koje ih aktivno primjenjuju.

Tabela 1. Faze implementacije vještačke inteligencije u obrazovanju

Faza	Glavne aktivnosti
Faza 1 (0-2 godine)	Definisanje politika zaštite podataka, pilot projekti, početna obuka nastavnika
Faza 2 (3-5 godina)	Širenje uspješnih projekata, automatizovano ocjenjivanje, razvoj prediktivne analitike
Faza 3 (6-10 godina)	Puna integracija u nastavni proces, interoperabilnost sistema, redizajn kurikuluma, inkluzivnost

Kvalitativni indikatori, sa druge strane, odnose se na procjenu zadovoljstva nastavnika i učenika, kvalitet povratnih informacija, stepen razvijene digitalne pismenosti i nivo povjerenja u sigurnost podataka. Posebno je važno procjenjivati etičku usklađenost sistema, kako bi se spriječila diskriminacija i nejednak tretman učenika.

Ova mjerila uspješnosti ne predstavljaju samo način evaluacije, već i osnovu za stalno unapređenje sistema. Na osnovu rezultata dobijenih iz kvantitativnih i kvalitativnih analiza, moguće je prilagoditi implementacije strategije i obuke nastavnika, kao i vršiti korekcije u regulativi. Obrazovanje nije statičan proces, već dinamičan sistem koji se neprekidno mijenja, pa tako i AI mora biti uvedena fleksibilno, sa mogućnošću prilagođavanja različitim društvenim i kulturnim kontekstima.

Konačno, ključnu ulogu u ovom procesu imaju donosioci odluka na nacionalnom i međunarodnom nivou. Njihova odgovornost je da kreiraju strategije koje obezbjeđuju uključenost svih učesnika, garantuju bezbjednost i privatnost podataka i omogućavaju da koristi vještačke inteligencije budu dostupne svima, a ne samo privilegovanim grupama. Samo na taj

način moguće je osigurati transformaciju obrazovanja kroz AI da se doprinese društvenoj jednakosti, unapređenju znanja i dugoročnom razvoju cijelog sistema.

6. ZAKLJUČAK

Evidentno je da će vještačka inteligencija u narednih deset godina temeljno promijeniti obrazovanje. Njene najveće prednosti ogledaju se u personalizaciji učenja, efikasnijem ocjenjivanju, stalnoj dostupnosti podrške i mogućnostima prediktivne analitike. Međutim, uspjeh primjene zavisi od pažljivog planiranja i odgovorne implementacije koja mora kombinovati tehnološki napredak sa ljudskim znanjima i sposobnostima. Obuka nastavnika, zaštita privatnosti i razvoj etičkih standarda predstavljaju ključne preduslove za pravednu i održivu primjenu. Ukoliko se ovi uslovi ispune, obrazovanje 21. vijeka postaje efikasnije, inkluzivnije i prilagođenije potrebama svakog pojedinca. Osim toga, AI u obrazovanju ne treba posmatrati samo kao tehnički alat, već i kao širi društveni proces koji mijenja način na koji se znanje stiče, dijeli i koristi. Ako se obezbedi ravnoteža između pedagoškog iskustva i mogućnosti novih tehnologija, obrazovanje može postati snažniji pokretač društvenog progressa i jednakih šansi za sve. Na taj način, integracija AI u obrazovni sistem neće značiti gubitak humanog aspekta učenja, već njegovo unapređenje, pri čemu nastavnik ostaje nezamjenjiv vodič i mentor, a tehnologija postaje podrška i resurs budućnosti u izgradnji obrazovanja.

LITERATURA

- [1] W. Holmes, M. Bialik, and C. Fadel, *Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning*. Boston, MA: Center for Curriculum Redesign, 2019.
- [2] UNESCO, *AI and Education: Guidance for Policy-makers*. Paris: UNESCO, 2021.
- [3] R. Luckin, *Machine Learning and Human Intelligence: The Future of Education for the 21st Century*. London: UCL IOE Press, 2018.
- [4] OECD, *Digital Education Outlook 2021: Pushing the Frontiers with AI, Blockchain and Robots*. Paris: OECD Publishing, 2021.
- [5] F. Miao and W. Holmes, *Guidance for Generative AI in Education and Research*. Paris: UNESCO, 2023. [Online]. Available: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386693>
- [6] OECD, *Digital Education Outlook 2023: Emerging Governance of Generative AI in Education*. Paris: OECD Publishing, 2023. [Online]. Available: https://www.oecd.org/en/publications/oecd-digital-education-outlook-2023_c74f03de-en/full-report/emerging-governance-of-generative-ai-in-education_3cbd6269.html
- [7] European Commission, *Ethical Guidelines for Educators on Using AI and Data in Education*. Brussels: European Commission, 2025. [Online]. Available: <https://education.ec.europa.eu>
- [8] S. J. Lee and K. Kwon, "A systematic review of AI education in K-12 classrooms (2018–2023): Topics, strategies, and learning outcomes," *Computers and Education: Artificial Intelligence*, vol. 6, p. 100211, 2024. [Online]. Available:
- [9] <https://doaj.org/article/f50f852a6e11463f8d3c07942f2fb039>



XVII međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITEo 2025

Banja Luka, 26 - 27. 9. 2025. godine



MODEL UNAPREĐENJA LOOMEN SISTEMA ZA UČENJE NA DALJINU

Karlo Čuković Tkalčec

Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka, kcukovic@gmail.com

Dalibor P. Drljača

Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka, dalibor.p.drljaca@apeiron-edu.eu

Sažetak: Ovaj rad bavi se analizom funkcionalnosti i mogućnostima unapređenja Loomen platforme, najraširenijeg LMS sustava u hrvatskom obrazovanju. Cilj rada bio je identificirati prednosti i slabosti platforme te predložiti rješenja koja bi unaprijedila iskustvo korisnika i poboljšala pedagoške učinke. Istraživanje je provedeno tijekom stručne prakse u gimnaziji, gdje je prikupljeno iskustvo u svakodnevnoj uporabi sustava, te kroz anketu provedenu među učenicima i profesorima. Anketom su prikupljeni kvantitativni i kvalitativni podaci o učestalosti korištenja, tehničkim poteškoćama, zadovoljstvu funkcionalnostima i prijedlozima za poboljšanja. Rezultati pokazuju da učenici i nastavnici cijene mogućnost pregleda nastavnih materijala i predaje zadataka, ali ističu probleme s korisničkim sučeljem, mobilnom verzijom i komunikacijskim alatima. Učenici komunikaciju putem foruma i poruka doživljavaju kao zastarjelu i nedovoljno poticajnu, što umanjuje interakciju u nastavi. Na temelju dobivenih podataka izrađena je lista funkcionalnosti i lista uočenih nedostataka, a potom formulirani prijedlozi za unapređenje: redizajn sučelja, optimizacija rada na mobilnim uređajima, uvođenje modula za samoocjenjivanje i bogatiji multimedijalni sadržaji. Rad završava naglašavanjem da predložene mjere imaju potencijal povećati motivaciju i zadovoljstvo učenika te poboljšati kvalitetu nastave na daljinu.

Ključne riječi: e-učenje, LMS, Loomen, digitalno obrazovanje

MODEL TO IMPROVE DISTANCE LEARNING SYSTEM LOOMEN

Abstract: This research study focuses on analyzing the functionalities and potential improvements of the Loomen platform, the most widely used LMS system in Croatian education. The aim of the study was to identify the strengths and weaknesses of the platform and propose solutions that could enhance user experience and improve pedagogical outcomes. The research was conducted during a teaching internship at a high school, where hands-on experience with daily system use was gathered, and through a survey administered to students and teachers. The survey collected both quantitative and qualitative data on usage frequency, technical difficulties, satisfaction with functionalities, and suggestions for improvement. The results indicate that students and teachers value the ability to access teaching materials and submit assignments, but they highlight issues with the user interface, mobile version, and communication tools. Students perceive communication via forums and messaging as outdated and insufficiently engaging, which reduces interaction in the learning process. Based on the collected data, a list of functionalities and identified shortcomings was compiled, followed by proposals for improvement: interface redesign, optimization for mobile devices, introduction of a self-assessment module, and richer multimedia content. The paper concludes by emphasizing that the proposed measures have the potential to increase student motivation and satisfaction, as well as to improve the quality of distance learning.

Keywords: e-learning, LMS, Loomen, digital education

1. UVOD

Obrazovanje posljednjih desetljeća prolazi kroz najdinamičnije promjene u svojoj povijesti. Razvoj digitalnih tehnologija, brz internet i mobilni uređaji uveli su potpuno nove načine poučavanja i učenja, pomaknuvši granice tradicionalne učionice. Danas se znanje sve češće prenosi putem online platformi koje omogućuju učenicima da uče u vrijeme i na mjestu koje njima odgovara, dok nastavnici mogu fleksibilnije planirati i provoditi nastavu. Ovakav oblik učenja poznat je pod nazivom e-učenje, a jedno od njegovih ključnih obilježja jest korištenje LMS sustava (Learning Management System), platformi koje omogućuju organizaciju i distribuciju nastavnih sadržaja te upravljanje procesom učenja. [2]

U hrvatskom obrazovnom sustavu najzastupljenija LMS platforma je *Loomen*, temeljena na otvorenom sustavu *Moodle*. *Loomen* je osmišljen kako bi učenicima i nastavnicima pružio centralizirano mjesto za pregled nastavnih materijala, predaju zadataka, polaganje online testova te komunikaciju putem foruma i poruka. Tijekom proteklih nekoliko godina, posebice u vrijeme pandemije COVID-19, *Loomen* je uz *MS Teams* postao glavno sredstvo za provedbu nastave na daljinu u osnovnim i srednjim školama, kao i na fakultetima. Time je, prema mojim zapažanjima tijekom rada na *Loomenu*, kao i prema rezultatima provedene ankete, značajno porasla važnost same platforme, no istodobno su na površinu izašli i određeni nedostaci u njezinoj praktičnoj primjeni.

Unatoč činjenici da platforma nudi niz korisnih funkcionalnosti, iskustva učenika i nastavnika pokazuju da postoje područja koja bi se mogla značajno unaprijediti. Neki od najčešćih komentara odnose se na ponekad složeno i nepregledno korisničko sučelje, sporiji rad i povremene tehničke poteškoće, posebno prilikom pristupa putem mobilnih uređaja. Također se ističe potreba za većom raznolikošću nastavnih sadržaja – umjesto da dominiraju *MS Word* i *MS PowerPoint* dokumenti, učenici bi voljeli vidjeti više video lekcija, interaktivnih kvizova i materijala koji potiču aktivno sudjelovanje. Komunikaciju preko foruma i internih poruka učenici također doživljavaju kao zastarjelu i nedovoljno privlačnu, što značajno umanjuje interakciju između učenika i nastavnika. Rezultati ankete koju sam proveo tijekom stručne prakse u gimnaziji potvrdili su ove dojmove – većina učenika izjasnila se kako rijetko koristi forume, navodeći da im izgled i funkcionalnost djeluju nepregledno te da radije koriste vanjske aplikacije za komunikaciju (poput *WhatsApp*-a ili *Discord*-a). Ovo iskustvo iz prakse dodatno potvrđuje potrebu za modernizacijom komunikacijskih alata unutar *Loomena* kako bi učenici i nastavnici imali učinkovitiji i privlačniji način međusobne suradnje.

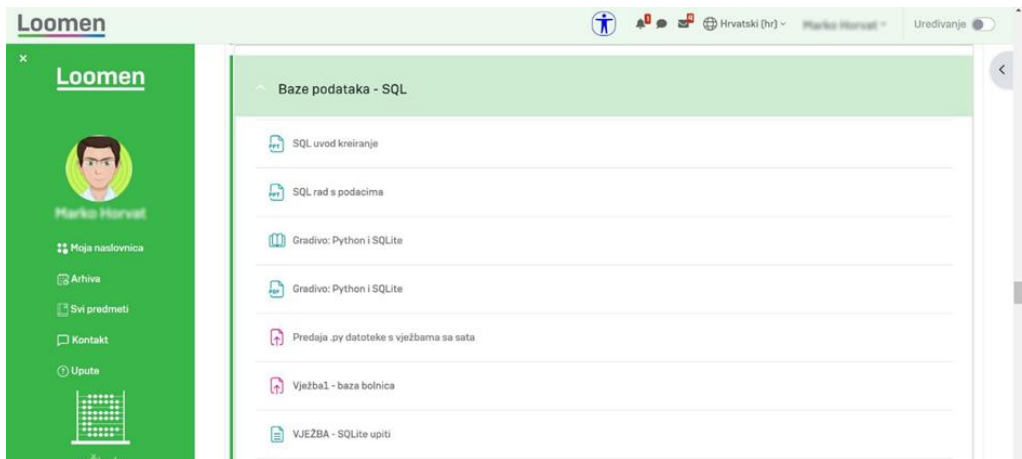
Cilj ovoga rada je analizirati što *Loomen* trenutno nudi svojim korisnicima, objektivno prikazati njegove prednosti i slabosti te na temelju analize predložiti smjerove mogućeg unapređenja. U radu će se opisati postojeće funkcionalnosti platforme, kategorizirati problemi koji su uočeni tijekom njezina korištenja i predložiti skup poboljšanja koja bi, ako se implementiraju, mogla značajno povećati kvalitetu iskustva učenja. Važno je naglasiti da se u ovome radu ne opisuje tehnička realizacija tih unapređenja, nego se daje pregled što bi se trebalo poboljšati kako bi platforma bila učinkovitija i prilagođenija potrebama modernog učenika.

2. METODOLOGIJA

Kako bi se dobio sveobuhvatan i objektivan uvid u funkcionalnosti i mogućnosti platforme *Loomen*, u ovom istraživanju primijenjen je kombinirani pristup koji uključuje analizu dostupnih materijala, vlastito iskustveno korištenje platforme, usporednu analizu s drugim LMS rješenjima te prikupljanje povratnih informacija od stvarnih korisnika. (Hoić-Božić & Holenko

Dlab, 2015). Cilj ovakvog pristupa bio je identificirati ne samo koje su funkcionalnosti trenutno dostupne, nego i koji su njihovi stvarni učinci na proces učenja i poučavanja. Na taj način stvorena je čvrsta osnova za formuliranje prijedloga unapređenja.

Prvi korak metodologije bio je detaljan pregled same platforme (slika 1). Kreiran je testni korisnički račun u ulozi profesora i učenika, čime je omogućeno potpuno ispitivanje svih dostupnih opcija. Sistematski su istražene funkcionalnosti kao što su: kreiranje i pregled nastavnih materijala, izrada i provođenje online testova, dodjela zadataka i prikupljanje učeničkih radova, pregled ocjena, komunikacija putem foruma i privatnih poruka, kao i integracija multimedijalnih sadržaja (slike, dokumenti, video).



Slika 23-Početa stranica Loomen-a iz nastavnog predmeta informatika

Posebna pažnja posvećena je preglednosti korisničkog sučelja, responzivnosti sustava te mogućnosti korištenja platforme na mobilnim uređajima, budući da se upravo ti aspekti najčešće ističu kao izazovni u praksi.

Drugi važan segment metodologije bio je prikupljanje podataka od krajnjih korisnika – učenika i profesora (slika 2). Kreirana je kratka anketa koja je distribuirana među učenicima i nekoliko profesora gimnazije. Pitanja su obuhvaćala učestalost korištenja *Loomen*-a, razinu zadovoljstva pojedinim funkcionalnostima (pregled materijala, testovi, komunikacija), poteškoće na koje nailaze, kao i prijedloge za poboljšanja. Na ovaj način dobivena je kvalitativna i kvantitativna podloga koja odražava stvarno korisničko iskustvo, a ne samo teorijski opis sustava.



Slika 24-Učenci gimnazije uključeni u anketu o funkcionalnosti Loomena

Osim prikupljanja mišljenja korisnika, provedena je i usporedna analiza s nekoliko drugih popularnih LMS sustava, među kojima se ističu *Moodle* (na kojem se *Loomen* temelji), *MS Teams* i *Google Classroom*. Analiza je uključivala pregled njihovih funkcionalnosti, načina integracije s drugim alatima i fleksibilnosti prilagodbe potrebama profesora. Ova usporedba bila je korisna kako bi se uočile prednosti koje *Loomen* već posjeduje, ali i kako bi se identificirale funkcionalnosti koje su u drugim sustavima bolje riješene, a mogle bi se u budućnosti uvesti i u *Loomen*.

Podaci su potom kategorizirani prema tri glavne skupine: tehničke značajke (stabilnost sustava, brzina učitavanja, mobilna podrška), pedagoške značajke (mogućnosti praćenja napretka, motivacija učenika, interaktivnost) i korisničko iskustvo (preglednost sučelja, jednostavnost korištenja, komunikacijske mogućnosti). Ova kategorizacija pomogla je da se jasno razdvoje problemi koji proizlaze iz tehničkih ograničenja sustava od onih koji su vezani uz didaktički dizajn i organizaciju sadržaja.

Na temelju tako prikupljenih i analiziranih podataka izrađena je lista funkcionalnosti koje su *Loomen*-u trenutno dostupne (tabela 1), te zasebna lista nedostataka i potencijalnih unapređenja (tabela 2).

Tabela 1. Trenutne funkcionalnosti Loomena

Funkcionalnost	Opis
Pregled nastavnih materijala	Učenici mogu pristupiti dokumentima (PDF, Word, PPT) i multimedijalnim datotekama koje učitelji objavljuju.
Predaja zadaća	Omogućeno je postavljanje i predaja zadataka unutar zadanih rokova.
Testovi i kvizovi	Kreiranje i rješavanje testova i kvizova s automatskim ocjenjivanjem.
Forum i interne poruke	Komunikacija između učenika i nastavnika putem diskusijskih foruma i privatnih poruka.
Ocjene i povratne informacije	Pregled ocjena i komentara nastavnika za svaki zadatak ili test.
Praćenje napretka	Pregled aktivnosti učenika, praćenje završetka lekcija i zadataka.

Tabela 2. Uočeni nedostaci i prijedlozi unapređenja

Uočeni nedostatak	Prijedlog unapređenja
Nepregledno korisničko sučelje	Redizajn sučelja s fokusom na jednostavniju navigaciju i moderniji izgled.
Otežana prijava i povremeni tehnički problemi	Stabilniji sustav i brža prijava, posebno u vrijeme velikog opterećenja.
Zastarjela komunikacija (forum, poruke)	Integracija modernog chat modula i mogućnosti video-komunikacije.
Nedostatak multimedijalnih sadržaja	Povećati upotrebu video-lekcija, interaktivnih kvizova i prezentacija.
Slaba mobilna verzija	Potpuna optimizacija za mobilne uređaje i tablete.
Nedovoljna mogućnost samoocjenjivanja	Uvođenje modula za samoprovjeru i ponavljanje gradiva.

Iako se u ovom radu ne prikazuje način na koji bi se tehnička rješenja implementirala, navedene preporuke služe kao smjernice za daljnji razvoj platforme i mogu poslužiti kao polazište budućim istraživačima i informatičarima koji rade na unaprjeđenju sustava.

Takav sveobuhvatan metodološki pristup osigurava da analiza nije ograničena samo na osobni dojam autora, nego se temelji na kombinaciji iskustvenih podataka, anketa i komparativnih analiza. Na taj način rezultati imaju veću vjerodostojnost i mogu se smatrati reprezentativnima za širu populaciju korisnika platforme.

Sam tok istraživanja i njegove faze su prikazane na slici 3.



Slika 25-Dijagram toka istraživanja

3. REZULTATI I ANALIZA PODATAKA

Na temelju provedene analize funkcionalnosti platforme *Loomen*, kao i ankete provedene među učenicima i profesorima, dobiven je sveobuhvatan pregled trenutnog stanja sustava. Rezultati su prikazani u nekoliko tematskih cjelina koje obuhvaćaju dostupne funkcionalnosti, najčešće probleme u radu s platformom, učestalost korištenja i prijedloge korisnika za poboljšanja.

3.1. Trenutno dostupne funkcionalnosti

Platforma *Loomen* omogućuje širok raspon aktivnosti koje podržavaju nastavni proces. Među najznačajnijima izdvajaju se:

- **Pregled nastavnih materijala** – Profesori mogu postavljati nastavne sadržaje u obliku MS *Word* dokumenata, MS *PowerPoint* prezentacija, PDF datoteka, slika i poveznica na vanjske izvore. Materijali su organizirani po temama i tjednima, što olakšava praćenje nastavnog plana.
- **Izrada i provođenje testova** – Funkcionalnost izrade kvizova i testova omogućuje nastavnicima kreiranje različitih tipova pitanja: višestruki izbor, točno/netočno, dopunjavanje i esej. Sustav automatski boduje pitanja zatvorenog tipa, dok se pitanja otvorenog tipa ocjenjuju ručno.
- **Predaja i ocjenjivanje zadataka** – Učenici mogu elektronički predavati svoje radove, a nastavnici ih pregledavaju i ocjenjuju unutar sustava. Prednost je mogućnost dodavanja povratne informacije uz svaku predaju, čime se potiče komunikacija između učenika i nastavnika.
- **Komunikacija** – *Loomen* nudi forum za svaku nastavnu jedinicu, mogućnost slanja privatnih poruka te obavijesti o nadolazećim aktivnostima. Time se omogućava barem osnovna interakcija među sudionicima.
- **Praćenje napretka učenika** – Nastavnici imaju uvid u pregled aktivnosti i rezultata svojih učenika, što im olakšava praćenje napretka i pravovremeno reagiranje na poteškoće u učenju.
- **Integracija multimedije** – Sustav podržava umetanje videozapisa i drugih multimedijalnih sadržaja, što omogućava dinamičnije i interaktivnije učenje.

Iako ove funkcionalnosti čine čvrstu osnovu za provođenje nastave na daljinu, njihova kvaliteta i intuitivnost korištenja variraju.

3.2. Učestalost korištenja i zadovoljstvo korisnika

Rezultati ankete provedene među učenicima i profesorima pokazali su da *Loomen* koriste redovito, no učestalost varira ovisno o predmetu i nastavniku. Tako je 68 % učenika izjavilo je da se platformom služe barem jednom tjedno, njih 24% nekoliko puta tjedno dok samo 1 % njih koristi *Loomen* svakodnevno. Profesori uglavnom koriste sustav za objavu nastavnih materijala i provođenje testova, dok je korištenje foruma i komunikacijskih alata znatno rjeđe.

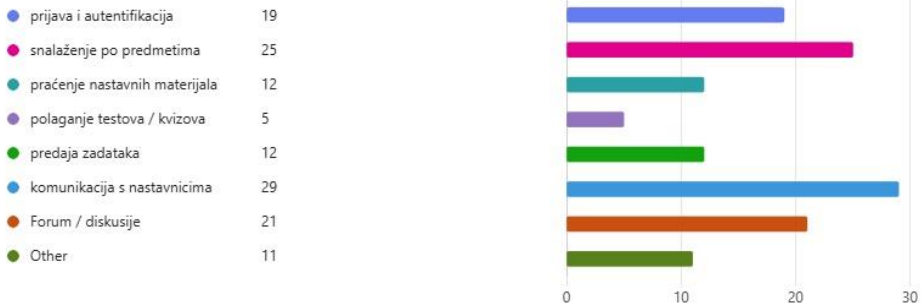
Zadovoljstvo korisnika podijeljeno je: većina učenika cijeni mogućnost brzog pristupa materijalima i činjenicu da ne moraju ovisiti o fizičkoj prisutnosti u školi. Međutim, dio učenika i nastavnika navodi probleme sa stabilnošću sustava u trenucima kada je opterećen velikim brojem korisnika (posebno u vrijeme ispitnih rokova). Također, ističu da je mobilna verzija platforme nedovoljno optimizirana, što otežava rad na pametnim telefonima.

3.3. Identificirani problemi

Na temelju analize i povratnih informacija korisnika, izdvojeni su glavni problemi u korištenju *Loomena* (slika 4):

- **Složenost korisničkog sučelja** – Učenici se često žale da im je teško pronaći sve materijale ili zadatke, osobito kada predmeti imaju više tema i aktivnosti. Sučelje se mnogima čini prenatrpano i nepregledno.
- **Tehnička nestabilnost** – U vršnim opterećenjima sustav zna biti spor, a ponekad i nedostupan. Ovo pojedinim profesorima i učenicima stvara frustraciju, osobito u kritičnim trenucima, primjerice tijekom ispita.
- **Ograničene mogućnosti komunikacije** – Forum i privatne poruke nisu intuitivni niti dovoljno brzi, zbog čega se komunikacija između učenika i nastavnika često odvija putem vanjskih aplikacija (*Viber*, *WhatsApp*).
- **Manjak interaktivnih sadržaja** – Iako postoji podrška za multimediju, u praksi se ona rijetko koristi. Većina materijala su PDF-ovi i Word dokumenti, dok su video lekcije i interaktivne simulacije slabo zastupljene.
- **Nedostatak modula za samoocjenjivanje** – Sustav ne nudi jednostavnu opciju za brzu provjeru znanja kroz neocjenjivane kvizove ili mini-testove, što bi učenicima omogućilo samostalno praćenje napretka.

Koji su vam dijelovi sustava najteže za korištenje?



Slika 26-Najteži dijelovi sustava za korištenje korisnicima

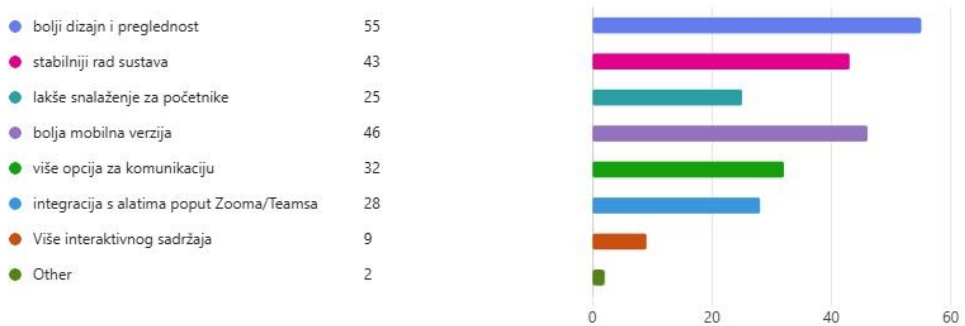
3.4. Prijedlozi za poboljšanja

Na temelju prikupljenih rezultata mogu se formulirati prijedlozi za poboljšanje *Loomena* (slika 5):

- **Redizajn korisničkog sučelja** kako bi se pojednostavio prikaz predmeta i materijala, uz mogućnost personalizacije (filtriranje tema, isticanje rokova)
- **Unapređenje mobilne verzije** kako bi se rad na mobilnom telefonu približio funkcionalnosti rada na računalu.
- **Stabilniji rad sustava kroz bolju optimizaciju servera** i smanjenje zastoja tijekom vršnih opterećenja.
- **Razvoj modula za samoocjenjivanje** koji bi učenicima omogućio brzu i anonimnu provjeru znanja.
- **Poticaj za korištenje multimedijalnih sadržaja** – kroz edukaciju nastavnika i stvaranje predložaka za izradu interaktivnih lekcija.
- **Bolji komunikacijski alati** – mogućnost bržeg i preglednijeg slanja poruka te uvođenje grupnih chatova za razrede ili projekte.

Ovi rezultati pokazuju da *Loomen* posjeduje čvrstu osnovu za provođenje nastave na daljinu, ali da postoji prostor za značajno unapređenje kako bi se povećala učinkovitost i zadovoljstvo korisnika.

Što bi najviše unaprijedilo platformu Loomen? (Možete označiti više odgovora)



Slika 27-Prijedlozi unapređenja platforme Loomen

4. DISKUSIJA

Analizom prikupljenih podataka o korištenju *Loomen*-a dobili smo jasniju sliku o tome kako učenici i nastavnici doživljavaju ovu platformu. Iako rezultati pokazuju da većina korisnika redovito koristi *Loomen* i smatra ga korisnim alatom za nastavu, iskustva su često podijeljena. Tijekom provedene stručne prakse u gimnaziji osobno sam imao priliku raditi na *Loomen* sustavu, pripremati materijale i pratiti aktivnosti učenika, pa sam mogao iz prve ruke vidjeti kako platforma funkcionira u stvarnom okruženju. To iskustvo mi je pomoglo da rezultate istraživanja promatram ne samo kroz brojke nego i kroz konkretne situacije koje su se događale na satu.

Najveća prednost *Loomen*-a i dalje je njegova dostupnost – učenici mogu rješavati zadatke i izvan učionice, čak i kasno navečer, što se pokazalo posebno korisnim za one koji uče vlastitim tempom. S druge strane, u razgovoru s profesorima primijetio sam da mnogi izražavaju frustraciju zbog povremenih tehničkih poteškoća, sporosti sustava ili problema s prijavom. To se poklopilo i s rezultatima ankete, gdje je upravo stabilnost rada sustava bila među najčešće spominjanim nedostacima.

Još jedno zanimljivo zapažanje je da učenici cijene kada materijali nisu samo u obliku PDF-a, već uključuju i videozapise, interaktivne kvizove i vizualne prezentacije. Na temelju svog rada na praksi primijetio sam da učenici daleko bolje reaguju na multimedijalne sadržaje – više sudjeluju, brže odgovaraju na zadatke i imaju veću motivaciju. To potvrđuje i pomoćnu hipotezu o važnosti raznolikosti nastavnih materijala.

Kada usporedimo rezultate s drugim LMS sustavima, poput *Moodle*-a ili *MS Teams*-a, jasno se vidi da *Loomen* ima solidne temelje, ali mu nedostaje moderan i intuitivan dizajn. Studenti i profesori u svijetu navikli su na jednostavna, “čista” sučelja – ono što *Loomen* ponekad nema. Smatram da bi redizajn korisničkog sučelja, uz stabilniji rad i bolju mobilnu verziju, značajno poboljšao iskustvo korisnika i time potvrdio glavnu hipotezu rada.

Na kraju, diskusija pokazuje da je *Loomen* dobra platforma za učenje – dapače, već sada je to središnji alat e-učenja u hrvatskim školama. No, potencijal za unapređenje je velik, posebno u segmentima motivacije učenika, komunikacije i tehničke stabilnosti. Kao student i budući

profesor, vjerujem da bi implementacija predloženih promjena dovela do veće motivacije učenika, boljeg usvajanja znanja i veće učinkovitosti cijelog sustava.

5. ZAKLJUČAK

Provedenim istraživanjem dobili smo sveobuhvatan uvid u trenutačno stanje Loomen platforme i iskustva njezinih korisnika. Na temelju anketa i vlastitog rada na praksi, jasno se vidi da je Loomen postao nezaobilazan alat u nastavi na daljinu i hibridnom učenju, što je u skladu s nalazima [1] koji naglašavaju važnost e-učenja i LMS platformi za povećanje dostupnosti obrazovnih materijala. Njegove osnovne funkcionalnosti – pregled materijala, izrada i rješavanje testova, komunikacija putem foruma – dobro su prihvaćene među učenicima i nastavnicima, što potvrđuju i [5], ističući da osnovne funkcionalnosti LMS-a poboljšavaju pedagoški učinak platforme.

Međutim, brojni komentari ispitanika pokazali su da sustav još uvijek ima prostora za napredak. Glavna hipoteza – da poboljšanje korisničkog sučelja povećava učinkovitost i zadovoljstvo učenika – potvrđena je i kroz rezultate anketa i kroz moje iskustvo na praksi, a s time se slažu i [3], koji navode da jednostavno i intuitivno sučelje povećava motivaciju i samostalnost učenika. Većina učenika i profesora istaknula je potrebu za jednostavnijim, intuitivnijim sučeljem, koje bi omogućilo brže snalaženje i manju frustraciju.

Pomoćna hipoteza o uvođenju modula za samoocjenjivanje također je dobila potporu, budući da učenici žele imati mogućnost da sami provjere svoje znanje i prate napredak bez čekanja povratne informacije nastavnika, što podržava tezu [2] o važnosti samostalnog učenja i interaktivnog sadržaja. Integracija različitih tipova sadržaja (MS Word, MS PPT, video) pokazala se kao iznimno važna; na praksi je primijećeno da su učenici aktivniji i više uključeni kad je sadržaj interaktivan i vizualno atraktivan, što također potvrđuje [2].

Posljednja pomoćna hipoteza o stabilnijem radu sustava i boljoj mobilnoj verziji dobila je najviše komentara. Mnogi učenici su naglasili da im problemi s prijavom ili sporost platforme otežavaju rad, što je u skladu s nalazima [3], koji ističu tehničke izazove u LMS-ovima, uključujući stabilnost i mobilnu pristupačnost, kao ključni faktor u korisničkom iskustvu.

Implementacija predloženih poboljšanja značajno unaprijedila iskustvo učenja, smanjila tehničke prepreke i povećala angažiranost učenika, a metodološki pristup provođenju istraživanja i analizi anketa podržava [4]. Preporuka za daljnja istraživanja uključuje provođenje pilot-projekata s novim funkcionalnostima, praćenje njihovog utjecaja na uspjeh učenika te prikupljanje povratnih informacija nastavnika i učenika kroz dulje vremensko razdoblje.

LITERATURA

- [1] Ž. Stanković i M. Petrović, *E-učenje*, Banja Luka: Panevropski univerzitet Apeiron, 2016.
- [2] M. Čukušić i M. Jadrčić, *E-učenje: koncept i primjena*, Zagreb: Školska knjiga, 2012.
- [3] N. Hoić-Božić i M. Holenko Dlab, *Uvod u e-učenje: obrazovni izazovi digitalnog doba*, Rijeka: Sveučilište u Rijeci, Odjel za informatiku, 2021.
- [4] R. Zelenika, *Metodologija i tehnologija izrade znanstvenog i stručnog djela*, Rijeka: Ekonomski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2000.
- [5] D. Bjekić, R. Krmeta i D. Milosević, "Pedagoški aspekti upotrebe LMS-a u obrazovanju,"



XVII međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2025

Banja Luka, 26 - 27. 9. 2025. godine



IZRADA SOFTVERSKOG RJEŠENJA ZA EVIDENCIJU I UPRAVLJANJE PODACIMA U DJEČIJEM VRTIĆU

Milijana Čaturilo

Panevropski univerzitet APEIRON, Banja Luka, milijana.cuturilo1@apeiron-edu.eu

Dalibor P. Drljača

Panevropski univerzitet APEIRON, Banja Luka, dalibor.p.drljaca@apeiron-edu.eu

Sažetak: Cilj ovog rada bio je razvoj aplikacije za evidenciju i upravljanje podacima u dječijem vrtiću, s fokusom na pouzdanost, jednostavnost korištenja i sigurnost informacija. Za izradu aplikacije korišten je programski jezik Java u razvojnom okruženju NetBeans, MySQL baza podataka te Visual Paradigm za modelovanje i vizualizaciju funkcionalnosti sistema. Primijenjen je vodopadni model razvoja softvera, kroz jasno definisane faze: analiza zahtjeva, projektovanje, implementacija, testiranje, isporuka i održavanje. Aplikacija omogućava unos, pregled i ažuriranje podataka o djeci, roditeljima, zaposlenima, grupama i učionicama, kao i evidenciju uplata i generisanje izvještaja. Tokom testiranja potvrđena je stabilnost i funkcionalnost softvera, dok su faze isporuke i održavanja osigurale nesmetano korištenje i zaštitu podataka. Ova aplikacija predstavlja praktično rješenje za upravljanje administrativnim poslovima u vrtiću, olakšavajući rad zaposlenih i poboljšavajući njihovu efikasnost.

Ključne riječi - Aplikacija za vrtić, Vodopadni model, Baza podataka, Upravljanje korisnicima

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE SOLUTION FOR RECORDING AND DATA MANAGEMENT IN A KINDERGARTEN

Abstract :The goal of this paper was the development of an application for records and data management in kindergarten, with a focus on reliability, ease of use and information security. To create the application, the Java programming language was used in the NetBeans development environment, the MySQL database and Visual Paradigm for modeling and visualizing the functionality of the system. The waterfall model of software development was applied, through clearly defined phases: requirements analysis, design, implementation, testing, delivery and maintenance. The application enables input, review and updating of data on children, parents, employees, groups and classrooms, as well as records of payments and generation of reports. During testing, the stability and functionality of the software was confirmed, while the delivery and maintenance phases ensured smooth use and data protection. This application represents a practical solution for managing administrative tasks in the kindergarten, facilitating the work of employees and improving their efficiency.

Keywords: Kindergarten application, Waterfall model, Database, User management

1. UVOD

Dječji vrtići imaju važnu ulogu u obrazovanju i vaspitanju djece, ali njihovo svakodnevno funkcionisanje zahtijeva i vođenje obimne dokumentacije koja se vodi ručno ili pomoću

jednostavnih tabela. Vođenje evidencije o upisima, prisustvu djece, dnevnim aktivnostima, uplatama na ovaj način dovodi do čestih grešaka i otežava rad zaposlenih. S obzirom na to da su brzina rada i efikasnost od izuzetnog značaja u poslovanju, tradicionalni modeli vođenja poslovne dokumentacije se sve više zamjenjuju digitalizacijom. Na taj način postiže se automatizacija i poboljšava efikasnost kako u predškolskom obrazovanju, tako i u ostalim oblastima poslovanja.

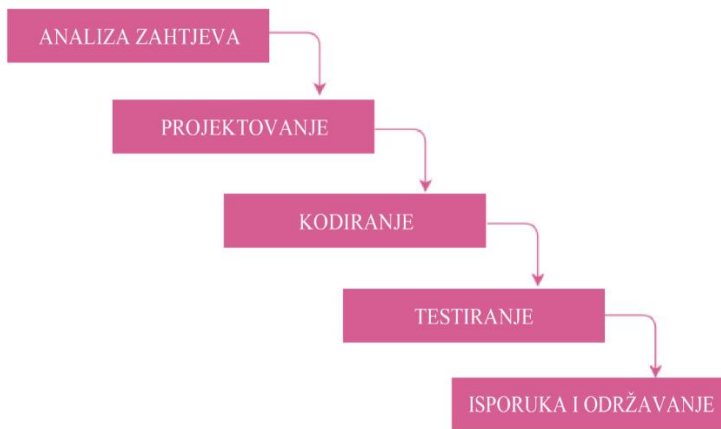
U ovom radu biće predstavljena izrada aplikacije za dječiji vrtić, koja omogućava upravljanje podacima o korisnicima, njihovim roditeljima, zaposlenima, uplatama. Glavni cilj ovog rada jeste prikazati kako se proces razvoja može realizovati kroz poznatu metodologiju softverskog inženjeringa vodopadni model. Kroz analizu ovog pristupa, biće prikazane njegove prednosti i nedostaci u kontekstu razvoja ove aplikacije.

Cilj same aplikacije je unapređenje administrativnog i organizacionog rada u dječjim vrtićima kroz jednostavno i efikasno softversko rješenje. Aplikacija će omogućiti automatsko vođenje evidencije o djeci, praćenje uplata, planiranje aktivnosti, kao i olakšanu komunikaciju sa roditeljima. Na ovaj način, zaposlenima će biti omogućeno bolje upravljanje podacima. Svrha izrade aplikacije je olakšavanje rada vrtića i poboljšanje kvaliteta usluga koje pružaju.

Prvo će biti pružen pregled softverskog inženjeringa i metoda razvoja softvera, s posebnim fokusom na najčešće korištene modele razvoja. Posebna pažnja biće usmjerena na vodopadni model, budući da je upravo on primijenjen u izradi aplikacije za dječiji vrtić. Dalji tok rada obuhvata detaljan prikaz faza ovog modela od analize zahtjeva, preko projektovanja i kodiranja, pa sve do testiranja i održavanja uz naglasak na to kako je svaka od ovih faza konkretno primijenjena u razvoju aplikacije.

2. PRIMJENA VODOPADNOG MODELA U IZRADI APLIKACIJE

Vodopadni model razvoja softvera sastoji se od jasno definisanih faza. Svaka faza ima svoju posebnu ulogu i donosi rezultat koji se koristi kao osnova za sljedeći korak u razvoju. Ovaj linearan pristup olakšava praćenje napretka i organizaciju rada, jer omogućava da se svaka faza završi prije nego što se pređe na narednu, čime se cijeli proces razvoja softvera odvija kontrolisano i sistematično. Za izradu aplikacije korištene su tehnologije Java (NetBeans), MySQL baza podataka i Visual Paradigm za UML dijagrame, što je omogućilo stabila i pregledan razvoj te jednostavne buduće nadogradnje sistema.



Slika 28. Faze vodopadnog modela

2.1. Analiza zahtjeva

Analiza zahtjeva predstavlja prvi i jedan od najvažnijih koraka u razvoju softvera. Cilj ove faze je temeljno razumijevanje poslovnog problema koji aplikacija treba da riješi i precizno definisanje funkcionalnosti koje sistem mora da pruži. U ovoj fazi, razvojni tim intenzivno je saradivao sa svim zainteresovanim stranama koje uključuju krajnje korisnike, menadžere, administratore i druge učesnike projekta kako bi se identifikovali ključni entiteti i aktivnosti sistema, njihovi međusobni odnosi, kao i ograničenja koja mogu uticati na dizajn i implementaciju.

Za aplikaciju dječijeg vrtića prikupljene su informacije o svakodnevnom radu vrtića i administrativnim procedurama koje zaposleni obavljaju. Identifikovane su glavne funkcionalnosti koje aplikacija mora obuhvatiti: evidencija djece i roditelja, administracija zaposlenih, upravljanje grupama i učionicama, praćenje uplata te sigurnost pristupa. Pored funkcionalnih zahtjeva, analizirani su i nefunkcionalni zahtjevi: sigurnost podataka (posebno osjetljivih informacija o djeci i roditeljima), pouzdanost sistema, brzina pretrage i jednostavnost korišćenja.

Rezultat ove faze je dokument specifikacije zahtjeva, koji detaljno opisuje funkcionalnosti, ograničenja i pravila poslovnog procesa. Ovaj dokument služi kao temelj za projektovanje, implementaciju i testiranje softvera. [1]

2.2. Projektovanje

Nakon završene faze analize zahtjeva, prelazi se na projektovanje sistema i programa gdje se definiše struktura sistema, identifikuju glavni moduli i planira kako će oni međusobno komunicirati. Cilj je kreirati jasan i detaljan plan koji će olakšati samu implementaciju i osigurati da sve funkcionalnosti budu pravilno integrisane. [1]

Za aplikaciju dječijeg vrtića definisano je nekoliko ključnih modula, koji zajedno čine cijeli sistem: modul za evidenciju djece, modul za podatke o roditeljima, modul za administraciju zaposlenih, modul za upravljanje grupama i učionicama, te modul za praćenje uplata. Svaki

modul je planiran tako da bude funkcionalno samostalan, ali i povezan sa ostalim dijelovima sistema, čime se osigurava jednostavna razmjena podataka i preglednost cijelog sistema. Posebna pažnja posvećena je korisničkom interfejsu, jer aplikacija treba da bude jednostavna i intuitivna za zaposlene u vrtiću. Planirane su stranice za login, pregled spiska djece i zaposlenih po grupama i učionicama, unos novih korisnika i ažuriranje postojećih podataka, kao i pregled roditelja sa mogućnošću pretrage i unosa prilikom upisa djece. Modul za uplate omogućava evidentiranje uplata, ažuriranje i pregled mjesečnih i godišnjih finansijskih podataka, čime se osigurava potpuna administracija finansija vrtića unutar aplikacije.

U ovoj fazi takođe se kreiraju dijagrami slučajeva korištenja (Use Case Diagram), dijagrami aktivnosti (Activity Diagram) i dijagrami sekvence (Sequence Diagram) pomoću alata Visual Paradigm. Ovi dijagrami vizualizuju sve funkcionalnosti sistema, odnose između modula i tok podataka, čime se smanjuje mogućnost grešaka tokom implementacije. Projektovanje uključuje i planiranje veza sa MySQL bazom podataka, tako da svi podaci o djeci, roditeljima, zaposlenima i uplatama budu sigurno pohranjeni i lako dostupni. Dobar dizajn osigurava da aplikacija bude skalabilna i fleksibilna, omogućavajući buduće nadogradnje i prilagođavanja prema promjenama u potrebama vrtića.

Projektovanje na ovaj način postavlja temelje za narednu fazu kodiranja, tj. implementaciju programa, gdje planirani moduli i funkcionalnosti prelaze u stvarni kod i postaju operativan softver. [1]

2.3. Kodiranje

Kodiranje odnosno implementacija sistema predstavlja fazu u kojoj se prethodno definisani zahtjevi i projektovani modeli prevode u programski kod. Ovo je trenutak kada softver oživljava, jer se ideje, dijagrami i planovi pretvaraju u funkcionalnu aplikaciju. Tokom ove faze, programeri koriste odabrane programske jezike i alate kako bi implementirali sve funkcionalnosti predviđene u dokumentaciji i dizajnu. Kvalitet koda ima ogroman uticaj na kasniji rad sistema jer direktno utiče na testiranje, održavanje i dalji razvoj. Zato se u ovoj fazi pridaje posebna pažnja organizaciji koda, njegovoj dokumentaciji i poštovanju standarda programiranja. Proces otklanjanja grešaka (debugovanje) osigurava da sve funkcionalnosti rade u skladu sa očekivanjima. [1]

Kodiranje aplikacije za dječiji vrtić realizovano je korištenjem programskog jezika Java, u razvojnom okruženju NetBeans. U ovoj fazi implementirane su funkcionalnosti sistema prema prethodno definisanim zahtjevima i projektovanim dijagramima, uključujući unos i prikaz podataka o djeci, roditeljima, zaposlenima, grupama i učionicama. Posebna pažnja posvećena je implementaciji stranica koje su ključne za rad zaposlenih u vrtiću:

- **Login stranica**, gdje se vrši provjera korisnika i kontrola pristupa.
- **Stranica „Djeca“**, na kojoj je omogućeno dodavanje novog djeteta, ažuriranje podataka, kao i povezivanje sa roditeljima.
- **Stranica „Roditelji“**, koja daje tabelarni prikaz podataka o roditeljima, sa mogućnošću pretrage.
- **Stranica „Zaposleni“**, gdje se evidentiraju i uređuju podaci o vaspitačima i drugim radnicima.
- **Stranica „Uplate“**, koja omogućava unos, ažuriranje i pregled uplata, uključujući mjesečne i godišnje izvještaje.

Pored izrade funkcionalnosti u aplikaciji, tokom kodiranja je realizovana i povezanost sa MySQL bazom podataka. To je omogućilo da se podaci iz aplikacije trajno čuvaju i da zaposleni mogu jednostavno da ih ažuriraju i pretražuju. Implementirane su procedure za upis djeteta u vrtić i za evidenciju uplata, kao i funkcija za automatsko računanje godina djeteta. Sve funkcionalnosti su testirane u toku samog procesa pisanja koda, što je osiguralo stabilan i funkcionalan rad aplikacije prije same faze formalnog testiranja.

2.4. Testiranje

Testiranje predstavlja još jednu važnu fazu u razvoju softvera, jer se njome provjerava da li aplikacija funkcioniše onako kako je planirano u prethodnim fazama. Cilj testiranja nije samo da se pronađu greške, već i da se potvrdi da softver ispunjava sve definisane zahtjeve i da pruža korisnicima pouzdano i stabilno iskustvo.

Testiranje predstavlja most između kodiranja i konačne isporuke softvera. U ovoj fazi tim provjerava kako pojedinačni moduli rade zasebno, ali i kako međusobno komuniciraju. Postoji više vrsta testiranja, a najčešće su: Jedinično testiranje (provjera ispravnosti manjih dijelova koda), integraciono testiranje (provjera kako različiti dijelovi sistema funkcionišu zajedno), sistemsko testiranje (testiranje cijele aplikacije kao jedne cjeline, uz simulaciju stvarnog korištenja) i prihvatno testiranje (provodi ga krajnji korisnik ili tim u njegovoj ulozi, kako bi se utvrdilo da li softver zadovoljava sve potrebe i očekivanja). [1]

Pored pronalaska grešaka, testiranje omogućava i procjenu performansi aplikacije, sigurnosti i upotrebljivosti. Dobro sprovedeno testiranje je garancija kvaliteta, jer smanjuje rizik od problema tokom stvarnog korištenja.

U razvoju aplikacije za dječiji vrtić testiranje je imalo ulogu u osiguravanju da sve funkcionalnosti rade onako kako je predviđeno u analizi i projektovanju. Na početku je sprovedeno jedinično testiranje, gdje su pojedinačni dijelovi koda provjeravani nezavisno. Na primjer, testirane su funkcije koje izračunavaju godine djeteta na osnovu datuma rođenja, validacija unosa podataka o roditelju (da li su uneseni broj telefona ili e-mail u ispravnom formatu) i unos uplata u bazu podataka. Ovo je omogućilo rano otkrivanje manjih grešaka, poput pogrešnih SQL upita ili nelogičnih uslova u kodu. Tokom integracionog testiranja provjeravane su veze između različitih modula aplikacije. Poseban akcenat stavljen je na komunikaciju između aplikacije i baze podataka. Testirano je da li se nakon unosa novog djeteta automatski ažurira lista u modulu za roditelje ili da li se uplata pravilno veže za odgovarajuće dijete i prikazuje u izvještajima. Sistemsko testiranje omogućilo je da se cijela aplikacija ispita kroz realne scenarije. Testirani su najčešći slučajevi korištenja kao što su dodavanje nove djece, uređivanje podataka o roditeljima, kreiranje rasporeda grupa, vođenje evidencije zaposlenih i bilježenje uplata. [1] Na kraju je sprovedeno i prihvatno testiranje, koje su obavili krajnji korisnici, administrativno osoblje i vaspitači. Oni su koristili aplikaciju sa probnim podacima i davali povratne informacije o njenoj funkcionalnosti i preglednosti. [3]

Testiranjem je potvrđeno da aplikacija radi stabilno i da može pouzdano služiti kao podrška svakodnevnim poslovima u dječijem vrtiću. Greške koje su otkrivene u ovoj fazi otklonjene su prije konačne isporuke, čime je osigurano da krajnji korisnici dobiju kvalitetan i funkcionalan softver.

2.5. Isporuca i održavanje

Faza isporuke podrazumijevala je postavljanje baze podataka na produkcionu server, migraciju podataka i instalaciju aplikacije na korisničke računare, kao i obuku korisnika i predaju dokumentacije. Nakon instalacije unijeti su početni podaci, migrirani postojeći zapisi iz Excel tabela i kreirani korisnički nalozi sa jasno definisanim privilegijama. Kreirani su korisnički nalozi sa različitim nivoima pristupa, kako bi se osigurala kontrola nad podacima i spriječilo njihovo neovlašteno korištenje. Kako bi korisnici mogli nesmetano koristiti aplikaciju, pripremljena je i predata dokumentacija, uključujući korisnički i administratorski priručnik. Organizovana je i obuka zaposlenih, pri čemu je osoblje administracije upoznato sa funkcijama za unos uplata i upravljanje evidencijama, dok su vaspitači obučeni za korištenje opcija pregleda i pretrage podataka. Po završetku ovih aktivnosti izvršeno je prihvatno testiranje u kojem su simulirani realni scenariji rada, poput upisa novog djeteta, dodjeljivanja grupe, unosa uplata i izrade izvještaja. Nakon potvrde da aplikacija radi u skladu sa očekivanjima, sistem je zvanično predat vrtiću. [1]

Održavanje predstavlja najdužu fazu i obuhvata sve aktivnosti koje omogućavaju da sistem ostane funkcionalan, siguran i efikasan pri dugoročnom korištenju. To uključuje ispravke grešaka koje se pojave nakon puštanja u rad, prilagođavanje promjenama u tehničkom ili poslovnom okruženju, kao i unapređenja performansi ili korisničkog iskustva. Pored toga, u održavanje spadaju i preventivne aktivnosti poput redovnog pravljenja rezervnih kopija i praćenja rada sistema, koje smanjuju rizik od ozbiljnih kvarova. Aplikacija vodi detaljne logove grešaka i aktivnosti, koji se analiziraju radi brzog otklanjanja problema. Performanse sistema redovno se prate, naročito kod upita nad većim tabelama, a po potrebi se uvode optimizacije poput dodavanja indeksa ili refaktorisanja koda. Pored tehničkih aktivnosti, posebna pažnja posvećuje se bezbjednosti i privatnosti podataka. Korisnici aplikacije raspoređeni su u uloge, pa tako administratori imaju puna prava pristupa, dok vaspitači mogu pregledati samo podatke koji su njima potrebni. Definisana je politika lozinki i uvedene su mjere zaštite poput zaključavanja naloga nakon višestrukih neuspjelih pokušaja prijave. Na ovaj način osigurano je da osjetljivi podaci o djeci i roditeljima budu zaštićeni od neovlaštenog pristupa.

Kroz vrijeme mogu se javiti zahtjevi za izmjene i nadogradnje sistema. Neke promjene spadaju u korektivno održavanje, poput ispravljanja grešaka u prikazu izvještaja ili validaciji datuma u evidenciji uplata. Druge spadaju u adaptivno održavanje kad je npr. potrebno potrebno prilagoditi aplikaciju novoj verziji MySQL servera ili novim pravilnicima o organizaciji grupa. Održavanje u cilju unapređenja sistema uključuje poboljšanja performansi i funkcionalnosti, poput ubrzanja pretraga roditelja ili pojednostavljenja korisničkog interfejsa, dok preventivno održavanje obuhvata aktivnosti koje smanjuju buduće probleme, kao što su čišćenje logova, optimizacija backup procedura i refaktorisanje koda.

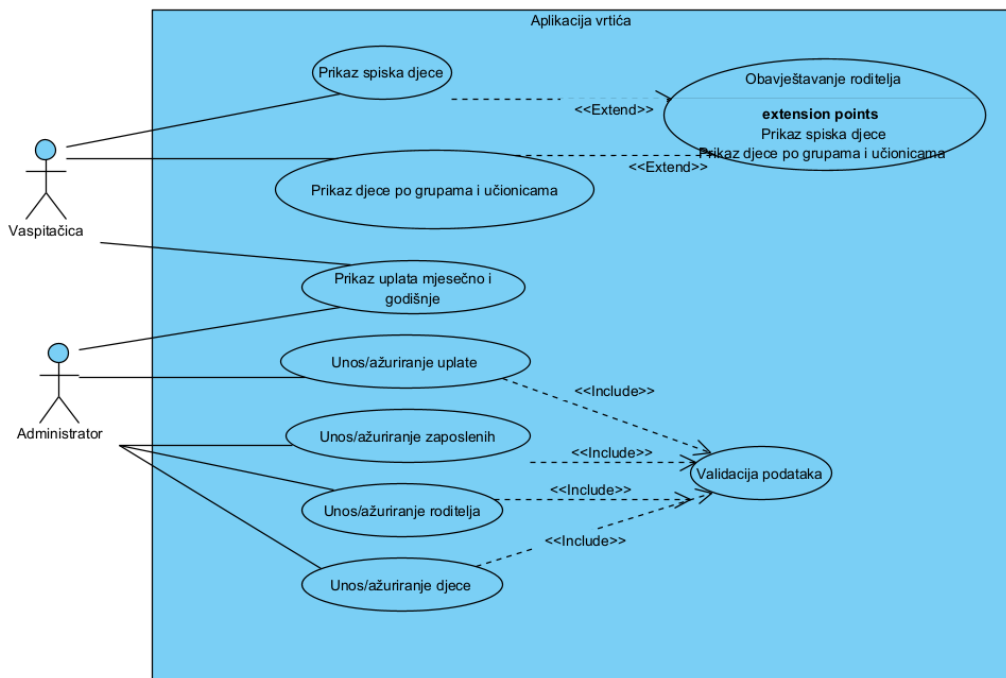
U ovoj fazi definisane su i ideje za buduća proširenja aplikacije, poput uvođenja portala za roditelje, evidencije prisustva djece ili slanja automatskih notifikacija putem e-maila i SMS-a. Iako nisu dio inicijalne verzije, planiranje unaprijed osigurava da aplikacija ostane skalabilna i spremna za nadogradnje kada se za to ukaže potreba.

3. ANALIZA FUNKCIONALNOSTI I EVALUACIJA SISTEMA

Nakon završetka svih faza razvoja aplikacije, izvršena je detaljna analiza funkcionalnosti sistema i provjerena usklađenost sa zahtjevima korisnika. Sistem omogućava evidenciju djece, roditelja, zaposlenih, uplata, grupa i učionica, kao i generisanje izvještaja i automatsko računanje starosti djeteta radi pravilnog raspoređivanja u grupe. Tokom evaluacije, testirani su ključni scenariji rada, uključujući upis novog djeteta, dodjeljivanje grupe, unos uplata i pregled podataka. Svi testovi su pokazali da sistem radi u skladu sa definisanim zahtjevima, a administrativni i korisnički nalozi funkcionišu prema zadanim privilegijama. Posebna pažnja posvećena je sigurnosti i zaštiti privatnih podataka, što je potvrđeno analizom logova aktivnosti i kontrolom pristupa. Performanse sistema su praćene prilikom rada sa većim količinama podataka, naročito u tabelama uplata i evidencija djece. Uočeno je da upiti za pretragu i generisanje izvještaja rade efikasno, a po potrebi su uvedene optimizacije kroz dodatne indekse i refaktorisanje koda. Dodatno je evaluacija je obuhvatila i korisničku stranu, gdje su administratori i vaspitači testirali upotrebljivost interfejsa. Povratne informacije su pokazale da je sistem intuitivan za korištenje, a dokumentacija i obuka korisnika doprinijeli su lakšem savladavanju funkcija aplikacije.

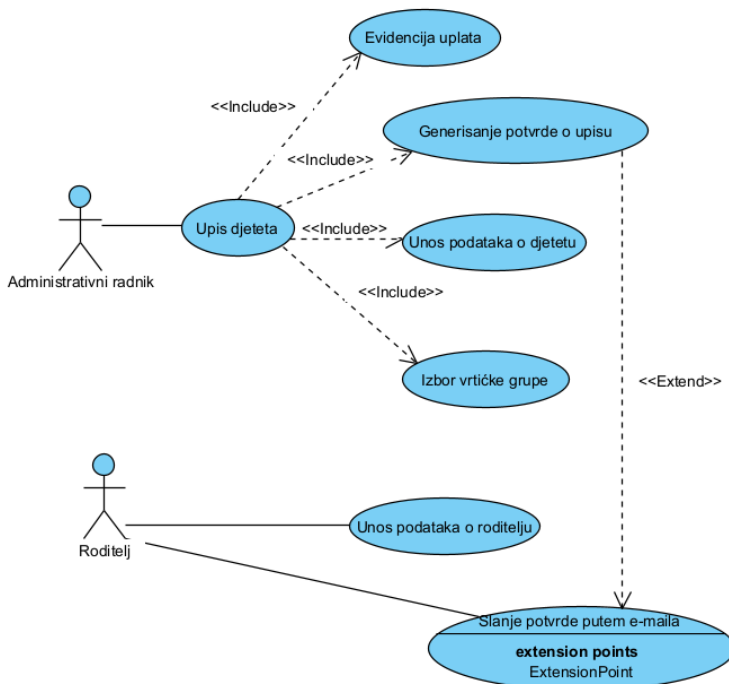
Za ilustraciju rada sistema kreirani su dijagrami koji vizualno prikazuju tokove podataka i interakciju korisnika sa sistemom:

1) Use Case dijagram sistema prikazuje sve ključne funkcionalnosti sistema iz perspektive korisnika (administrator i vaspitačica). Dijagram jasno pokazuje koje aktivnosti inicira administrator (administrativni radnik), a koje vaspitačica (Slika).



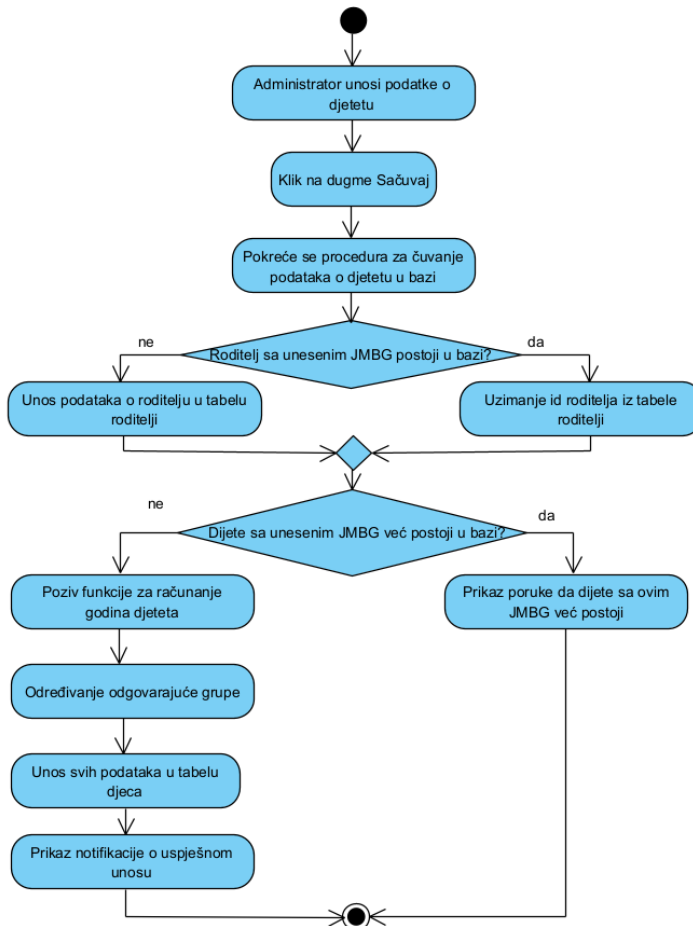
Slika 29. Dijagram slučajeva upotrebe sistema

2) Use Case dijagram za administratora prikazuje funkcionalnosti koje inicira administrator prilikom upisa djeteta, uključujući unos osnovnih podataka djeteta, dodjelu grupe i unošenje roditeljskih informacija. Dijagram jasno pokazuje tok aktivnosti koje administrator pokreće unutar sistema (Slika 5).



Slika 30. Dijagram slučajeva upotrebe za upis djeteta u vrtić

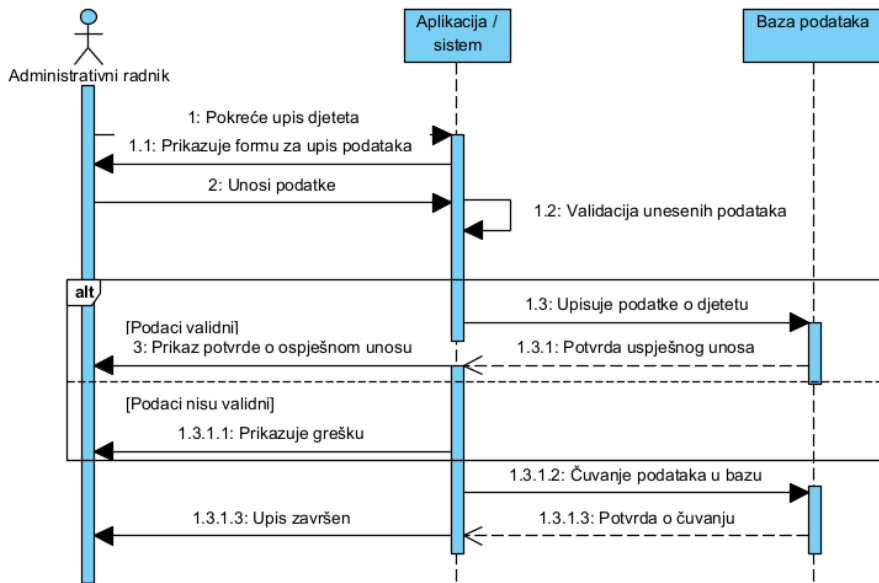
3) Dijagram aktivnosti detaljno prikazuje korake procesa upisa djeteta u vrtić, od unosa osnovnih podataka, dodjele grupe i unošenja roditeljskih informacija. Ovaj dijagram olakšava razumijevanje logičkog toka aktivnosti i kontrolu nad radom sistema.



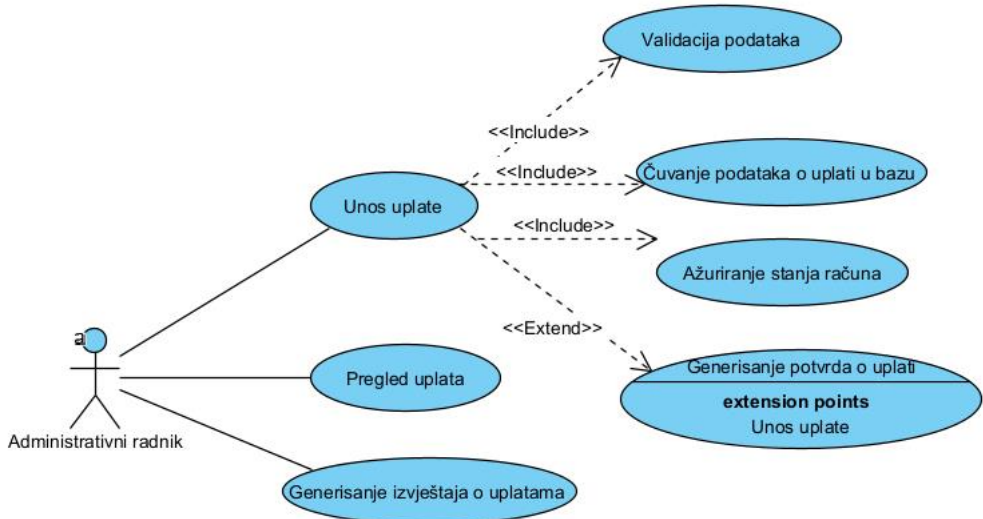
Slika 31. Dijagram aktivnosti upisa djeteta u vrtić

4) Sekvencijalni dijagram prikazuje interakciju između administratora, sistema i baze podataka tokom upisa djeteta. Prikazani su svi koraci komunikacije, uključujući provjeru validnosti unesenih podataka, kreiranje novih zapisa u tabelama i generisanje potvrda ili izvještaja.

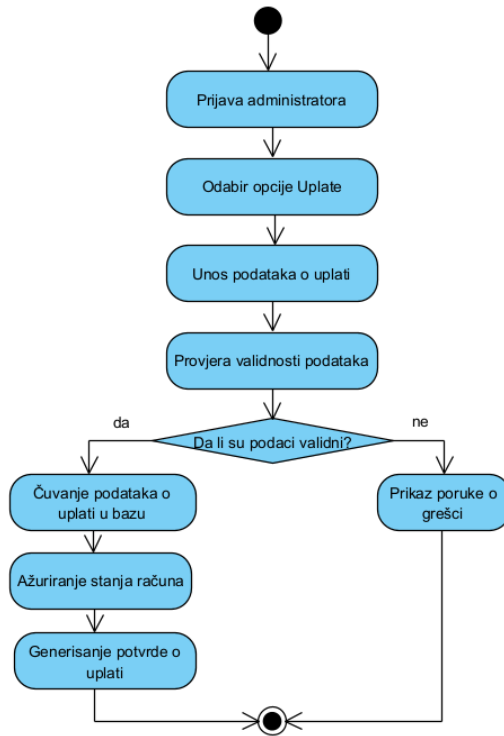
Takođe i za evidenciju uplata su kreirani dijagrami koji prikazuju tokove podataka i interakciju administratora sa sistemom. Use Case dijagram prikazuje sve ključne funkcionalnosti sistema vezane za uplate, uključujući unos, pregled i generisanje izvještaja, uz provjeru validnosti podataka (Slika 8). Dijagram aktivnosti prikazuje korake obrade uplate, od unosa i validacije do ažuriranja stanja i generisanja potvrde ili greške (Slika 9). Sekvencijalni dijagram prikazuje komunikaciju između administratora, sistema i baze podataka tokom procesa evidencije uplata (Slika 10).



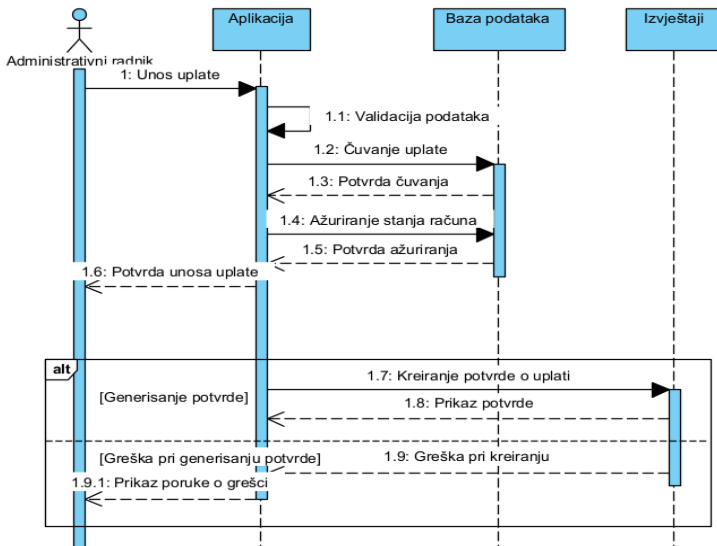
Slika 32. Sekvencijalni dijagram upisa djeteta u vrtić



Slika 33. Dijagram slučajeva upotrebe za uplatu boravka djeteta u vrtiću



Slika 34. Dijagram aktivnosti za uplatu boravka djeteta u vrtiću



Slika 35. Sekvencijalni dijagram za uplatu boravka djeteta u vrtiću

U ovoj fazi identifikovane su i potencijalne nadogradnje sistema, uključujući portal za roditelje, evidenciju prisustva djece i automatsko slanje obavještenja putem e-maila ili SMS-a. Takve nadogradnje ukazuju na skalabilnost i fleksibilnost sistema, što omogućava buduće proširenje funkcionalnosti bez značajnih intervencija u postojećem kodu ili bazi podataka.

4. ZAKLJUČAK

Izrada aplikacije za dječiji vrtić kroz vodopadni model razvoja softvera pokazala je kako klasičan, sekvencijalni pristup može predstavljati najbolje rješenje kada su zahtjevi sistema jasni, predvidivi i ne podliježu čestim promjenama. Svaka faza ovog modela, analiza zahtjeva, projektovanje, kodiranje, testiranje te isporuka i održavanje odigrala je ključnu ulogu u kreiranju aplikacije koja u potpunosti odgovara potrebama korisnika i zadacima koji se obavljaju u obrazovanju.

Kroz fazu analize zahtjeva jasno su definisani ciljevi projekta, kao što su omogućiti evidenciju djece, unos i pregled roditelja, administraciju zaposlenih, praćenje uplata i organizaciju rada po grupama i učionicama. Projektovanje sistema, podržano UML dijagramima izrađenim u alatu Visual Paradigm, omogućilo je da se potrebe definisane u analizi pretoče u konkretan model baze podataka i strukturu aplikacije. Na taj način obezbijeđena je jasna osnova za fazu kodiranja, u kojoj je aplikacija implementirana pomoću programskog jezika Java i NetBeans razvojnog okruženja, dok je MySQL baza podataka osigurala stabilno i sigurno upravljanje podacima. Tokom testiranja aplikacija je prošla kroz niz provjera kako bi se osiguralo da radi ispravno u svim scenarijima predviđenim u fazi analize, a eventualne greške su otkrivene i otklonjene prije isporuke korisnicima. Isporukom i kasnijim održavanjem aplikacija je postala značajna podrška u radu zaposlenima u vrtiću, uz mogućnost da se u budućnosti doda još funkcionalnosti ukoliko za tim bude potrebe.

U ovom procesu **vodopadni model se pokazao pogodnijim izborom od agilnih metodologija**. Razlog za to leži u prirodi samog projekta. Aplikacija za dječiji vrtić pripada kategoriji sistema gdje su potrebe korisnika (vaspitačica i administracije) relativno konstantne i jasno definisane od samog početka. Za razliku od komercijalnih aplikacija koje zahtijevaju česte izmjene, nove funkcionalnosti i prilagođavanje tržištu, u obrazovnom sistemu prioritet imaju stabilnost i pouzdanost sistema. Vodopadni model, s druge strane, omogućio je linearan i predvidiv razvoj, uz strogo definisane faze i dokumentaciju koja ostaje kao trajna osnova za kasnije održavanje sistema. Kombinacija jasno utvrđenih zahtjeva, potrebe za stabilnim i sigurnim radom te činjenice da se radi o softveru koji ne mora prolaziti kroz česte promjene, čini da je primjena vodopadnog modela u ovom projektu bila u potpunosti opravdana. Na taj način postignut je cilj da se kreira aplikacija koja olakšava administraciju vrtića, omogućava efikasniji rad zaposlenih, unapređuje komunikaciju sa roditeljima i osigurava tačnost i sigurnost podataka. [4]

LITERATURA

- [1] V. Tomašević, „Razvoj aplikativnog softvera,“ Beograd, Univerzitet Singidunum, 2022.
- [2] M. Antonijević, „Upravljanje softverskim projektom,“ Beograd, Univerzitet Singidunum, 2024.
- [3] S. L. Pfleeger i J. M. Atlee, *Softversko inženjerstvo: Teorija i praksa*, Prevod trećeg izdanja, Beograd: Računarski fakultet Beograd; CET Computer Equipment and Trade Beograd, 2006.
- [4] S. C. University, „Metodologije razvoja softvera – uvod u Waterfall i Agile,“ Six Cube University Novi Sad, [Na mreži]. Available: <https://sixcubeuniversity.com/metodologije-razvoja-softvera-uvod-u-waterfall-i-agile/>



XVII međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2025

Banja Luka, 26 - 27. 9. 2025. godine



PAMETNA FITNESS OPREMA POKRETANA VJEŠTAČKOM INTELIGENTNOM

Vesna Radojčić, Milos Dobrojević

Faculty of Computing and Informatics, University Sinergija, Bijeljina, vradojccic@sinergija.edu.ba, mdobrojevic@sinergija.edu.ba

Sažetak: Integracija vještačke inteligencije (AI) u fitness opremu revolucionira iskustvo vježbanja omogućujući personalizirani trening baziran na podacima. Ovaj rad predstavlja studiju slučaja G&S Premium Gym u Bijeljini, prve teretane u Bosni i Hercegovini koja je usvojila pametne fitness uređaje pokretane vještačkom inteligencijom. Studija ispituje kako ovi sistemi- poput Technogymove Biostrength opreme - prilagođavaju otpor, prate pokrete korisnika i pružaju povratne informacije u stvarnom vremenu kako bi poboljšali performanse i smanjili rizik od ozljeda. Intervjui s članovima teretane i trenerima otkrivaju poboljšanu motivaciju, angažman korisnika i učinkovitost treninga. Uprkos očitim prednostima, izazovi ostaju u smislu troškova, digitalne pismenosti i privatnosti podataka. Nalazi naglašavaju transformativni potencijal AI u fitness industriji i pozivaju na veću dostupnost i etičko korištenje novih tehnologija.

Ključne riječi: vještačka inteligencija, pametna fitness oprema, Biostrength, personalizirani trening, korisničko iskustvo, digitalna transformacija

AI-POWERED SMART FITNESS EQUIPMENT

Abstract— The integration of artificial intelligence (AI) into fitness equipment is revolutionizing the exercise experience by enabling personalized, data-driven training. This paper presents a case study of G&S Premium Gym in Bijeljina, the first gym in Bosnia and Herzegovina to adopt AI-powered smart fitness machines. The study examines how these systems—such as Technogym’s Biostrength equipment—adapt resistance, track user movements, and provide real-time feedback to enhance performance and reduce injury risk. Interviews with gym members and trainers reveal improved motivation, user engagement, and training efficiency. Despite evident benefits, challenges remain in terms of cost, digital literacy, and data privacy. The findings underscore AI’s transformative potential in the fitness industry and call for greater accessibility and ethical use of emerging technologies.

Keywords – Artificial Intelligence, smart fitness equipment, Biostrength, personalized training, user experience, digital transformation

1. INTRODUCTION

The global fitness industry is undergoing rapid digital transformation, with artificial intelligence (AI) emerging as a key driver of innovation. [1], [2] Modern smart fitness equipment integrates AI to enable personalized workout plans, real-time performance feedback, and precise motion tracking, significantly enhancing the training experience. These technologies are not only redefining how individuals approach physical exercise but are also transforming gym

management and service delivery models. This paper explores the role of AI-powered smart fitness equipment in modern gyms, focusing on the case of G&S Premium Gym in Bijeljina—one of the first fitness centers in the region to implement AI-integrated machines. The study highlights the benefits of using AI in strength and cardio training, especially in improving user motivation, safety, and performance outcomes. The goal is to evaluate the practical applications, user perceptions, and challenges of deploying AI-based solutions in everyday fitness environments.

2. TECHNOLOGICAL BACKGROUND

AI-powered smart fitness equipment leverages advanced technologies such as adaptive algorithms, motion sensors, and biometric data analysis to create personalized and efficient training environments. These systems go beyond traditional machines by automatically adjusting resistance, monitoring movement quality, and providing real-time feedback to users. One prominent example is Technogym's Biostrength equipment, which uses AI to tailor resistance and tempo according to the user's neuromuscular profile. Features like adaptive load, motion tracking, and performance analytics allow users to achieve more effective workouts while minimizing the risk of injury.

Smart scales and Bluetooth-connected devices further enrich the ecosystem by syncing health metrics such as muscle mass, hydration, and body fat percentage with mobile applications for continuous monitoring. These technologies collectively form an interconnected system that supports individual goals, enhances motivation through gamification, and allows trainers to better track and optimize training plans. Their integration into gyms represents a significant step toward fully digitalized and user-centric fitness experiences.

2.1. Recent Advances in AI-Powered Fitness Systems

Recent research emphasizes the integration of artificial intelligence (AI) and the Internet of Things (IoT) in smart fitness equipment, enabling personalized workout recommendations and real-time performance feedback. SmartFit systems, for example, leverage biometric data and machine learning algorithms to generate customized training programs, thereby improving exercise effectiveness and user satisfaction [3], [4]. These AI-powered platforms apply pose estimation and movement analysis techniques to ensure proper exercise execution and minimize injury risk [5]. Both wearable and non-wearable sensors continuously gather physiological data, allowing for adaptive training routines based on users' real-time fitness levels [6]. Furthermore, features like natural language processing and chatbot-based interfaces support intuitive user interaction and dynamic, real-time guidance. The integration of AI into fitness systems marks a substantial advancement over traditional approaches, with notable potential for use in both fitness and rehabilitation settings.

3. METHODOLOGY

A mixed-methods strategy was used to gather both qualitative and quantitative insights.

Data collection methods included:

Table 3 - Data Collection Methods and Descriptions

Method	Description
Interviews	Conducted with 3 trainers and 9 gym members to explore practical experiences
Technical Documentation	Reviewed specifications of smart machines (e.g., Biostrength, smart scales)
Equipment Testing	Hands-on assessment of adaptive load, motion tracking, and feedback systems
User Feedback Analysis	Categorized user comments on usability, motivation, and technical challenges

Participants:

- Total: 12 (3 trainers, 9 users)
- Age range: 15–45 years
- Ethical compliance: Informed consent obtained; data anonymized

This methodology enabled a structured and context-rich evaluation of the technological, functional, and experiential dimensions of AI-powered smart fitness equipment. Although the sample size was relatively small, it still provided valuable insights into user experience and system functionality. However, the limited number of participants restricts the generalizability of the findings, and future studies with larger and more diverse samples are recommended to validate and expand upon these results.

4. CASE STUDY: G&S PREMIUM GYM

G&S Premium Gym, located in Bijeljina, Bosnia and Herzegovina, represents a pioneering example of digital transformation in the regional fitness industry. As the first fitness facility in the country to integrate AI-powered smart equipment, it offers a unique environment for the implementation and evaluation of advanced training technologies in a real-world setting.

The ground floor of the facility features the Technogym BioStrength system, incorporating artificial intelligence for adaptive resistance, motion tracking, and real-time performance analytics. Each machine automatically adjusts weight and tempo based on the user's physical capacity and training history, with all data synchronized through a dedicated mobile application. In addition to the AI-enabled strength equipment, the ground floor includes:

- A functional training zone,
- A cardio area equipped with the latest machines,
- A Skillroom for group training sessions where each participant is monitored via a heart rate sensor in real time.



Figure 1 - AI-powered equipment [7]

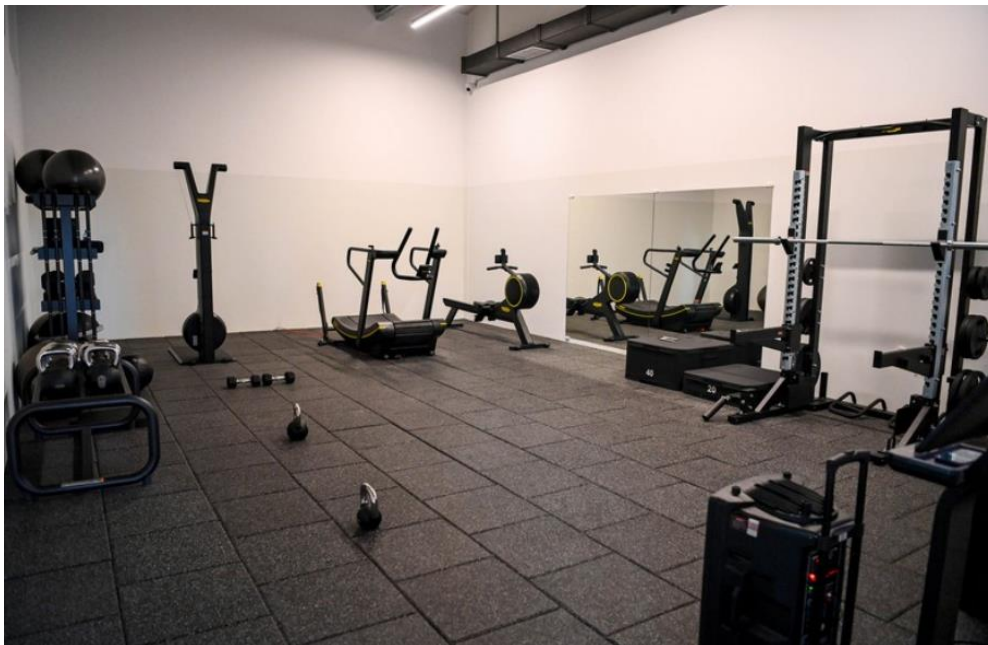


Figure 2 - A Skillroom for group training sessions

The second floor is dedicated to free weight equipment, tailored to individuals engaged in high-intensity and heavy-resistance training. Key features of the AI-driven system include:

- Adaptive Load: Automated weight adjustment based on real-time user performance.
- Motion Tracking: Real-time guidance to ensure correct exercise execution and minimize injury risk.
- Performance Analytics: Metrics include strength levels, calories burned, and overall progression.
- Interactive User Interface: Visual feedback, gamified elements, and mobile app integration for goal tracking.

Prior to initiating a training program, each new member undergoes:

- Initial fitness assessments on both cardio and AI-powered machines,
- Profile registration via the Technogym mobile application,
- QR code scanning on each device, allowing for automatic recognition and personalized training execution.

All performance data is stored within the application, enabling comprehensive tracking and individualized program development.

The coaching staff at G&S Premium Gym is trained in accordance with contemporary fitness methodologies. The center places strong emphasis on:

- Structured, guided training sessions beginning from the user's first visit,
- Automated planning and continuous monitoring of progress,
- Modern diagnostic tools such as BioCheckup analysis and Tanita smart scales.

G&S Premium Gym is one of only three fitness centers in the Balkans—alongside facilities in Slovenia and Belgrade, Serbia—that operate daily using AI-powered fitness technologies. It positions itself as a regional leader in the adoption of innovative, data-driven approaches to physical training, contributing to the evolution of personalized, technology-enhanced fitness services. Gym members reported improved motivation and confidence, especially among beginners, thanks to guided workouts and personalized recommendations. Trainers noted the benefits of automated tracking, which simplified progress monitoring and training plan adjustments. The case study demonstrates how AI-powered equipment can enhance training quality, safety, and user engagement, while also reshaping the organizational approach to fitness services.



Figure 3 - Technogym Checkup [8]

5. DISCUSSION

The implementation of AI-powered smart fitness equipment at G&S Premium Gym reveals significant improvements in training personalization, user engagement, and workout efficiency. By automating adjustments and offering real-time feedback, the equipment helps users exercise more effectively and safely. The adaptive load feature ensures that training intensity aligns with individual capabilities, while motion tracking assists in correcting form, reducing the risk of injury.

User feedback indicates a positive impact on motivation, particularly among beginners who benefit from structured, guided programs and gamified elements.

Trainers also reported increased efficiency in monitoring progress and adjusting plans, as the equipment collects and analyzes key biometric and performance data. However, several challenges remain. High costs of AI-integrated machines limit their availability, especially for smaller fitness centers. Additionally, digital literacy among some users poses a barrier to fully utilizing the technology. Data privacy is another concern, as sensitive health information is collected and stored by interconnected devices and apps.

Despite these limitations, the case study confirms the transformative potential of AI in fitness environments. For wider adoption, it is essential to focus on affordability, user education, and the development of secure, privacy-conscious solutions. Integrating AI with human expertise—rather than replacing it—emerges as a key factor in maintaining engagement and ensuring effective training outcomes.

6. CONCLUSION

This study highlights the growing importance of artificial intelligence in transforming the fitness industry. The case of G&S Premium Gym demonstrates how AI-powered smart equipment—such as Technogym’s Biostrength system—enhances personalization, ensures safer training, and boosts user motivation through real-time feedback and progress tracking. Both trainers and users reported positive experiences, noting increased training efficiency and improved engagement. However, key challenges remain, including high equipment costs, limited digital literacy, and concerns over data security. For broader adoption, future efforts should focus on making AI technologies more affordable, intuitive, and privacy-friendly. By balancing innovation with accessibility and ethical considerations, AI can become a powerful tool for reshaping the future of fitness and supporting healthier lifestyles on a global scale.

REFERENCES

- [1] K. C. Rohit, A. Mohd, M. Yadav, and S. Tripti, "THE FUTURE OF GYM MANAGEMENT: HARNESSING THE POWER OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE," *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology*, p. <https://doi.org/10.55524/cisistw.2024.12.1.50>, 2024.
- [2] K. Navale, "Fitnessgpt Using Artificial Intelligence and Deep Learning," *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, p. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.61477>, 2024.
- [3] P. Firoj, A. Suganya, N. Burri, S. G. Veer, K. S., and M. G., "SmartFit: AI-Powered Training Recommendations with Biometric Integration," in *5th IEEE Global Conference for Advancement in Technology (GCAT)*, 2024.
- [4] J. R. D., R. K. Naveen and L. Thiri, "Smartfit: Artificial Intelligence-Powered Exercise Recognition," in *2025 International Conference on Computational Innovations and Engineering Sustainability*, <https://doi.org/10.1109/ICCIES63851.2025.11033069>, 2025.
- [5] R. Abhijit, T. Jayesh, L. Vinit, G. Sakshi, and K. Dipali, "Assistant For Fitness Activities," in *International Journal For Multidisciplinary Research*, <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2025.v07i02.40696>, 2025.
- [6] F. Alireza, F. Reza, R. Javad, and M. Roberto, "Application of Internet of Things and artificial intelligence for smart fitness: A survey," in *Computer Networks*, 2021.
- [7] InfoBijeljina, "Bijeljina dobila najveći fitness centar u BiH: Jedinstveni po svemu, imaju i sprave sa vještačkom inteligencijom," 2025. [Online]. Available: <https://infobijeljina.com/vijesti/bijeljina-dobila-najveci-fitness-centar-u-bih--jedinstveni-po-svemu--imaju-i-sprave-sa-vjestackom-inteligencijom--foto->.
- [8] Technogym, "New Technogym Checkup Measures Your Physical and Cognitive Parameters for a Targeted Training," 2025. [Online]. Available: <https://www.technogym.com/int/newsroom/technogym-checkup/>.



XVII međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2025

Banja Luka, 26 - 27. 9. 2025. godine



PRAVCI RAZVOJA PAMETNIH GRADOVA

Boris R. Mikanović

Doktorand na Panevropskom univerzitetu APEIRON Banja Luka, RS, BiH, boris.r.mikanovic@apeiron-edu.eu

Sažetak: Pametni gradovi predstavljaju kompleksan koncept koji integriše informaciono-komunikacione tehnologije, održivi urbani razvoj i participaciju građana s ciljem unapređenja kvaliteta života i efikasnijeg korištenja resursa. Pravci njihovog razvoja zasnivaju se na digitalizaciji infrastrukture, implementaciji Internet stvari (IoT), vještačke inteligencije i analitike podataka u realnom vremenu. Ove tehnologije omogućavaju optimizaciju javnih usluga, povećanje energetske efikasnosti, poboljšanje mobilnosti i jačanje bezbjednosnih sistema. U domenu transporta, fokus je na održivoj mobilnosti, električnim i autonomnim vozilima, kao i pametnim saobraćajnim rješenjima. Energetski sektor teži većoj integraciji obnovljivih izvora energije, razvoju pametnih mreža i smanjenju emisije stakleničkih gasova. Urbanistički pravci uključuju zelenu infrastrukturu, kružnu ekonomiju i otpornost na klimatske promjene. Paralelno s tehnološkim inovacijama, važan aspekt razvoja predstavlja društvena dimenzija – participativno upravljanje, transparentnost i digitalne platforme koje omogućavaju građanima aktivno učešće u donošenju odluka. Pametni gradovi sve više funkcionišu i kao centri inovacija, u kojima se povezuju akademski sektor, privreda i javna uprava, stvarajući povoljno okruženje za razvoj start-up ekosistema. Budući pravci razvoja usmjereni su na postizanje ravnoteže između tehnološkog napretka, socijalne inkluzije i zaštite životne sredine. Na taj način, pametni gradovi se oblikuju kao održivi, efikasni i pravedni urbani sistemi budućnosti.

Ključne riječi: pametni gradovi, digitalizacija, održivi razvoj, mobilnost, inovacije.

DEVELOPMENT DIRECTIONS OF SMART CITIES

Abstract: Smart cities represent a complex concept that integrates information and communication technologies, sustainable urban development and citizen participation with the aim of improving the quality of life and more efficient use of resources. The directions of their development are based on digitalization of infrastructure, implementation of the Internet of Things (IoT), artificial intelligence and real-time data analytics. These technologies make it possible to optimize public services, increase energy efficiency, improve mobility and strengthen security systems. In the field of transport, the focus is on sustainable mobility, electric and autonomous vehicles, as well as smart traffic solutions. The energy sector strives for greater integration of renewable energy sources, development of smart grids and reduction of greenhouse gas emissions. Urban trends include green infrastructure, circular economy and climate change resistance. In parallel with technological innovations, an important aspect of development is the social dimension - participative management, transparency and digital platforms that enable citizens to actively participate in decision-making. Smart cities are increasingly functioning as centers of innovation, where the academic sector, economy and public administration are connected, creating a favorable environment for the development of the start-up ecosystem. Future directions of development are aimed at achieving a balance between technological progress, social inclusion and environmental protection. In this way, smart cities are shaped as sustainable, efficient and fair urban systems of the future.

Key words: smart cities, digitization, sustainable development, mobility, innovation.

1. UVOD

Savremeni gradovi suočavaju se s naglim porastom broja stanovnika, klimatskim promjenama, rastućim zahtjevima za energijom, saobraćajnim gužvama i pritiscima na komunalnu infrastrukturu. Koncept pametan grad (*engl. smart city*) nastao je kao odgovor na ove izazove, s ciljem da se putem digitalnih tehnologija, održivih rješenja i integrisanog planiranja poboljša kvalitet života građana, poveća efikasnost usluga i smanji negativan uticaj urbanizacije na životnu sredinu.

Globalni proces urbanizacije dovodi do stalnog rasta broja stanovnika u gradovima, što stvara značajne izazove u pogledu infrastrukture, transporta, energetike, upravljanja otpadom i zaštite životne sredine. Koncept pametnih gradova (*engl. smart cities*) razvija se kao odgovor na te izazove, kombinujući digitalne tehnologije, održiva rješenja i društvenu inkluziju. Cilj pametnih gradova je podizanje kvaliteta života građana, povećanje efikasnosti javnih usluga, smanjenje ekološkog otiska i podsticanje ekonomskog razvoja zasnovanog na inovacijama.

Ovaj rad istražuje ključne pravce razvoja pametnih gradova kroz tehnološke, infrastrukturne, ekološke i društvene aspekte, sa posebnim naglaskom na izazove i perspektive budućeg razvoja.

2. POJMOVNO ODREĐENJE PAMETNOG GRADA

Pametni grad nije samo tehnološki koncept, već i društveni. Pametni grad (*engl. smart city*) predstavlja koncept savremenog urbanog razvoja zasnovan na primjeni digitalnih tehnologija, inovativnih rješenja i održivih praksi s ciljem unapređenja kvaliteta života stanovnika, povećanja efikasnosti javnih usluga, smanjenja negativnih uticaja na životnu sredinu i jačanja konkurentnosti lokalne ekonomije. [2]

U najširem smislu, pametni grad je urbani prostor koji koristi informaciono-komunikacione tehnologije (IKT), senzorske sisteme i naprednu analitiku podataka kako bi optimizovao procese i resurse – od saobraćaja, energetike i upravljanja otpadom, do zdravstva, obrazovanja i javne administracije. [1]

Ključne odlike pojma pametnog grada:

1. Integracija tehnologije – korišćenje IKT infrastrukture, Internet stvari (IoT), vještačke inteligencije i velikih podataka (*engl. Big Data*) radi efikasnijeg funkcionisanja.
2. Održivost – racionalno korišćenje energije, vode i zemljišta, smanjenje emisija štetnih gasova i razvoj “zelenih” tehnologija.
3. Mobilnost – razvoj pametnog saobraćaja, javnog prevoza i rješenja za smanjenje gužvi i emisija.
4. Upravljanje resursima i uslugama – digitalizacija administrativnih procedura, pametno upravljanje otpadom i energijom.
5. Participacija građana – uključivanje stanovnika u procese odlučivanja putem digitalnih platformi i aplikacija.
6. Kvalitet života – fokus na dostupnost zdravstvene zaštite, obrazovanja, kulturnih sadržaja i sigurnosti.

2.1. Nastanak i razvoj pametnih gradova

Idea pametnog grada nastala je krajem XX i početkom XXI vijeka kao odgovor na ubranu urbanizaciju, rast populacije u gradovima i pritiske na resurse. Tradicionalni modeli urbanog

planiranja nisu bili dovoljni da odgovore na probleme poput zagađenja, saobraćajnih gužvi, potrošnje energije i vode, te neefikasne javne administracije. [4]

Prvi oblici pametnih gradova javljaju se kroz digitalne gradove i e-gradove, kada su se krajem 1990-ih počeli primjenjivati informaciono-komunikacioni sistemi u javnim službama i upravi.

Termin „*Smart City*“ počinje intenzivno da se koristi nakon 2000. godine, prvenstveno u strateškim dokumentima Evropske unije, UN-a i velikih tehnoloških kompanija (IBM, Cisco, Siemens).

Razvoj pametnih gradova može se posmatrati kroz nekoliko faza:

1. Prva faza (1990–2005): Digitalizacija – fokus na uvođenje interneta, elektronske administracije (*engl. e-government*) i osnovnih digitalnih servisa.
2. Druga faza (2005–2015): Tehnološka integracija – razvoj senzorskih mreža, mobilnih aplikacija i sistema za pametno upravljanje resursima (energija, voda, otpad).
3. Treća faza (2015–danas): Održivi i inkluzivni gradovi – povezivanje tehnologije sa konceptom održivog razvoja, klimatskim ciljevima, participacijom građana i pametnom mobilnošću.

2.2. Komponente pametnog grada

Savremeni gradovi suočavaju se s brojnim izazovima: rastućim brojem stanovnika, pritiskom na prirodne resurse, zagađenjem, saobraćajnim gužvama i potrebom za efikasnijim upravljanjem javnim uslugama. Kao odgovor na ove izazove razvijen je koncept pametnog grada, koji povezuje tehnologiju, društvo i održivi razvoj. Suština pametnog grada leži u međusobno povezanim komponentama koje zajedno čine funkcionalan i održiv urbani sistem.

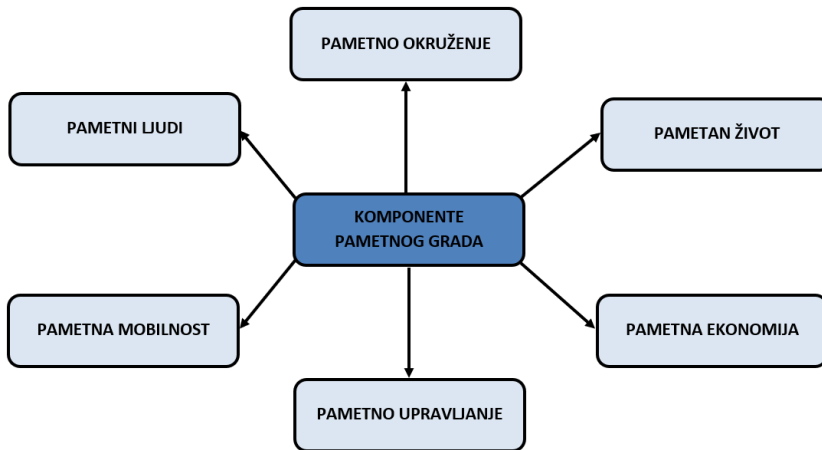
Pametna infrastruktura predstavlja osnovu pametnog grada. Ona podrazumijeva razvoj energetski efikasnih mreža, obnovljivih izvora energije i pametnih elektrodistributivnih sistema (*engl. smart grids*). Infrastruktura uključuje i transportne mreže sa inteligentnim saobraćajnim sistemima, pametnim semaforima i digitalnim rješenjima za praćenje saobraćaja u realnom vremenu. Pored toga, komunalne usluge, poput vodosnabdijevanja i upravljanja otpadom, postaju dio pametne infrastrukture kroz upotrebu senzora i automatizovanih sistema. [5]

Pametna mobilnost usko je povezana s infrastrukturom, ali se posebno fokusira na optimizaciju kretanja ljudi i roba u urbanim sredinama. Digitalne platforme za javni prevoz, aplikacije za dijeljenje vozila, električna mobilnost i integracija različitih vidova transporta doprinose smanjenju gužvi i zagađenja. Mobilnost u pametnom gradu nije samo pitanje brzine i praktičnosti, već i održivosti.

Pametna ekonomija temelji se na inovacijama, digitalnoj transformaciji i otvaranju prostora za nove poslovne modele. Gradovi postaju centri start-upova, digitalnih platformi i pametnih industrija, što doprinosi njihovoj globalnoj konkurentnosti. E-trgovina, fleksibilni oblici rada i razvoj novih tržišta mijenjaju način na koji stanovnici i preduzeća funkcionišu u urbanom prostoru.

Pametno upravljanje (*engl. Smart Governance*) odnosi se na modernizaciju javne administracije i uključivanje građana u donošenje odluka. Digitalizacija javnih usluga, transparentnost rada institucija i dostupnost otvorenih podataka doprinose većem povjerenju između građana i vlasti. Građani kroz online platforme mogu aktivno učestvovati u oblikovanju politika i praćenju njihovog sprovođenja, što jača demokratske procese. Pametno okruženje naglašava važnost

održivosti. Praćenje kvaliteta vazduha, vode i tla putem senzora, razvoj zelenih površina i upotreba čistih tehnologija imaju za cilj smanjenje negativnih uticaja urbanizacije na prirodu. Pametni gradovi teže stvaranju ravnoteže između razvoja i očuvanja životne sredine, što ih čini otpornijim na klimatske promjene. [5]



Slika 1. Komponente pametnog grada [izradio i prilagodio autor]

Pametni ljudi (*engl. Smart People*) čine srž svakog pametnog grada. Tehnologija i infrastruktura nemaju svrhu ukoliko građani nisu spremni da ih koriste i razvijaju. Edukovani, digitalno pismeni i društveno angažovani građani doprinose jačanju inovacija i zajedničkog identiteta grada. Uloga ljudi u pametnom gradu ogleda se i u spremnosti na participaciju, saradnju i stalno usvajanje novih znanja.

Pametan život (*engl. Smart Living*) obuhvata kvalitet života u najširem smislu. To uključuje sigurnost, zdravlje, obrazovanje, kulturne sadržaje i dostupnost usluga. Pametne zgrade, digitalizovano zdravlje i aplikacije koje olakšavaju svakodnevni život doprinose tome da grad postane ugodnije i sigurnije mjesto za život.

Kada se sve ove komponente povežu u cjelinu, pametan grad postaje više od zbirke tehnoloških rješenja. On se pretvara u urbani ekosistem koji stavlja građane u centar razvoja, a tehnologiju i inovacije koristi kao sredstvo za postizanje održivosti, efikasnosti i boljeg kvaliteta života.

3. TEHNOLOGIJE PAMETNIH GRADOVA

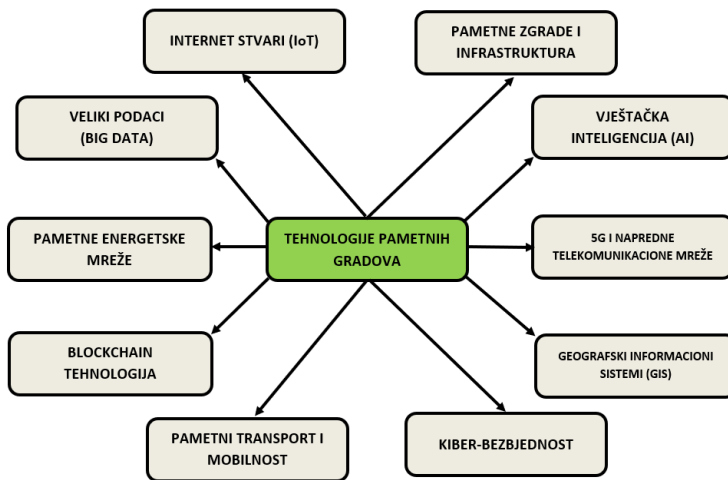
Razvoj pametnih gradova ne može se posmatrati odvojeno od savremenih tehnoloških dostignuća. Tehnologija je osnovni pokretač transformacije tradicionalnih urbanih sredina u dinamične, održive i efikasne ekosisteme. Pametni gradovi koriste čitav spektar informaciono-komunikacionih i inovativnih tehnologija kako bi unaprijedili kvalitet života građana, optimizovali procese i smanjili negativne uticaje na životnu sredinu. [7]

Internet stvari (IoT) predstavljaju temeljnu tehnologiju pametnih gradova. IoT omogućava povezivanje uređaja, senzora i sistema u jedinstvenu mrežu, gdje se podaci prikupljaju u

realnom vremenu. Primjena je široka – od senzora za mjerenje kvaliteta vazduha i vode, preko pametnih semafora koji regulišu saobraćaj na osnovu trenutne gustine vozila, do sistema za praćenje potrošnje energije i vode u domaćinstvima. Zahvaljujući IoT tehnologiji, grad postaje „živ organizam” sposoban da uči, reaguje i predviđa potrebe svojih stanovnika.

Veliki podaci (*engl. Big Data*) i analitika omogućavaju obradu ogromnih količina informacija koje se prikupljaju putem IoT sistema i drugih digitalnih servisa. Gradovi svakodnevno generišu milijarde podataka – od kretanja ljudi i vozila, do potrošnje resursa i administrativnih procedura. Korišćenjem napredne analitike i algoritama, ovi podaci pretvaraju se u korisne informacije koje pomažu u donošenju odluka, planiranju razvoja i upravljanju kriznim situacijama.

Vještačka inteligencija (AI) dodatno unapređuje mogućnosti pametnih gradova. Ona se koristi u prediktivnim modelima za saobraćaj, u medicinskoj dijagnostici kroz telemedicinu, te u optimizaciji potrošnje energije i održavanju komunalnih sistema. AI omogućava automatizaciju procesa i donošenje odluka u realnom vremenu, čime se postiže veća efikasnost i smanjenje troškova. [3]



Slika 2. Tehnologije pametnih gradova [izradio i prilagodio autor]

Bežične komunikacione tehnologije, posebno 5G mreže, igraju ključnu ulogu u povezivanju pametnih gradova. One obezbjeđuju visoku brzinu prenosa podataka, nisku latenciju i stabilnu vezu, što je neophodno za razvoj autonomnih vozila, pametnih saobraćajnih sistema i digitalnih usluga koje zahtijevaju trenutni protok informacija. Bez kvalitetne komunikacione infrastrukture, sve ostale tehnologije ostale bi ograničenog dometa.

Pametne mreže (*engl. Smart Grids*) i obnovljivi izvori energije čine energetske stub pametnog grada. Zahvaljujući digitalizovanim elektroenergetskim mrežama moguće je pratiti i optimizovati potrošnju u realnom vremenu, integrisati solarne panele, vjetroelektrane i druge

izvore čiste energije. Pametne mreže omogućavaju dvosmjernu komunikaciju između potrošača i distributera, što doprinosi racionalnijem korišćenju resursa i većoj energetske nezavisnosti. [6]

Pametni transportni sistemi koriste kombinaciju GPS-a, mobilnih aplikacija, IoT senzora i algoritama za upravljanje saobraćajem. Rezultat su optimizovane rute, smanjenje gužvi i potrošnje goriva, kao i razvoj električne i autonomne mobilnosti. U mnogim gradovima već funkcionišu integrisani sistemi javnog prevoza, gdje građani putem mobilnih aplikacija mogu pratiti vozne redove, kupovati karte i planirati putovanja.

Pored toga, blockchain tehnologija sve više nalazi primjenu u pametnim gradovima, naročito u domenu sigurnosti, upravljanja podacima i elektronskih transakcija. Njena prednost leži u transparentnosti i nemogućnosti izmjene podataka, što doprinosi povjerenju između građana i institucija.

Na kraju, ne smije se zaboraviti ni uloga pametnih zgrada i digitalnih platformi koje omogućavaju građanima da komuniciraju sa gradskom administracijom, prijavljuju probleme ili predlažu rješenja. Ovi sistemi doprinose demokratizaciji odlučivanja i većoj participaciji stanovništva.

Sve pomenute tehnologije zajedno oblikuju jedinstven urbani ekosistem. One nisu cilj same po sebi, već sredstvo za postizanje održivosti, efikasnosti i višeg kvaliteta života. Pametni grad je, dakle, rezultat uspješnog povezivanja tehnologije i društva – prostora u kojem inovacije služe čovjeku i stvaraju temelje za budućnost u kojoj su gradovi ne samo funkcionalni, već i prilagođeni potrebama svojih stanovnika. [6]

4. KONCEPT PAMETNIH GRADOVA

Savremeni gradovi suočavaju se sa brojnim izazovima: ubrzanom urbanizacijom, rastućim potrebama za energijom, povećanim saobraćajnim gužvama, problemima zagađenja i klimatskim promjenama. Kao odgovor na ove izazove razvija se koncept pametnog grada, koji podrazumijeva primjenu naprednih digitalnih tehnologija, inovacija i održivih rješenja u cilju poboljšanja kvaliteta života građana. U Evropi i svijetu danas se mogu uočiti različite primjene pametnih rješenja u oblastima saobraćaja, energetike, upravljanja resursima, javne uprave i sigurnosti.

4.1. Primjeri pametnih gradova u svijetu

International Institute for Management Development (IMD) svake godine izdaje izvještaj o pametnim gradovima u svijetu – IMD Smart City Index. Izvještaj se radi na temelju percepcije građana svakog od gradova s popisa gradova u kojem žive. Dva su ključna nositelja ocjene – strukture i tehnologije u gradu, a svaki se evaluira u područjima zdravlja i sigurnosti, mobilnosti, aktivnosti, prilika (poslovnih ili u obrazovanju) i gradske uprave. Svjetska praksa pokazuje da ne postoji jedinstven model pametnog grada, već da svaka urbana sredina razvija specifična rješenja u skladu sa sopstvenim potrebama i prioritetima.

Barcelona je jedan od evropskih gradova koji se najčešće navodi kao primjer uspješne primjene koncepta pametnog grada. Još početkom prošle decenije gradske vlasti su prepoznale potencijal digitalnih tehnologija i Interneta stvari (IoT) u unapređenju urbanog života. Zahvaljujući tome, Barcelona je među prvim svjetskim metropolama koje su izgradile široku mrežu senzora i digitalnih rješenja, a danas je prepoznata kao jedan od najnaprednijih pametnih gradova u svijetu.

Jedna od glavnih karakteristika Barcelone jeste izuzetno razvijena pametna infrastruktura. Grad je implementirao hiljade senzora postavljenih u uličnu rasvjetu, saobraćajne raskrsnice, parking prostore i kontejnere za otpad. Na osnovu podataka prikupljenih u realnom vremenu, gradske službe mogu efikasnije upravljati resursima, smanjivati zagušenja u saobraćaju i optimizovati troškove. Posebno značajan primjer jeste sistem pametne rasvjete: više od pedeset hiljada LED lampi automatski prilagođava intenzitet svjetlosti u zavisnosti od doba dana i prisutnosti ljudi, čime se ostvaruje značajna ušteda energije.

Pametna mobilnost zauzima centralno mjesto u viziji Barcelone. Grad razvija ekološki prihvatljiv transport kroz programe javnih bicikala, uvođenje električnih autobusa i senzore koji prate slobodna parking mjesta. Građani putem aplikacija u realnom vremenu dobijaju informacije o saobraćaju i mogu planirati kretanje na optimalan način. Time se smanjuju gužve i emisije štetnih gasova. Upravo ovakva rješenja pokazuju kako tehnologija može biti u službi održive mobilnosti.

Važan segment pametne Barcelone je i digitalna demokratija. Putem platforme „Decidim Barcelona“ građani imaju mogućnost da predlažu projekte, glasaju i učestvuju u kreiranju politika. Takav model e-participacije povećava transparentnost i povjerenje između građana i gradske administracije. Paralelno s tim, gradske vlasti vode otvorenu politiku objavljivanja podataka kroz projekat „Open Data Barcelona“, što dodatno podstiče inovacije, istraživanja i razvoj start-up kompanija.

Poseban doprinos održivosti daje projekat „Superilles“ ili superblokovi. Riječ je o urbanističkom rješenju koje određene gradske četvrti pretvara u zone sa smanjenim saobraćajem, gdje prioritet imaju pješaci i biciklisti. Time se ne samo smanjuje zagađenje, već se stvara i zdraviji životni prostor sa više zelenih površina. Ovaj pristup postao je uzor mnogim evropskim gradovima koji traže rješenja za prenatrane saobraćajnice i problem zagađenja.

Rezultati koje je Barcelona ostvarila su impresivni. Prema dostupnim podacima, samo kroz optimizaciju upotrebe resursa grad godišnje ostvaruje uštede od nekoliko desetina miliona dolara. Još važnije, stanovnici imaju osjećaj da aktivno učestvuju u oblikovanju urbanih politika, što doprinosi jačanju zajedništva i društvene kohezije.

Barcelona dokazuje da pametan grad nije samo skup tehnoloških inovacija, već i prostor u kojem tehnologija, održivost i građansko učešće djeluju u sinergiji. Upravo ta kombinacija čini je jednim od najuspješnijih primjera pametnog grada na globalnom nivou, ali i inspiracijom za druge gradove, uključujući i one na Balkanu, da preuzmu slične modele razvoja i prilagode ih vlastitim potrebama.

Amsterdam je također pionir u konceptu kružne ekonomije. Grad nastoji da smanji otpad, podstakne ponovnu upotrebu i reciklažu, te razvija modele poslovanja u kojima proizvodi i materijali cirkulišu što duže. Cilj je da do 2050. godine Amsterdam postane u potpunosti kružni grad, što bi ga učinilo jednim od prvih na svijetu koji je ostvario taj ideal.

Sve ove mjere zajedno čine Amsterdam gradom u kojem tehnologija i održivost nisu odvojeni procesi, već dio jedinstvene strategije usmjerene ka boljem životu građana. U njemu se prepliću inovacije, ekologija i društvena odgovornost, stvarajući grad budućnosti koji se stalno prilagođava potrebama svojih stanovnika.

Amsterdam pokazuje da pametan grad nije samo grad opremljen digitalnim tehnologijama, već i zajednica koja promovira održivost, saradnju i participaciju. Njegova iskustva mogu poslužiti kao model za mnoge druge gradove, uključujući i one na Balkanu, koji traže načine da povežu tradiciju i savremene tehnološke izazove u jedinstvenu viziju razvoja.



Slika 4. Amsterdam – održiva mobilnost i energija [15]

Singapur se ubraja među najnaprednije primjere pametnih gradova u svijetu. Ova azijska metropola poznata je po visokom stepenu digitalizacije, snažnoj urbanoj infrastrukturi i inovativnim rješenjima u svakodnevnom životu građana. Program „Smart Nation Singapore”, pokrenut 2014. godine, postao je temelj transformacije grada u globalnog lidera pametnih tehnologija, čime je Singapur stekao reputaciju laboratorije budućnosti. Jedna od ključnih odlika Singapura je njegova napredna digitalna infrastruktura. Grad je u potpunosti pokriven brzim internetom i mrežama nove generacije, što omogućava nesmetanu komunikaciju između institucija, preduzeća i građana. Sistem senzora, kamera i digitalnih uređaja integriše se u svakodnevni život, omogućavajući prikupljanje i obradu podataka u realnom vremenu. Na taj način Singapur upravlja saobraćajem, energijom, vodom, ali i sigurnosnim izazovima na efikasan i precizan način.

Mobilnost je posebno važan segment pametnog Singapura. Grad je razvio inteligentne transportne sisteme koji prate gužve, regulišu saobraćaj i obavještavaju građane o najbržim rutama. Korištenje električnih i autonomnih vozila postepeno postaje standard, dok su javne biciklističke i pješачke staze integrisane u širu mrežu mobilnosti. Programi poput „Mobility as a Service” nude građanima mogućnost da planiraju putovanja kroz jednu aplikaciju, kombinujući različite vidove prevoza. Posebnu vrijednost predstavlja upravljanje resursima i ekologija. Singapur, iako ograničenog prostora i resursa, uspio je da razvije sofisticirane sisteme za upravljanje vodom i energijom. Voda se reciklira i ponovo koristi kroz inovativne projekte, dok

pametne mreže energije smanjuju gubitke i podstiču korištenje obnovljivih izvora. Grad se orijentisao ka cilju da postane što je moguće više samoodrživ i otporan na klimatske promjene. E-uprava i digitalne usluge za građane predstavljaju još jednu ključnu dimenziju pametnog Singapura. Većina administrativnih procedura, poput plaćanja poreza ili izdavanja dokumenata, može se obaviti putem mobilnih aplikacija ili digitalnih portala. Transparentnost i efikasnost postali su zaštitni znak gradske administracije, što jača povjerenje između vlasti i građana.

Singapur također ulaže u razvoj inovacija i vještačke inteligencije. Grad podstiče start-up ekosistem i saradnju između univerziteta, istraživačkih centara i privatnog sektora. Projekti u oblastima robotike, autonomnih sistema i digitalnog zdravstva testiraju se u realnim uslovima, jer Singapur funkcioniše kao živa laboratorija u kojoj nove tehnologije brzo pronalaze svoju primjenu.

Zahvaljujući ovim mjerama, Singapur se profilisao kao grad u kojem se tehnologija i društvo razvijaju u skladu. Posebno je značajno što gradske vlasti teže ravnoteži između digitalnog napretka i kvaliteta života, vodeći računa da građani ostanu u centru svih politika. Singapur pokazuje da pametan grad ne podrazumijeva samo modernu tehnologiju, već i sposobnost da se pronađu rješenja za ograničene resurse i urbane izazove. Njegov primjer može poslužiti kao inspiracija mnogim državama i gradovima širom svijeta, jer dokazuje da se inovacije i održivost mogu uskladiti s potrebama građana. [10]



Slika 5. Autonomni autobusi u Singapuru – globalni lider pametnih gradova [16]

Tokio, glavni grad Japana i jedno od najmnogoljudnijih urbanih područja na svijetu, predstavlja jedinstven primjer kako se megapolis može razvijati u pravcu pametnog grada. Sa preko 37 miliona stanovnika u širem gradskom području, Tokio se suočava s brojnim izazovima poput gužvi u saobraćaju, visoke potrošnje energije i potrebe za održivim urbanim planiranjem. Upravo ovi izazovi postali su podsticaj za razvoj inovativnih rješenja koja danas Tokijo svrstavaju među najnaprednije pametne gradove svijeta.

Jedna od osnovnih odlika Tokija je visok nivo digitalne infrastrukture. Grad je među globalnim predvodnicima u implementaciji 5G mreže, a već testira i 6G tehnologiju. Mreže senzora i napredni sistemi za prikupljanje podataka omogućavaju praćenje saobraćaja, potrošnje energije, kvaliteta vazduha i sigurnosnih izazova u realnom vremenu. Na ovaj način vlasti mogu brzo reagovati, ali i planirati dugoročne strategije zasnovane na podacima.

Pametnan transport je posebno razvijen segment. Tokio posjeduje jednu od najefikasnijih mreža javnog prevoza na svijetu – od metroa i brzih vozova do autobusa i autonomnih vozila u testnoj fazi. Putnici putem digitalnih aplikacija dobijaju tačne informacije o dolascima, presjedanjima i gužvama, što omogućava optimalno planiranje putovanja. Paralelno s tim, gradska vlast razvija inteligentne sisteme upravljanja saobraćajem pomoću vještačke inteligencije, smanjujući zagušenja i emisije štetnih gasova. Tokio takođe ulaže u održivu energiju i ekologiju. Grad se obavezaio na smanjenje emisija ugljen-dioksida i povećanje upotrebe obnovljivih izvora, posebno solarne energije. Pametne zgrade sa sistemima za štednju energije i kvartovi poput Kashiwa-no-ha Smart City postali su laboratorije održivog urbanog razvoja. Slični projekti pokazali su se posebno značajnim tokom priprema za Olimpijske igre 2020. godine, kada je Tokio promovisan kao zelena i pametna metropola.



Slika 6. Tokio (Japan) – tehnologija u službi sigurnosti [17]

Digitalna transformacija obuhvatila je i e-upravu. Građani sve češće koriste online platforme i mobilne aplikacije za plaćanje poreza, zakazivanje zdravstvenih pregleda ili dobijanje administrativnih dozvola. Time se smanjuje birokratija i povećava efikasnost javnog sektora. Poseban segment pametnog Tokija jeste robotika i vještačka inteligencija, oblasti po kojima je Japan globalno prepoznat. U gradu se testiraju humanoidni roboti za pomoć starijim osobama, robotski vodiči na aerodromima i asistenti u turističkim centrima. Ova rješenja nisu samo demonstracija tehnološke moći, već i praktičan odgovor na demografske izazove, budući da Japan ima jedno od najstarijih stanovništava na svijetu.

Tokio je primjer pametnog grada koji koristi tehnologiju da odgovori na složene probleme jednog megapolisa. Njegova snaga leži u sposobnosti da spoji inovacije, održivost i efikasnost u jedinstven sistem koji poboljšava kvalitet života građana. Iskustva Tokija mogu poslužiti kao inspiracija drugim svjetskim metropolama, jer jasno pokazuju da i u najmnogoljudnijim gradovima tehnologija može biti u službi čovjeka i stvarati održivu budućnost.

Dubai, jedan od najbrže rastućih gradova u svijetu i centralni urbani centar Ujedinjenih Arapskih Emirata, predstavlja primjer moderne vizije pametnog grada. Njegova strategija urbanog razvoja temelji se na primjeni najnovijih tehnologija, inovativnih rješenja i digitalizacije kako bi se poboljšao kvalitet života građana, unaprijedila efikasnost javnih usluga i stvorio održiv ekonomski model. Dubai se kroz projekte poput Smart Dubai pozicionirao kao globalni lider u oblasti pametnih gradova, postavljajući standarde za inovacije, mobilnost i digitalnu upravu. [8]

Jedna od ključnih karakteristika pametnog Dubajija jeste digitalna infrastruktura i e-uprava. Grad je u potpunosti digitalizovao javnu administraciju, omogućavajući građanima i kompanijama da brojne procedure obavljaju online. Putem mobilnih aplikacija i portala moguće je plaćati poreze, dobijati dozvole, zakazivati usluge i pratiti gradske projekte. Transparentnost i efikasnost postale su zaštitni znak gradske uprave, a dostupnost podataka u realnom vremenu omogućava brzu reakciju na urbane izazove. Dubai također ulaže u naprednu mobilnost. Grad razvija inteligentne transportne sisteme, uključujući autonomna vozila, pametne semafore i aplikacije za planiranje putovanja. Metro, električni autobusi i široka mreža biciklističkih staza povezuju različite dijelove grada, dok digitalni sistemi optimizuju protok saobraćaja i smanjuju gužve. Ovaj pristup doprinosi većoj efikasnosti urbanog transporta, ali i smanjenju emisija štetnih gasova. [12]

Ekološka održivost i pametno upravljanje resursima zauzimaju centralno mjesto u strategiji Dubajija. Grad implementira projekte pametnih zgrada sa smanjenom potrošnjom energije, napredne sisteme za upravljanje vodom i korištenje obnovljivih izvora energije, posebno solarnih panela. Dubai je takođe fokusiran na smanjenje zagađenja i razvoj zelenih površina, uključujući urbane parkove i ekološke zone, kako bi stvorio balans između urbanizacije i kvaliteta života.

Posebnu dimenziju čini inovativna tehnologija i vještačka inteligencija. Dubai aktivno koristi AI za unapređenje sigurnosti, zdravlja, obrazovanja i poslovanja. Projekt Dubai AI Lab omogućava testiranje naprednih algoritama za optimizaciju gradskih sistema, dok roboti i automatizovani sistemi podržavaju svakodnevne operacije u administraciji, transportu i turizmu. Dubai se takođe ističe kroz projekat Dubai Blockchain Strategy, koji je usmjeren na digitalizaciju administrativnih procesa i kreiranje potpunog digitalnog ekosistema za poslovanje i građane. Ovaj pristup omogućava bržu, sigurniju i transparentniju razmjenu informacija i dokumentaciju u svim sektorima.

Razvoj savremenih transportnih tehnologija predstavlja jedno od ključnih obilježja XXI vijeka, a među njima posebno mjesto zauzima koncept Hyperloop-a. Ovaj futuristički oblik prevoza, zasnovan na kretanju kapsula kroz niskopritisne cijevi uz pomoć elektromagnetne levitacije, obećava brzine do 1200 kilometara na sat, čime se značajno skraćuje vrijeme putovanja i otvaraju nove perspektive u globalnoj mobilnosti. U tom kontekstu, Dubai se profilisao kao jedan od vodećih gradova u svijetu koji aktivno teži implementaciji Hyperloop sistema, što je u skladu sa njegovom vizijom da postane globalni centar inovacija i pametne infrastrukture.

Jedan od najistaknutijih planova jeste uspostavljanje Hyperloop linije između Dubajija i Abu Dhabija. Današnja udaljenost od približno 140 kilometara zahtijeva oko sat i po vožnje automobilom, dok bi Hyperloop omogućio da se ista relacija pređe za svega dvanaest minuta. Ovaj projekat ne bi samo skratio vrijeme putovanja, već bi radikalno promijenio ekonomsku i društvenu povezanost dva ključna emirata, povećavajući efikasnost poslovanja, mobilnost stanovništva i atraktivnost cijelog regiona za investitore. Tehnologija predviđa korištenje potpuno zatvorenih kapsula koje putuju gotovo bez trenja, a energija bi se djelimično

obezbjedivala iz obnovljivih izvora, prvenstveno solarnih panela postavljenih duž infrastrukture. Time se Dubai nastoji pozicionirati kao pionir održivog transporta, povezujući visoku tehnologiju s principima ekološke odgovornosti. Ipak, realizacija ovog projekta suočava se sa značajnim izazovima. Visoki troškovi izgradnje, tehnološka složenost i pitanja sigurnosti putnika usporavaju njegovu komercijalnu primjenu. Uprkos tome, Dubai nastavlja ulagati u istraživanja i pilot-projekte u saradnji s globalnim partnerima, jer prepoznaje da bi ovakav transport mogao redefinisati način kretanja ljudi i robe u budućnosti. Hyperloop u Dubaiju stoga nije samo infrastrukturni projekat, već i simbol šire vizije grada – vizije u kojoj su inovacije, brzina i održivost temelj društvenog i ekonomskog razvoja. Njegova potencijalna realizacija predstavljala bi važan iskorak ka novoj eri transporta, ali i potvrdu strateške orijentacije Dubajja da bude predvodnik u primjeni najsavremenijih rješenja na globalnom nivou. [13]



Slika 7. Dubai (Ujedinjeni Arapski Emirati) – pametna sigurnost i luksuz [18]



Slika 8. Hyperloop [19]

Dubai je primjer pametnog grada koji spaja tehnološke inovacije, održivost i efikasnu upravu. Njegova vizija zasnovana na digitalizaciji, modernoj infrastrukturi i participaciji građana pokazuje da pametan grad može biti i ekonomski moćan i društveno odgovoran. Iskustvo Dubaja može poslužiti kao inspiracija drugim metropolama, jer pokazuje kako inovacije i tehnologija mogu unaprijediti kvalitet života, olakšati urbanu mobilnost i stvoriti održivu budućnost u modernim gradovima.

New York, najveći grad Sjedinjenih Američkih Država i jedan od najvažnijih globalnih centara finansija, kulture i tehnologije, predstavlja značajan primjer pametnog grada u kontekstu velikih metropola. Sa populacijom od preko osam miliona stanovnika u samom gradu i više od 20 miliona u širem metropolitanskom području, New York se suočava s izazovima urbanizacije, uključujući gužve u saobraćaju, visoke energetske potrebe, sigurnosne prijetnje i nejednakost u pristupu javnim uslugama. Upravo ovi izazovi podstakli su razvoj pametnih rješenja koja nastoje poboljšati kvalitet života građana i unaprijediti funkcionalnost urbanog sistema. Jedna od ključnih karakteristika pametnog New Yorka jeste digitalna infrastruktura i prikupljanje podataka. Grad koristi napredne senzorske mreže i podatkovne platforme za praćenje saobraćaja, kvaliteta zraka, potrošnje energije i sigurnosnih parametara. Podaci se analiziraju u realnom vremenu, omogućavajući brze i precizne odluke u upravljanju urbanim resursima. Projekti poput NYC Open Data omogućavaju dostupnost podataka građanima, istraživačima i preduzećima, što potiče inovacije i transparentnost u javnim službama. [11]

Pametna mobilnost zauzima centralno mjesto u viziji New Yorka. Grad posjeduje jedan od najrazvijenijih sistema javnog prevoza na svijetu, uključujući metro, autobuse, tramvaje i biciklističke staze. Kroz digitalne aplikacije građani imaju uvid u vrijeme dolaska vozila, stanje gužvi i optimalne rute. Dodatno, New York testira i integraciju autonomnih vozila, pametnih semafora i inteligentnih parking sistema, što doprinosi smanjenju zastoja i povećava efikasnost transportnog sistema.



Slika 9. New York (SAD) – digitalna transformacija metropole [20]

Održivi razvoj je još jedan stub pametnog New Yorka. Grad promoviše energetski efikasne zgrade, korištenje obnovljivih izvora energije i smanjenje emisija ugljen-dioksida. Projekti poput OneNYC i NYC Green Infrastructure Plan usmjereni su na smanjenje uticaja klimatskih

promjena, poboljšanje kvaliteta zraka i očuvanje urbanih zelenih površina. Ove inicijative pokazuju kako metropola može balansirati između urbanizacije i očuvanja okoline. Digitalna uprava u New Yorku omogućava građanima da mnoge administrativne i javne usluge obavljaju online. Putem portala i mobilnih aplikacija moguće je plaćanje poreza, prijava problema u gradu, zakazivanje zdravstvenih pregleda i pristup informacijama o javnim projektima. Time se smanjuje birokratija, ubrjava proces donošenja odluka i jača povjerenje građana u gradske institucije. Inovacije i tehnologija u New Yorku fokusirane su i na unapređenje ekonomije i socijalnih usluga. Grad podstiče start-upove, istraživačke institute i tehnološke kompanije da razvijaju rješenja u oblastima vještačke inteligencije, blockchain tehnologije, pametnih zgrada i urbanog planiranja. Kroz ove projekte New York funkcioniše kao živa laboratorija gdje se inovacije testiraju i primjenjuju u stvarnom urbanom kontekstu. [13]

New York predstavlja pametan grad koji se oslanja na tehnologiju, podatke i inovacije kako bi odgovorio na izazove jednog od najvećih i najkompleksnijih urbanih sistema na svijetu. Njegovo iskustvo pokazuje da pametni grad nije samo tehnološki napredan, već i društveno odgovoran, sposoban da poboljša kvalitet života građana, unaprijedi javne usluge i stvori održivu budućnost za svoje stanovnike. [5]

4.2. Pametni gradovi u regionu

Razvoj pametnih gradova u regionu predstavlja zanimljiv i složen proces u kojem se tradicija, naslijeđeni infrastrukturni problemi i brzi tehnološki napredak prepliću u jedinstvenu dinamiku urbanog razvoja. Dok razvijeni evropski centri već godinama uvode sofisticiranija rješenja zasnovana na digitalnim tehnologijama i održivosti, balkanski gradovi tek prolaze kroz fazu prilagođavanja ovim trendovima, nastojeći da uhvate korak s modernim svjetskim metropolama.

Pametni grad nije samo mjesto gdje se koristi savremena tehnologija, već i prostor u kojem se podaci, inovacije i održivi pristupi koriste kako bi se poboljšao kvalitet života građana. Za balkanske gradove ovo je posebno značajno, jer se oni suočavaju s izazovima urbanizacije, zagađenja, neadekvatne infrastrukture i nedostatka efikasnog upravljanja resursima. Upravo zato, ideja pametnog grada nudi šansu da se tradicionalni problemi rješavaju modernim sredstvima.

Primjeri pametnih inicijativa već postoje širom regiona. Ljubljana, glavni grad Slovenije, predstavlja primjer pametnog grada u srednjeevropskom kontekstu, gdje inovacije, održivost i digitalizacija idu ruku pod ruku sa kvalitetom života građana. Grad je prepoznat po svojim ekološkim inicijativama, razvijenoj infrastrukturi i strategiji pametnog urbanog razvoja, koja teži održivom balansiraju ekonomskog, društvenog i ekološkog aspekta urbanog života. Ljubljana je, zahvaljujući ovim mjerama, 2016. godine proglašena „Zelenom prijestonicom Evrope”, što dodatno potvrđuje njen predan rad na održivosti i pametnom upravljanju gradom. Jedan od stubova pametnog razvoja Ljubljane jeste održiva mobilnost.

Grad je razvio efikasan sistem javnog prevoza, uključujući autobuse, biciklističke staze i električne taksije. Poseban akcenat stavljen je na promociju biciklizma i pješaćenja, čime se smanjuje zagađenje i poboljšava kvalitet vazduha u urbanom prostoru. Digitalne aplikacije omogućavaju građanima da planiraju putovanja u realnom vremenu, prate stanice javnog prevoza i dobiju informacije o gužvama. Pametna infrastruktura je također značajan dio strategije Ljubljane. Grad koristi senzore za praćenje kvaliteta vazduha, protoka saobraćaja i potrošnje energije u zgradama. Na osnovu prikupljenih podataka gradske vlasti optimizuju resurse, smanjuju energetske gubitke i planiraju urbane projekte na održiv način. Implementacija

pametne rasvjete i energetske efikasne sistema doprinosi smanjenju troškova i emisija štetnih gasova. Ljubljana je posvećena i digitalizaciji javne uprave.



Slika 10. Ljubljana – Zelena prestonica i jedan od najpametnijih gradova Evrope [21]

Građani imaju pristup online platformama za administrativne usluge, prijavu problema u gradu, zakazivanje termina i plaćanje taksi ili komunalnih usluga. Time se ubrzava proces upravljanja gradom i povećava transparentnost. Grad takođe podstiče participaciju građana kroz digitalne platforme, što omogućava aktivno uključivanje stanovnika u donošenje odluka i kreiranje urbanih politika. Održivost i ekologija su centralni elementi u strategiji pametnog grada. Ljubljana se ističe očuvanjem zelenih površina, parkova i urbanih šuma. Programi kružne ekonomije, reciklaže i smanjenja otpada postali su standard u gradskoj politici. Projekti poput „Pametna Ljubljana” i ekološke inicijative za smanjenje emisija CO₂ pokazuju da grad aktivno radi na smanjenju svog ekološkog otiska i unapređenju kvaliteta života građana. Ljubljana se također fokusira na inovacije i pametne tehnologije. Grad podstiče start-upove i mala preduzeća da razvijaju digitalna rješenja u oblastima urbanog planiranja, energetske efikasnosti i pametnih transportnih sistema. Time se stvara inovativno okruženje u kojem tehnologija služi građanima i doprinosi održivom razvoju. Ljubljana predstavlja pametan grad u kojem tehnologija, održivost i participacija građana funkcionišu u sinergiji. Grad pokazuje da čak i srednjeevropski gradovi mogu implementirati strategije pametnog razvoja koje poboljšavaju kvalitet života, smanjuju ekološki otisak i omogućavaju efikasno upravljanje urbanim resursima. Iskustvo Ljubljane može poslužiti kao primjer drugim gradovima u regionu koji žele kombinovati modernu tehnologiju s ekološkim i društveno odgovornim pristupom razvoju urbanih sredina. [5]

Zagreb, glavni grad Hrvatske, sve više se razvija u pravcu pametnog grada, primjenjujući digitalne tehnologije, inovativne urbane politike i održive pristupe za poboljšanje kvaliteta života svojih građana. Kao najveći urbani centar Hrvatske, Zagreb se suočava s izazovima modernizacije infrastrukture, saobraćaja, zaštite okoline i efikasnog pružanja javnih usluga. Upravo ti izazovi podstiču gradsku upravu da primjenjuje pametna rješenja i integrisane tehnologije u svakodnevno funkcionisanje grada. Jedan od glavnih stubova pametnog razvoja Zagreba jeste digitalizacija javne uprave i e-uprava. Građani mogu putem online portala i mobilnih aplikacija pristupiti raznim uslugama, uključujući prijavu prebivališta, plaćanje poreza, prijavu komunalnih problema ili zakazivanje administrativnih termina. Ovaj pristup smanjuje

birokratiju, ubrzava procese i povećava transparentnost u radu gradskih institucija, čime se jača povjerenje građana u upravu.

Pametna mobilnost također predstavlja važnu komponentu strategije Zagreba. Grad je uveo pametne semafore, digitalne platforme za planiranje putovanja i praćenje saobraćaja u realnom vremenu. Promoviše se korištenje javnog prevoza, biciklizma i pješačenja kroz mrežu biciklističkih staza i pješačkih zona. Uvođenje električnih autobusa i drugih ekološki prihvatljivih vozila doprinosi smanjenju emisija štetnih gasova i zagađenja zraka u gradu. Zagreb ulaže i u održivu infrastrukturu i ekološke inicijative. Pametna rasvjeta, energetski efikasne zgrade i moderni sistemi za upravljanje otpadom doprinose smanjenju potrošnje energije i resursa. Grad takođe radi na povećanju zelenih površina, uređenju parkova i očuvanju prirodnog okoliša unutar urbanih područja. Ove mjere pokazuju posvećenost održivom razvoju i stvaranju zdravijeg gradskog okruženja. U Zagrebu se razvijaju i inovacije i digitalne tehnologije, uz podršku start-up ekosistema i istraživačkih institucija. Primjena pametnih senzora, digitalnih platformi za podatke i aplikacija koje olakšavaju svakodnevni život građana doprinosi modernizaciji grada i stvaranju urbanog okruženja u kojem tehnologija služi društvu. Zagreb se polako ali sigurno razvija u pametan grad, gdje digitalizacija, održivost i inovacije postaju ključne komponente urbanog razvoja. Iako se još uvijek nalazi u fazi prilagođavanja i implementacije mnogih naprednih rješenja, iskustva drugih evropskih i svjetskih pametnih gradova služe kao vrijedan model. Zagreb pokazuje da čak i srednjeevropski gradovi mogu koristiti tehnologiju i inovacije kako bi poboljšali kvalitet života, optimizovali urbane resurse i unaprijedili efikasnost javnih usluga.

Beograd, glavni grad Srbije, predstavlja ključni urbani centar Balkana sa bogatom historijom i brzim tempom savremenog razvoja. U posljednjih nekoliko godina, grad se sve više orijentise ka konceptu pametnog grada, primjenjujući digitalne tehnologije, inovativne urbane politike i održive pristupe za poboljšanje kvaliteta života svojih građana. Beograd se suočava s izazovima urbanizacije, uključujući gužve u saobraćaju, zagađenje vazduha i potrebe za efikasnom javnom infrastrukturom, što podstiče primjenu pametnih rješenja u različitim sektorima.

Jedan od glavnih stubova pametnog razvoja Beograda jeste digitalizacija javne uprave i e-uprava. Građani putem online platformi mogu obavljati administrativne procedure, prijavljivati komunalne probleme, plaćati poreze ili koristiti usluge elektronske prijave. Ovakav pristup povećava efikasnost javne uprave, smanjuje birokratiju i doprinosi transparentnosti rada gradskih institucija. Pametna mobilnost je još jedan važan segment razvoja Beograda. Grad je uveo digitalne platforme za praćenje gradskog saobraćaja, aplikacije za planiranje putovanja i pametne semafore koji optimizuju protok vozila. Promoviše se korišćenje javnog prevoza, biciklističkih staza i pješačkih zona, dok se uvođenje električnih autobusa i ekološki prihvatljivih vozila postepeno širi, smanjujući emisije štetnih gasova i doprinosi poboljšanju kvaliteta vazduha u gradu. Beograd takođe ulaže u održivu infrastrukturu i ekološke inicijative. Grad je započeo projekte pametne rasvjete, energetski efikasnih zgrada i modernih sistema za upravljanje otpadom. Cilj je smanjenje potrošnje energije i resursa, ali i očuvanje prirodnog okoliša unutar urbanih područja. Pored toga, grad planira povećanje zelenih površina i uređenje parkova, što doprinosi zdravijem i ugodnijem životnom prostoru za građane. U okviru pametnog grada, Beograd razvija i inovacije i digitalne tehnologije. Primjena pametnih senzora, digitalnih platformi i inovativnih rješenja u saobraćaju, energetici i javnim uslugama doprinosi modernizaciji grada i boljoj povezanosti građana sa gradskom administracijom. Grad takođe podstiče start-up ekosistem i saradnju sa univerzitetima kako bi stvorio okruženje pogodnije za tehnološki razvoj. [9]



Slika 11. Beograd – kulturni i inovacioni potencijal pametnog grada [22]

Beograd se polako, ali sigurno razvija u pametan grad, gdje digitalizacija, održivost i inovacije postaju ključne komponente urbanog razvoja. Iako je proces transformacije još u toku, grad prepoznaje važnost modernih tehnologija i urbanih rješenja koja poboljšavaju kvalitet života građana. Beograd pokazuje da i balkanski gradovi mogu koristiti principe pametnog razvoja kako bi unaprijedili javne usluge, optimizovali resurse i stvorili održivu budućnost za svoje stanovnike.

Skoplje, glavni grad Sjeverne Makedonije, predstavlja ključni urbani, politički i kulturni centar zemlje. Kao grad koji se rapidno razvija, Skoplje se suočava s izazovima urbanizacije, uključujući gužve u saobraćaju, zagađenje vazduha, energetske potrebe i upravljanje infrastrukturom. Upravo ti izazovi podstiču razvoj koncepta pametnog grada, gdje digitalne tehnologije, inovacije i održiva rješenja imaju za cilj poboljšanje kvaliteta života građana i efikasnije upravljanje gradskim resursima. Jedan od glavnih stubova pametnog razvoja Skoplja jeste digitalizacija javne uprave i e-uprava. Grad kroz online portale i mobilne aplikacije omogućava građanima pristup administrativnim uslugama, prijavu komunalnih problema i plaćanje taksi ili naknada. Ovaj pristup povećava efikasnost, smanjuje birokratiju i doprinosi većoj transparentnosti rada lokalne samouprave. Pametna mobilnost zauzima posebno mjesto u strategiji Skoplja. Grad razvija digitalne platforme za praćenje saobraćaja i planiranje putovanja u realnom vremenu. Promoviše se korištenje javnog prevoza, biciklističkih staza i pješačkih zona, dok se postepeno uvode električni autobusi i ekološki prihvatljiva vozila. Ovi koraci doprinose smanjenju zagađenja, povećanju efikasnosti saobraćaja i poboljšanju kvaliteta života građana. Skoplje također ulaže u održivu infrastrukturu i ekološke inicijative. Primjena pametne rasvjete, energetske efikasne zgrada i modernih sistema za upravljanje otpadom smanjuje potrošnju energije i resursa. Grad također planira povećanje zelenih površina, uređenje parkova i očuvanje urbanih ekosistema, čime se stvara zdravije i ugodnije životno okruženje.

U okviru pametnog grada, Skoplje razvija i inovacije i digitalne tehnologije. Grad koristi senzore, digitalne platforme i softverska rješenja za praćenje i optimizaciju potrošnje energije, saobraćaja i komunalnih usluga. Podstiče se saradnja sa univerzitetima, start-up ekosistemom i

privatnim sektorom kako bi se stvorilo okruženje za inovacije i primjenu novih tehnologija u urbanom razvoju.

Skoplje se nalazi na putu transformacije u pametan grad, gdje digitalizacija, održivost i inovacije postaju ključni alati urbanog razvoja. Iako su mnogi projekti još u fazi implementacije, grad prepoznaje značaj modernih tehnologija i pametnih rješenja za poboljšanje kvaliteta života i efikasnije upravljanje resursima. Skoplje pokazuje da i glavni gradovi balkanskog regiona mogu koristiti principe pametnog urbanog razvoja kako bi stvorili održivu, funkcionalnu i modernu urbanu sredinu.

Podgorica, glavni grad Crne Gore, predstavlja centralni politički, ekonomski i kulturni centar zemlje. Kao urbanistički i administrativni epicentar, grad se suočava s izazovima modernizacije infrastrukture, održivog razvoja, saobraćaja i pružanja kvalitetnih javnih usluga. Upravo zbog ovih izazova, Podgorica se sve više okreće konceptu pametnog grada, primjenjujući digitalne tehnologije i inovativna rješenja kako bi poboljšala kvalitet života svojih građana i optimizovala urbane resurse. Jedan od osnovnih stubova pametnog razvoja Podgorice jeste digitalizacija javne uprave i e-uprava. Grad putem online platformi i mobilnih aplikacija omogućava građanima pristup administrativnim uslugama, prijavu komunalnih problema, plaćanje poreza i pristup informacijama o gradskim projektima. Ovaj pristup smanjuje birokratiju, povećava efikasnost i doprinosi transparentnosti u radu lokalne samouprave.

Pametna mobilnost zauzima značajno mjesto u strategiji Podgorice. Grad razvija digitalne platforme za praćenje saobraćaja, aplikacije za planiranje putovanja i pametne semafore koji optimizuju protok vozila. Promoviše se korištenje javnog prevoza, biciklističkih staza i pješačkih zona, dok se postepeno uvode električni autobusi i vozila niske emisije. Ovi koraci doprinose smanjenju zagađenja vazduha, smanjenju gužvi i povećanju bezbjednosti u saobraćaju. Podgorica također ulaže u održivu infrastrukturu i ekološke inicijative. Primjena pametne rasvjete, energetske efikasne zgrade i modernih sistema za upravljanje otpadom doprinosi racionalnoj upotrebi resursa i smanjenju negativnog uticaja na životnu sredinu. Grad planira povećanje zelenih površina, uređenje parkova i očuvanje rijeka i prirodnih zona unutar urbanih područja, čime se stvara zdravije i ugodnije životno okruženje. U okviru pametnog grada, Podgorica razvija i inovacije i primjenu digitalnih tehnologija. Kroz senzore, digitalne platforme i softverska rješenja grad prati i optimizuje potrošnju energije, saobraćaj, vodovodnu i komunalnu infrastrukturu. Podstiče se saradnja sa univerzitetima, privatnim sektorom i start-up zajednicom kako bi se stvorilo okruženje za inovacije i primjenu novih tehnologija u svakodnevnom životu građana.

Podgorica se nalazi na putu transformacije u pametan grad, gdje digitalizacija, održivost i inovacije postaju ključni alati urbanog razvoja. Iako je proces implementacije pametnih rješenja još u ranoj fazi, grad prepoznaje značaj modernih tehnologija i strategija koje poboljšavaju kvalitet života, optimizuju resurse i doprinose efikasnijem funkcionisanju lokalne zajednice. Podgorica pokazuje da i glavni gradovi manjih balkanskih država mogu primjenjivati principe pametnog razvoja kako bi stvorili održivu i funkcionalnu urbanu sredinu.

Jedan od glavnih stubova pametnog razvoja Sarajeva jeste digitalizacija javne uprave i e-uprava. Grad omogućava građanima pristup administrativnim uslugama putem online portala i mobilnih aplikacija, uključujući prijavu komunalnih problema, plaćanje poreza, zakazivanje termina i pristup informacijama o gradskim projektima. Ovakav pristup smanjuje birokratiju, ubrzava procese i povećava transparentnost u radu lokalnih institucija. Pametna mobilnost zauzima posebno mjesto u strategiji Sarajeva. Grad razvija digitalne platforme za praćenje saobraćaja,

pametne semafore i aplikacije koje pomažu građanima u planiranju putovanja u realnom vremenu. Promoviše se korištenje javnog prevoza, biciklističkih staza i pješačkih zona. Planira se i postepeno uvođenje ekološki prihvatljivih vozila kako bi se smanjile gužve i emisije štetnih gasova, te unaprijedila sigurnost u saobraćaju. Sarajevo također ulaže u održivu infrastrukturu i ekološke inicijative. Kroz pametnu rasvjetu, energetske efikasne zgrade i savremene sisteme upravljanja otpadom grad nastoji smanjiti potrošnju resursa i negativan uticaj na životnu sredinu. Pored toga, povećava se broj zelenih površina, parkova i uređenih urbanih zona, što doprinosi stvaranju zdravijeg i ugodnijeg životnog okruženja za građane. U okviru pametnog grada, Sarajevo razvija i inovacije i digitalne tehnologije. Kroz primjenu senzora, digitalnih platformi i softverskih rješenja prate se saobraćaj, potrošnja energije i komunalne usluge, a grad podstiče saradnju sa univerzitetima i start-up zajednicama kako bi se stvorilo inovativno okruženje za urbani razvoj i primjenu novih tehnologija u svakodnevnom životu.

Sarajevo se polako razvija u pametan grad, gdje digitalizacija, održivost i inovacije postaju ključni alati urbanog razvoja. Iako se mnogi projekti još uvijek nalaze u fazi implementacije, grad prepoznaje značaj modernih tehnologija i pametnih rješenja za poboljšanje kvaliteta života građana, optimizaciju resursa i efikasno upravljanje urbanim sistemima. Sarajevo pokazuje da i glavni gradovi balkanskog regiona mogu primjenjivati principe pametnog razvoja kako bi stvorili održivu, funkcionalnu i modernu urbanu sredinu.

Ipak, razvoj pametnih gradova u regionu suočava se s brojnim preprekama. Finansijska ograničenja i nedostatak stabilnih investicija često usporavaju projekte, dok administrativne barijere i nedovoljna saradnja između lokalnih i državnih institucija otežavaju njihovu realizaciju. Osim toga, digitalna transformacija zahtijeva i edukaciju građana, jer tehnološki napredak nema smisla ako ga stanovništvo ne prepoznaje i ne koristi.

Uprkos ovim izazovima, perspektive za budućnost ostaju optimistične. Evropski fondovi, posebno oni namijenjeni digitalizaciji i održivom razvoju, otvaraju velike mogućnosti za ubrzani napredak. Balkanski gradovi, oslanjajući se na svoje mlade i kreativne IT stručnjake, mogu stvoriti vlastita rješenja prilagođena lokalnim potrebama, čime bi se smanjio jaz između njih i razvijenijih urbanih sredina Evrope. [9]

Pametni gradovi u regionu nisu još uvijek u potpunosti ostvareni koncept, ali su postali neizbježan pravac razvoja. Njihova budućnost zavisi od spremnosti da se kombinuju inovacije, održivi principi i aktivno učešće građana. Ako taj proces bude vođen strateški i uz dugoročna ulaganja, balkanski gradovi mogu postati primjeri transformacije i dokaz da tehnologija, kada se koristi na pravi način, zaista može učiniti život boljim i jednostavnijim.

4.3. Prijedlozi unapređenja pametnih rješenja u gradovima

Pametni gradovi predstavljaju savremeni odgovor na rastuće izazove urbanizacije, klimatskih promjena i potreba građana za kvalitetnijim životom. Njihov razvoj podrazumijeva primjenu inovativnih tehnologija, održivih rješenja i uključivanje građana u proces donošenja odluka. Međutim, izgradnja pametnog grada nije jednokratni proces, već zahtijeva stalno unapređenje postojećih sistema.

Jedan od ključnih pravaca unapređenja odnosi se na digitalnu infrastrukturu i povezivost. Da bi grad bio uistinu pametan, neophodno je osigurati stabilnu i brzu internet mrežu, što podrazumijeva uvođenje 5G tehnologije i optičkih sistema. Na taj način stvaraju se uslovi za razvoj „Internet stvari“ – mreže senzora i uređaja koji komuniciraju u realnom vremenu i

pomažu u upravljanju saobraćajem, potrošnjom energije, kvalitetom vazduha ili javnim uslugama. Pored toga, važno je omogućiti pristup otvorenim podacima kako bi i građani i privreda mogli razvijati sopstvene digitalne usluge i inovacije.

Saobraćaj i mobilnost takođe predstavljaju važnu oblast za unapređenje. Gradovi se sve više suočavaju s problemima zagušenja, nedostatka parkinga i zagađenja, pa je rješenje uvođenje pametnih semafora, integriranih aplikacija za planiranje putovanja i snažna podrška električnim vozilima. Mikromobilnost, poput bicikala i električnih skutera, uz sigurne biciklističke staze, doprinosi smanjenju gužvi i emisije štetnih gasova, ali i zdravijem načinu života stanovnika.

U oblasti održivosti i energetske efikasnosti, prioritet treba dati pametnoj rasvjeti, obnovljivim izvorima energije i pametnim mrežama. Ugradnja LED rasvjete sa sensorima pokreta smanjuje troškove, a solarni paneli na javnim zgradama doprinose energetskej nezavisnosti. Pametne mreže omogućavaju balansiranje potrošnje i proizvodnje električne energije, što je posebno važno u periodima povećane potražnje. Ekologija i očuvanje životne sredine čine još jedan stub razvoja pametnih gradova. Pametne kante za otpad sa sensorima popunjenosti smanjuju troškove prikupljanja otpada i povećavaju efikasnost. Sensori za mjerenje kvaliteta vazduha, vode i buke omogućavaju građanima da prate stanje životne sredine u realnom vremenu, dok zeleni krovovi i vertikalni vrtovi doprinose smanjenju urbanog zagađenja i stvaranju prijatnijeg ambijenta u gradskim sredinama.

Unapređenje pametnih gradova nije moguće bez modernizacije javne uprave. Digitalizacija usluga, poput online izdavanja dozvola, prijave prebivališta ili plaćanja poreza, značajno olakšava život građana i smanjuje birokratiju. Pored toga, razvoj platformi za e-participaciju omogućava građanima da učestvuju u donošenju odluka, predlažu inicijative i glasaju o važnim pitanjima za zajednicu. Bezbjednost u pametnim gradovima dobija novu dimenziju kroz primjenu tehnologije. Pametni video-nadzor, uz poštovanje privatnosti, može doprinijeti većoj sigurnosti u saobraćaju i javnim prostorima. Takođe, mobilne aplikacije koje upozoravaju građane na poplave, požare ili druge krizne situacije predstavljaju važan element zaštite i pravovremenog reagovanja.

Konačno, pametni gradovi ne bi smjeli zanemariti obrazovanje i inovacije. Digitalne učionice, STEM centri i inovacioni hubovi podstiču kreativnost, dok podrška start-up ekosistemu otvara prostor za nova rješenja i privlačenje investicija. Pametne biblioteke i laboratorije dostupne građanima stvaraju osjećaj zajedničkog razvoja i inovativnog duha.

Prije svega, unapređenje pametnih gradova podrazumijeva snažnije investiranje u infrastrukturu. Modernizacija saobraćajne mreže, razvoj pametnog javnog prevoza i implementacija senzora za praćenje saobraćaja omogućavaju smanjenje gužvi, brže kretanje i manju emisiju štetnih gasova. Uvođenje električnih i autonomnih vozila, kao i biciklističkih staza, dodatno doprinosi održivosti i zdravijem urbanom životu.

Drugi ključni aspekt unapređenja jeste digitalna transformacija javnih usluga. Razvoj e-uprave i dostupnost usluga putem digitalnih platformi smanjuju birokratske prepreke, ubrzavaju procese i čine upravu transparentnijom. Pametne aplikacije koje građanima omogućavaju da prijave komunalne probleme ili da dobiju informacije o gradskim dešavanjima jačaju povezanost između stanovnika i lokalne vlasti. Poseban značaj ima i energetska efikasnost. Ulaganje u obnovljive izvore energije, poput solarnih panela i vjetroelektrana, te uvođenje pametnih mreža za distribuciju energije, ne samo da smanjuju troškove, već doprinose i očuvanju životne

sredine. Pametne zgrade sa sensorima za regulaciju potrošnje električne energije i vode doprinose ekonomičnijem upravljanju resursima.

Neizostavan faktor unapređenja pametnih gradova je i participacija građana. Aktivno uključivanje stanovnika u procese donošenja odluka, kroz digitalne platforme i javne konsultacije, povećava povjerenje i stvara osjećaj zajedničke odgovornosti za razvoj zajednice. Pametni gradovi nisu samo tehnološki napredni, već i društveno inkluzivni prostori.

Na kraju, neophodno je razvijati edukaciju i digitalne vještine stanovništva. Bez osposobljenih građana koji znaju koristiti nove tehnologije, pametne inicijative neće ostvariti puni potencijal. Stoga ulaganje u obrazovanje i digitalnu pismenost predstavlja dugoročno rješenje koje osigurava uspjeh pametnih gradova.

Može se zaključiti da unapređenje pametnih gradova zahtijeva integrisan pristup u kojem tehnologija, održivost i participacija građana djeluju zajedno. Tek kada se ovi elementi objedine, grad može postati mjesto koje nije samo efikasno i moderno, već i ugodno za život svojih stanovnika. Pametni gradovi budućnosti biće oni koji uspiju da spoje digitalne inovacije sa ljudskim potrebama, stvarajući tako održive i pravedne urbane zajednice.

5. ZAKLJUČAK

Razvoj pametnih gradova predstavlja jedan od ključnih odgovora na savremene društvene, ekološke i ekonomske izazove. Kroz integraciju digitalnih tehnologija, inovativnih rješenja i održivih praksi, pametni gradovi nastoje poboljšati kvalitet života građana, unaprijediti javne usluge, smanjiti troškove i optimizovati upotrebu resursa.

Pravci razvoja jasno ukazuju na nekoliko ključnih trendova: digitalizaciju i upotrebu vještačke inteligencije, zelenu i održivu energiju, razvoj pametne infrastrukture, unapređenje mobilnosti, jačanje participacije građana i transparentno upravljanje. Poseban akcenat stavlja se na povezivanje svih segmenata urbanog sistema u jednu funkcionalnu cjelinu koja se temelji na podacima i interoperabilnosti.

Pametni gradovi danas predstavljaju jedan od najvažnijih koncepata urbanog razvoja. Njihova suština ne ogleda se samo u primjeni savremenih tehnologija, već i u stvaranju održivog i kvalitetnog prostora za život ljudi. Razvoj pametnih gradova zasniva se na ideji da digitalne inovacije, energetska efikasnost i građanska participacija zajedno čine osnovu za bolju budućnost. U tom smislu, pametni grad postaje svojevrsna laboratorija u kojoj se ispituju nova rješenja za globalne izazove, poput klimatskih promjena, zagađenja, nedostatka resursa i pritiska sve većeg broja stanovnika.

Pravci razvoja pametnih gradova kreću se u nekoliko ključnih smjerova. Prije svega, digitalna transformacija postaje neizostavan dio urbane svakodnevnice. Elektronske usluge, mobilne aplikacije i vještačka inteligencija mijenjaju način na koji građani komuniciraju s institucijama i koriste javne servise. Time se smanjuje birokratija, ubrzava donošenje odluka i povećava transparentnost. Istovremeno, koncept održivosti postaje temelj svake pametne urbane strategije. Gradovi budućnosti teže ka „zelenim gradovima“, u kojima dominira korištenje obnovljivih izvora energije, efikasna potrošnja resursa i smanjenje emisije štetnih gasova. Pametne mreže za distribuciju energije, inovativni sistemi za upravljanje otpadom i razvoj urbanih zelenih površina predstavljaju put ka ekološki odgovornom gradu. Veliku ulogu ima i razvoj pametne mobilnosti. Električna i autonomna vozila, digitalne platforme za javni prevoz i promocija održivih oblika kretanja, poput biciklističkih staza ili „car-sharing“ sistema, stvaraju gradove u kojima saobraćaj

postaje bezbjedniji, brži i čistiji. Ovdje se jasno uočava veza između tehnologije i kvaliteta života, jer se kroz mobilnost direktno utiče na zdravlje i svakodnevicu građana.

Pametni gradovi takođe teže ka jačanju društvene uključenosti i participacije građana. Digitalne platforme omogućavaju stanovnicima da aktivno učestvuju u donošenju odluka i oblikovanju politika. Na taj način, grad postaje zajednički projekat, a ne prostor u kojem vlast i građani stoje na suprotnim stranama. Ne smije se zaboraviti ni pitanje bezbjednosti i otpornosti. Sajber bezbjednost, zaštita podataka, ali i priprema gradova za krizne situacije poput poplava, požara ili pandemija, postaju nezaobilazni aspekti modernih urbanih strategija. Konačno, pametni gradovi u svom razvoju ne smiju zanemariti ni obrazovanje, kulturu i inovacije. Umrežavanje univerziteta, istraživačkih centara, start-up ekosistema i kulturnih institucija stvara osnovu za „pametne zajednice znanja“ u kojima se tehnologija koristi kao alat za društveni napredak.

Može se konstatovati da budućnost pametnih gradova leži u stvaranju uravnoteženog sistema koji je istovremeno tehnološki napredan, ekološki održiv i društveno inkluzivan. Tehnologija u ovom procesu nije cilj sama po sebi, već sredstvo kojim se gradi bolji, sigurniji i kvalitetniji život u urbanim sredinama. Pametni gradovi nisu samo vizija budućnosti – oni su postepeno postaju svakodnevna realnost, a pravci njihovog razvoja jasno pokazuju da će upravo oni biti ključni nosioci održivog i humanog urbanog života u XXI vijeku.

LITERATURA

- [1] Angelidou, M. (2014). Smart city policies: A spatial approach. *Cities*, 41, S3-S11.
- [2] Attaran, H., Kheibari, N., & Bahrepour, D. (2022). Toward integrated smart city: A new model for implementation and design challenges. *GeoJournal*, 87(Suppl 4), 511-526.
- [3] Chand, R., Sharma, B., & Kumar, S. A. (2025). Systematic review of mobile robots applications in smart cities with future directions. *Journal of Industrial Information Integration*, 45, 100821.
- [4] Dameri, R. P. (2017). *Smart city implementation*. Progress in IS; Springer: Genoa, Italy.
- [5] Goumiri, S., Yahiaoui, S., & Djahel, S. (2025). Smart Mobility in Smart Cities: Emerging challenges, recent advances and future directions. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 29(1), 81-117.
- [6] Kaiser, Z. A. (2024). Smart governance for smart cities and nations. *Journal of Economy and Technology*, 2, 216-234.
- [7] Kaiser, Z. A., & Deb, A. (2025). Sustainable smart city and Sustainable Development Goals (SDGs): a review. *Regional Sustainability*, 6(1), 100193.
- [8] K' Akumu, O. A., & Alhamoudi, A. M. (2025). The smart city as policy concept in the Arab world: A critical research into the strategic visions of urban development in Abu Dhabi. *Journal of Asian and African Studies*, 60(3), 1456-1470.
- [9] Kim, J. (2022). Smart city trends: A focus on 5 countries and 15 companies. *Cities*, 123, 103551.
- [10] Mongo, M., & Daidj, N. (2025). Digital twin: a driver of sustainable smart cities? Evidence from a bibliometric analysis. *Environmental Economics and Policy Studies*, 1-29.
- [11] Mora, L., Gerli, P., Batty, M., Binet Royall, E., Carfi, N., Coenegrachts, K. F., ... & Ziemer, G. (2025). Confronting the smart city governance challenge. *Nature Cities*, 1-4.
- [12] Pradhan, D., Sahu, P. K., Tun, H. M., & Majumder, T. (2025). 5G-Enabled Edge Computing for Smart Cities. In *5G Green Communication Networks for Smart Cities* (pp. 245-260). Apple Academic Press.
- [13] Yaqoob, I., Salah, K., Jayaraman, R., & Omar, M. (2023). Metaverse applications in smart cities: Enabling technologies, opportunities, challenges, and future directions. *Internet of Things*, 23, 100884.
- [14] <https://rosmiman.com/en/news/news/the-barcelona-city-council-awards-rosmiman-smart-cities-the-advanced-public-asset-management-system-as-basis-of-the-smart-city-initiatives-in-barcelona/> (pristupljeno 05.07.2025.);
- [15] <https://amsterdamsmartcity.com/> (pristupljeno 12.07.2025.);
- [16] <https://www.bbc.com/news/business-42090987> (pristupljeno 20.07.2025.);
- [17] <https://www.smartcitiesworld.net/news/tokyo-named-most-innovative-city-in-annual-ranking-6604> (pristupljeno 31.07.2025.);
- [18] <https://www.arabianbusiness.com/culture-society/dubai-abu-dhabi-rank-in-top-5-smart-cities-in-imd-2025-index-amid-global-housing-crisis> (pristupljeno 05.08.2025.);

- [19] <https://railway-news.com/hyperloop-one-dubai-abu-dhabi-12-minutes/> (pristupljeno 15.08.2025.);
- [20] <https://www.govtech.com/smart-cities/new-york-city-launches-a-smart-city-testbed-program> (pristupljeno 20.08.2025.);
- [21] <https://www.recyclingbins.co.uk/blogs/news/the-worlds-greenest-cities-ljubljana-slovenia> (pristupljeno 21.08.2025.);
- [22] [<https://www.anteverti.com/projects/smart-belgrade/>] (pristupljeno 22.08.2025.);

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна и универзитетска библиотека
Републике Српске, Бања Лука

37.018.43:004.738.5(082)(0.034.2)

**МЕЂУНАРОДНИ научно-стручни скуп Информационе
технологије за е-Образовање ИТеО (17 ; 2025 ; Бања
Лука)**

Zbornik radova [Електронски извор] = Proceedings / XVII
međunarodni naučno-stručni skup Informacione tehnologije za e-
Obrazovanje ИТеО, 26-27.10.2025. Banja Luka ; urednici Dalibor P.
Drljača, Dražen Marinković, Siniša Tomić ; pokrovitelji konferencije
Agencija za informaciono-komunikacione tehnologije Republike
Srpske i Akademija nauka i umjetnosti Republike Srpske. - Onlajn
izd. - Banja Luka : Panevropski univerzitet Apeiron, 2025. - (Edicija
Informacione tehnologije = Information technologies ; knj. br. 41)

Системски захтјеви нису наведени. - Наћин pristupa (URL): Наћин
pristupa (URL): <https://www.iteo.rs.ba/>. - Насл. са насловног
екрана. - Опис извора дана 14.10.2025. - Ел. публикација у ПДФ
формату опсега 173 стр. - Текст ћир. и лат. - Радови на срп. и
енгл. језику. - Библиографија уз сваки рад. - Abstracts.

ISBN 978-99976-87-58-6

COBISS.RS-ID 143323905