

ZBORNIK RADOVA

Naučno/znanstveno-stručna konferencija

# DIGITALIZACIJA U ZELENOJ EKONOMIJI

PROCEEDINGS

Scientific-professional conference

## DIGITALIZATION IN THE GREEN ECONOMY



Mostar, 21. maja/svibnja 2025. godine

**Izdavači/Nakladnici/Publishers**

Federalno ministarstvo obrazovanja i nauke/znanosti  
Zaklada za inovacijski i tehnološki razvitak, INTERA TP Mostar

**Za izdavače/Za nakladnike/For Publishers**

prof. dr. Jasna Duraković, ministrica  
Vedran Šimunović, izvršni direktor INTERA TP-a

**Organizacioni odbor/Organizacijski odbor/Organizing Board**

Marko-Antonio Brkić (FMON), Vahida Krekić (FMON),  
dr. sc. Damir Ravlić (FMON), Vedran Šimunović (INTERA TP), Ivana Pušić (INTERA TP)

**Odgovorni urednik/Executive Editor**

Vahida Krekić

**Tehnički urednik/Technical Editor**

Marija Karlušić

**Lektori i korektori/Language Editors and Proofreaders**

dr. sc. Edim Šator, mr. Edita Mulaosmanović, prof.

**Štampa/Tisak/Print**

Print Team Mostar

**Tiraž/Naklada/Print Run**

300

CIP – Katalogizacija u publikaciji  
Nacionalna i univerzitetska biblioteka  
Bosne i Hercegovine, Sarajevo

338.23:502.17]:004(497.6)(063)(082)

Naučno/znanstveno-stručna konferencija “Digitalizacija u zelenoj ekonomiji”  
(Mostar, 2025.)

Zbornik radova / Naučno/znanstveno-stručna konferencija “Digitalizacija u zelenoj ekonomiji”, Mostar, 21. maj/svibanj 2025. godine = Proceedings / Scientific-Professional Conference “Digitalization in the Green Economy”, Mostar, 21. may 2025. godine - Mostar: Federalno ministarstvo obrazovanja i nauke/znanosti : Fondacija za inovacijski i tehnološki razvoj, 2024. - 352 str. : graf. prikazi; 25 cm

Biografije / životopisi autora: str. 333-352 - Bibliografija uz sve radove; bibliografske i druge bilješke uz tekst. – Registar.

ISBN 978-9958-11-185-3 (Federalno ministarstvo obrazovanja i nauke/znanosti)  
ISBN 978-9926-8747-3-5 (Zaklada za inovacijski i tehnološki razvitak)

Scientific-Professional Conference “Digitalization in the Green Economy”, vidi naučno/znanstveno-stručna konferencija “Digitalizacija u zelenoj ekonomiji”; 2025; Mostar

COBISS.BH-ID 66867974

# SADRŽAJ

## **Nikolina Landeka**

|                                                                                                                                          |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| E-OTPAD: SKRIVENI RUDNICI U NAŠIM LADICAMA: PRONALAŽENJE INOVATIVNOG NAČINA ZA RJEŠAVANJE PROBLEMA NAGOMILAVANJA ELEKTRONSKOG OTPADA..11 |  |
| E-WASTE: HIDDEN MINES IN OUR DRAWERS FINDING AN INNOVATIVE WAY TO SOLVE THE PROBLEM OF THE ACCUMULATION OF ELECTRONIC WASTE.....18       |  |

## **Milica Kosić**

|                                                                        |  |
|------------------------------------------------------------------------|--|
| ŠTA AKO? KOBALT, ELEKTRIČNA VOZILA I BOSNA I HERCEGOVINA.....20        |  |
| WHAT IF? COBALT, ELECTRICAL VEHICLES AND BOSNIA AND HERZEGOVINA.....28 |  |

## **Suzana Gotovac Atlagić**

|                                                                                      |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--|
| RIZICI U NEETIČKOJ UPOTREBI VJEŠTAČKE INTELIGENCIJE U NAUČNOM IZDAVAŠTVU.. ..30      |  |
| RISKS IN UNETHICAL USE OF ARTIFICIAL INTELIGENCE IN THE SCIENTIFIC PUBLISHING.....36 |  |

## **Denis Berberović, Ajna Duzić**

|                                                                                                    |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| KONCEPT PAMETNOG GRADA KAO STRATEGIJA U RAZVOJU GRADSKOG MARKETINGA: PRIMJER GRADA SARAJEVA.....37 |  |
| THE CONCEPT OF SMART CITY AS A GREEN ECONOMY STRATEGY: CASE STUDY OF THE CITY OF SARAJEVO.....48   |  |

## **Fatka Kulenović, Jasna Hamzabegović, Jasmina Ibrahimpašić, Šejla Jusić Gerzić**

|                                                                                                          |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| PRIMJENA MATEMATIČKOG MODELA I GRINOVOG ALGORITMA UOPTIMIZACIJI ZELENIH LOGISTIČKIH LANACA.....50        |  |
| APPLICATION OF MATHEMATICAL MODEL AND GREEN'S ALGORITHM IN OPTIMIZATION OF GREEN LOGISTICS CHAINS.....60 |  |

## **Emir Nezirić, Damir Špago**

|                                                                                                  |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| DIGITALIZACIJA KAO POKRETAČ HIBRIDNIH ENERGETSKIH SISTEMA U DISTRIKTIMA S VIŠKOM ENERGIJE.....61 |  |
| DIGITALIZATION AS A CATALYST FOR HYBRID ENERGY SYSTEMS IN POSITIVE ENERGY DISTRICTS .....67      |  |

## **Mirnesa Baraković Nurikić**

|                                                                                                                                |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| DIGITALNE TEHNOLOGIJE KAO POKRETAČ ZELENE TRANZICIJE: MEĐUNARODNA EKONOMSKA PERSPEKTIVA ODRŽIVOG RAZVOJA.....69                |  |
| DIGITAL TECHNOLOGIES AS A DRIVER OF GREEN TRANSITION: AN INTERNATIONAL ECONOMIC PERSPECTIVE ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT .....77 |  |

## **Mirza Alendar**

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| BIM U GRAĐEVINARSTVU.....79         |  |
| BIM IN CONSTRUCTION INDUSTRY.....87 |  |

## **Tarik Hubana, Migdat Hodžić**

|                                                                                                                         |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| FUZIJA UMJETNE INTELIGENCIJE I MODELA ZA OPTIMIZACIJU ZA POBOLJŠANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI U PAMETNIM FABRIKAMA.....88 |  |
| FUSION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND OPTIMIZATION MODELS FOR ENHANCING ENERGY EFFICIENCY IN SMART FACTORIES.....95     |  |

## **Alen Bernadić**

|                                                                          |  |
|--------------------------------------------------------------------------|--|
| PRIMJENA VELIKIH JEZIČNIH MODELA U UPRAVLJANJU PAMETNIM GRADOVIMA.....96 |  |
| APPLICATION OF LARGE LANGUAGE MODELS IN SMART CITY MANAGEMENT....104     |  |



**Azelma Demirović, Amir Kurtić**

|                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| PRVA ELEKTRIČNA PEĆ S ELEKTRIČNIM SISTEMOM DODATNOG SAGORIJEVANJA U MANN+HUMMEL BA.....  | 106 |
| FIRST ELECTRIC FURNACE WITH ELECTRIC ADDITIONAL COMBUSTION SYSTEM AT MANN+HUMMEL BA..... | 113 |

**Jasmina Ibrahimpašić, Jasna Hamzabegović, Fatka Kulenović**

|                                                                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| DIGITALNA PODRŠKA U ZBRINJAVANJU FARMACEUTSKOG OTPADA: RAZVOJ APLIKACIJE ZA EVIDENCIJU I PRAVILNO ODLAGANJE LIJEKOVA IZ KUĆNE APOTEKE.....                  | 114 |
| DIGITAL SUPPORT IN PHARMACEUTICAL WASTE MANAGEMENT: DEVELOPMENT OF AN APPLICATION FOR TRACKING AND PROPER DISPOSAL OF MEDICATIONS FROM HOME PHARMACIES..... | 120 |

**Una Drakulić, Sajra Kasić Kurtagić, Melisa Haurdić**

|                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| MATEMATIČKO MODELOVANJE PMSG GENERATORA ZA PRIMJENU U VJETROENERGETSKIM SISTEMIMA..... | 122 |
| MATHEMATICAL MODELING OF PMSG GENERATOR FOR APPLICATION IN WIND ENERGY SYSTEMS.....    | 131 |

**Melisa Haurdić, Una Drakulić, Sajra Kasić Kurtagić**

|                                                                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| INTEGRACIJA KOMPOZITNOG SIMPSONOVOG PRAVILA ZA PROCJENU MPPT-A U PV SISTEMIMA ZA POTREBE ZELENE TRANZICIJE..... | 133 |
| INTEGRATION OF COMPOSITE SIMPSON'S RULE FOR MPPT ESTIMATION IN PV SYSTEMS FOR GREEN TRANSITION APPLICATION..... | 141 |

**Sajra Kasić Kurtagić, Melisa Haurdić, Una Drakulić**

|                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| OPTIMIZACIJA UGLA ZAKRETANJA LOPATICA VJETROTURBINE PRIMJENOM NEWTON-RAPHSON METODE..... | 142 |
| OPTIMIZATION OF WIND TURBINE BLADE ROTATION ANGLE USING THE NEWTON-RAPHSON METHOD.....   | 150 |

**Almir Osmanović, Jasmin Halilović, Vedad Bešić, Amir Emkić**

|                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| PRIMJENA MEHATRONIKE U DIZAJNU I IMPLEMENTACIJI SISTEMA ZA NAVODNJAVANJE.....           | 152 |
| APPLICATION OF MECHATRONICS IN THE DESIGN AND IMPLEMENTATION OF IRRIGATION SYSTEMS..... | 159 |

**Igor Jurčić**

|                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| VAŽNOST I ULOGA TELEKOM OPERATORA ZA RAZVOJ PROIZVODA I USLUGA PAMETNE AGRIKULTURE.....                          | 160 |
| THE IMPORTANCE AND ROLE OF TELECOM OPERATORS FOR THE DEVELOPMENT OF SMART AGRICULTURE PRODUCTS AND SERVICES..... | 167 |

**Vlado Grubišić**

|                                                                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| OPTIMIZIRANJE UPRAVLJANJA NAVODNJAVANJEM POMOĆU UMJETNE INTELIGENCIJE: KORELACIJA ATMOSFERSKIH UVJETA I VLAGE U TLU POMOĆU STROJNOG UČENJA.....     | 168 |
| OPTIMIZING IRRIGATION MANAGEMENT USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE: CORRELATION OF ATMOSPHERIC CONDITIONS AND SOIL MOISTURE USING MACHINE LEARNING..... | 174 |

**Martina Arapović, Višnja Vasilj**

|                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| POTENCIJAL FITOKEMIKA LIJA U DIGITALNOLNOJ TRANSORMACIJI ZELENE EKONOMIJE..... | 175 |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| POTENTIAL OF PHYTOCHEMICALS IN THE DIGITAL TRANSFORMATION OF THE GREEN ECONOMY.....                                                 | 181 |
| <b>Seid Konjhodžić, Armina Hubana</b>                                                                                               |     |
| INTEGRACIJA ESG PRINCIPA U REGULATORNI OKVIR ZA UPRAVLJANJE KLIMATSKIM I OKOLIŠNIM RIZICIMA U BOSNI I HERCEGOVINI.....              | 184 |
| INTEGRATION OF ESG PRINCIPLES INTO THE REGULATORY FRAMEWORK FOR MANAGING CLIMATE AND ENVIRONMENTAL RISKS IN BOSNIA AND HERZEGOVIN.. | 191 |
| <b>Mensur Herić</b>                                                                                                                 |     |
| ZELENI LANCI OPSKRBE: PRILIKE I IZAZOVI U PRIMJENI DIGITALNIH TEHNOLOGIJA.....                                                      | 193 |
| GREEN SUPPLY CHAINS: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES IN THE APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES.....                                   | 202 |
| <b>Amra Gadžo, Nedžad Jupić</b>                                                                                                     |     |
| E-FAKTURA KAO ALAT ZA DEKARBONIZACIJU RAČUNOVODSTVENIH PROCESA U B2B SEKTORU.....                                                   | 204 |
| E-INVOICING AS A TOOL FOR THE DECARBONISATION OF ACCOUNTING PROCESSES IN B2B SECTOR.....                                            | 213 |
| <b>Ljubiša Mičić</b>                                                                                                                |     |
| DIGITALNA TRANSFORMACIJA RADNOG MJESTA KAO POKRETAČ ODRŽIVOSTI I ZELENE EKONOMIJE: LEKCIJE IZ POSTPANDEMIJSKOG DOBA.....            | 215 |
| DIGITAL TRANSFORMATION OF THE WORKPLACE AS A DRIVER SUSTAINABILITY AND GREEN ECONOMY: LESSONS FROM THE POST-PANDEMIC ERA.....       | 224 |
| <b>Marko Banožić, Anica Džajić</b>                                                                                                  |     |
| KIBERNETIČKE PRIJETNJE I OBRAMBENI POTENCIJAL UMJETNE INTELIGENCIJE U ZAŠTITI ZELENE DIGITALNE TRAZNICIJE.....                      | 226 |
| CYBER THREATS AND THE DEFENSIVE POTENTIAL OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PROTECTING THE GREEN DIGITAL TRANSITION.....                | 232 |
| <b>Azira Osmanović, Damir Šarić</b>                                                                                                 |     |
| PRIMJENA DIGITALIZACIJE U PROCESU OBAVLJANJA INTERNE REVIZIJE.....                                                                  | 233 |
| APPLICATION OF DIGITALIZATION IN THE INTERNAL AUDIT PROCESS.....                                                                    | 241 |
| <b>Mirela Mabić, Dražena Gašpar, Ivica Ćorić</b>                                                                                    |     |
| PAMETNI GRADOVI U KONTEKSTU ZELENE EKONOMIJE: ŠTA MISLE MLADI?.....                                                                 | 242 |
| SMART CITIES IN THE CONTEXT OF THE GREEN ECONOMY: WHAT DO YOUTH THINK?.....                                                         | 250 |
| <b>Aida Rizvanović, Izet Pehlić</b>                                                                                                 |     |
| INFORMACIJSKO-KOMUNIKACIJSKE TEHNOLOGIJE KAO ASISTIVNE TEHNOLOGIJE U EKOLOŠKOM ODGOJU I OBRAZOVANJU.....                            | 252 |
| INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES AS ASSISTIVE TECHNOLOGIES IN ENVIRONMENTAL TEACHING AND LEARNING.....                    | 260 |
| <b>Mira Šunjić-Beus, Ljiljan Veselinović, Danijela Martinović</b>                                                                   |     |
| PODSTICANJE ZELENE PREDUZETNIČKE INICIJATIVE MEĐU STUDENTIMA: PERCIPIRANE PREDNOSTI, IZAZOVI I MOTIVACIONE STRATEGIJE.....          | 262 |
| DRIVING GREEN ENTREPRENEURSHIP AMONG STUDENTS: PERCEIVED BENEFITS, CHALLENGES, AND MOTIVATIONAL STRATEGIES.....                     | 272 |

**Nermin Tufekčić**  
INOVAČIJE U EKOLOŠKOM ODGOJU: ULOGA DIGITALNIH ALATA U RAZVOJU  
EKOLOŠKE SVIJESTI KOD DJECE U RANOM ODGOJU.....274  
INNOVATIONS IN ENVIRONMENTAL EDUCATION: THE ROLE OF DIGITAL TOOLS IN  
DEVELOPING ENVIRONMENTAL AWARENESS IN CHILDREN IN EARLY EDUCATION  
.....283

**Ivan Balta**  
ZNAČAJ DIGITALNE I INOVATIVNE TEHNOLOGIJE U ZELENOJ EKONOMIJI.....286  
THE IMPORTANCE OF DIGITAL AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE GREEN  
ECONOMY.....296

**Elvir Čajić**  
PRIMJENA MATEMATIČKOG MODELIRANJA I DIGITALNIH ALATA U SIMULACIJI  
ZELENE EKONOMIJE.....298  
APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELING AND DIGITAL TOOLS IN THE SIMU-  
LATION OF THE GREEN ECONOMY.....307

**Olga Kapetina**  
ODRŽIVA MODA I DIGITALIZACIJA U BOSNI I HERCEGOVINI.....308  
SUSTAINABLE FASHION AND DIGITIZATION IN BOSNIA AND HERZEGOVINA.....313

**Isak Karabegović, Ermin Husak, Lejla Banjanović-Mehmedović**  
BIOMATERIJALI I BIOUREĐAJI KAO POKRETAČI NAPRETKA U ROBOTICI: RAZVOJ  
INTELIGENTNIH, FLEKSIBILNIH I EKOLOŠKI ODRŽIVIH ROBOTSКИH SISTEMA...314  
BIOMATERIALS AND BIODEVICES AS DRIVERS OF PROGRESS IN ROBOTICS:  
DEVELOPMENT OF INTELLIGENT, FLEXIBLE AND ENVIRONMENTALLY SUSTAINA-  
BLE ROBOTIC SYSTEMS.....328



Zaklada za inovacijski i tehnološki razvitak (INTERA Tehnološki Park) uz pokroviteljstvo Federalnog ministarstva obrazovanja i nauke/znanosti organizirala je 21. maja/svibnja 2025. godine u Mostaru naučno/znanstveno-stručnu konferenciju pod nazivom Digitalizacija u zelenoj ekonomiji.

Digitalizacija, kao proces primjene digitalnih tehnologija u različitim sektorima društva, predstavlja ključni alat u transformaciji prema održivom razvoju. U kontekstu zelene ekonomije, ona omogućuje učinkovitije upravljanje resursima, smanjenje emisije štetnih plinova, unapređenje transparentnosti i donošenje odluka temeljenih na podacima. Integracijom tehnologija poput umjetne inteligencije, distribuiranih sustava, BIM-a i pametnih mreža, stvaraju se novi modeli poslovanja i upravljanja koji su usmjereni na ekološku odgovornost i energetske održivu budućnost. Posebno je ovo značajno za lokalne zajednice u Bosni i Hercegovini koje mogu, kroz procese digitalizacije i zelene tranzicije, prepoznati prilike za veću neovisnost, obuhvatniji angažman vlastitih resursa i približavanje europskim standardima kvalitetnog upravljanja.

U Bosni i Hercegovini do sada nije posvećivano dovoljno pozornosti ovom rastućem tehnološkom sektoru, iako su potencijali takvih tehnologija kao i izravna mogućnost njihove primjene unutar poslovnih procesa bosanskohercegovačkih gospodarskih subjekata izuzetno veliki. Federalno ministarstvo obrazovanja i nauke/znanosti želi kroz ovaj, ali i brojne druge programe, poticati i podupirati sve one koji prepoznaju mogućnosti ostvarivanja vlastitih i kreativnih vizija u povezivanju ključne tri komponente razvoja: istraživanja, inovacija i tehnologije.

Ova konferencija realizirana je kao polazna točka za razmjenu znanja, povezivanje rezultata znanstvenih istraživanja s interesima poduzetnika te stvaranje temelja za nove vizije, politike i inicijative koje će pridonositi energetske tranziciji, zaštiti okoliša i održivom razvoju. Istovremeno, konferencija je otvorila prostor za prezentaciju i javno objavljivanje znanstvenih rezultata u skladu s prioritetnim područjima, s posebnim naglaskom na integraciju obnovljivih izvora energije, održivi razvoj lokalne zajednice, kroz modele poput električnih vozila, pametnih mreža i inovacija u institucionalnim okvirima koji podržavaju tranziciju koja vodi do održivog razvoja.





# **E-OTPAD: SKRIVENI RUDNICI U NAŠIM LADICAMA**

## **Pronalaženje inovativnog načina za rješavanje problema nagomilavanja elektronskog otpada**

dipl. hem. Nikolina Landeka

Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci

**Sažetak:** Termin elektronski otpad obuhvata sve vrste elektronskih i električnih uređaja, kao i njihovih pojedinačnih dijelova koji su odbačeni od strane krajnjeg korisnika, najčešće kao posljedica nefunkcionalnosti ili dotrajalosti. Ova vrsta otpada predstavlja jedan od najvećih problema s kojima se razvijene svjetske države, ali i države u razvoju, suočavaju. Odbačeni elektronski uređaji sadrže komponente koje imaju veoma negativan uticaj na zdravlje ljudi i životne sredine. Međutim, toksičnost ovih materijala nije jedini motiv za njihovo pravilno prikupljanje i reciklažu. Naime, potrebe za produkcijom elektronskih i električnih uređaja konstantno rastu, što za posledicu ima potrošnju velikih količina različitih vrsta materijala, primarno metalnih sirovina. Stoga je veoma važno pronaći inovativna i efikasna tehnološka rješenja za ekstrakciju ovih vrijednih komponenti iz e-otpada. Prema procentualnom udjelu, bakar je najzastupljeniji metal prisutan u većini elektronskih uređaja. S obzirom na ogromne potrebe za ovim metalom na svjetskom tržištu, u ovom radu fokus će biti stavljen na ekstrakciju i sintezu vrijednih jedinjenja bakra ekstrahovanog iz elektronskog otpada, prvenstveno PCB-ploča, kao i potencijal za implementaciju ovih tehnologija u Bosni i Hercegovini, a sve u cilju uspostavljanja cirkularnog sistema upravljanja električnim otpadom na nivou države.

**Gljučne riječi:** elektronski otpad, reciklaža, PCB ploče, bakar, kritične sirovine

### **Uvod**

Posljednje tri decenije obilježene su rapidnim razvojem elektronske industrije, što je dovelo do značajnog tehnološkog, ali i socio-ekonomskog napretka na globalnom nivou. Međutim, direktna posljedica ovog razvoja je akumulacija ogromnih količina elektronskog i električnog otpada, čije skladištenje i reciklaža predstavljaju jedan od najvećih izazova s kojima se savremena društva suočavaju.<sup>1</sup> Trenutno postoje mnoge definicije elektronskog otpada koje se razlikuju u zavisnosti od države i regiona. Uopšteno, termin elektronski otpad obuhvata sve vrste elektronskih i električnih uređaja, kao i njihovih pojedinačnih dijelova koji su odbačeni od strane krajnjeg korisnika, najčešće kao posljedica nefunkcionalnosti.<sup>2</sup> Otprilike 43% e-otpada potiče od kućnih aparata, 34% potiče od uređaja za komunikaciju, dok ostalih 23% nastaje od iskorištenih elektronskih uređaja i dodataka.<sup>3</sup> Prema podacima Globalnog monitora za elektronski otpad, 2022. godine je na svjetskom nivou proizvedeno rekordnih 62 milijarde tona elektronskog otpada (7,8 kg po glavi stanovnika). Procjenjuje se da će se ovaj broj do 2030. godine povećati na 82 miliona tona. Azija je u ovom trenutku najveći svjetski proizvođač elektronskog otpada, s maksimalnom proizvodnjom od 24,9 miliona tona (Mt). Prate je Amerika s 13,1 Mt i Evropa s 12 Mt. Važno je istaći da je manje od jedne

<sup>1</sup> Hossain, M. S., Al-Hamadani, S. M., & Rahman, M. T. (2015): E-waste: a challenge for sustainable development. *Journal of Health and Pollution*, 5(9), 3-11.

<sup>2</sup> Liu, K., Tan, Q., Yu, J., & Wang, M. (2023): A global perspective on e-waste recycling. *Circular Economy*, 2(1), 100028.

<sup>3</sup> Nithya, R., Sivasankari, C., & Thirunavukkarasu, A. (2021): Electronic waste generation, regulation and metal recovery: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19, 1347-1368.

četvrtine (22,3%) godišnje generisanog e-otpada dokumentovano kao reciklirano ili adekvatno uskladišteno.<sup>4</sup> Prema podacima iz Godišnjeg izvještaja za upravljanje otpadnom električnom i elektronskom opremom u Bosni i Hercegovini iz 2021. godine, koji izdaje Društvo "ZEOS eko-sistem d.o.o.", kao jedini ovlašćeni operater upravljanja otpadnom električnom i elektronskom opremom u BiH, na prostoru čitave države bilo je prisutno minimalno 5.859.573 kg prijavljenog e-otpada. Od te količine, 2.512.863 kg je prikupljeno i reciklirano, što čini 43% od ukupne količine e-otpada prijavljenog u BiH.<sup>5</sup> Navedeni trendovi predstavljaju direktan uzrok zagađenja životne sredine u skoro svim dijelovima svijeta, ali i gubitka desetina milijardi dolara u vidu nerecikliranih sekundarnih sirovina. Naime, iako je prepoznat kao globalni problem, e-otpad istovremeno predstavlja i značajan polazni resurs za reciklažu vrijednih materijala, prvenstveno metala. Iz ovog razloga, elektronski i električni otpad se naziva neprirodnim rudama. Evropa je kontinent s najvišom stopom reciklaže e-otpada - 42,5% recikliranog otpada ovog tipa u prosjeku. Na drugom mjestu nalazi se azijski kontinent, sa samo 11,7% recikliranog e-otpada. Najnižu stopu reciklaže ima Afrika - 0,9%. U ovom radu biće detaljno prikazani statistički podaci o proizvodnji i reciklaži elektronskog otpada, kao i inovativne metode za ekstrakciju kritičnih materijala i produkciju industrijski vrijednih proizvoda.<sup>6</sup>

## Definicija, klasifikacija i sastav e-otpada

Iako se u naučnoj literaturi problem elektronskog otpada široko obrađuje, još uvijek ne postoji standardna definicija ove vrste otpada, univerzalna za sve države i regione.<sup>7</sup> Uprošteno, termin elektronski otpad obuhvata sve vrste elektronskih i električnih uređaja, kao i njihovih pojedinačnih dijelova koji su odbačeni od strane krajnjeg korisnika, najčešće kao posljedica dotrajalosti ili odbacivanja u proizvodnji. Prema Evropskoj mreži registara za električni i elektronski otpad, izvršena je klasifikacija e-otpada na šest kategorija:

1. oprema za razmjenu toplote (oprema za hlađenje i zamrzavanje, kao što su frižideri, zamrzivači, klima-uređaji i toplotne pumpe),
2. ekrani, monitori i oprema koja sadrži ekrane s površinom većom od 100 cm<sup>2</sup> (televizori, laptopi, tableti),
3. lampe (fluorescentne sijalice, volframove sijalice, kompaktne fluorescentne sijalice, sijalice visokog intenziteta i LED sijalice),
4. velika oprema (mašine za pranje veša, mašine za sušenje veša, mašine za pranje sudova, električne peći, velike mašine za štampanje, oprema za kopiranje, fotonaponski paneli),
5. mala oprema (usisivači, mikrotalasne pećnice, oprema za ventilaciju, tosteri, električni čajnici, električni aparati za brijanje, vage, kalkulatori, radio aparati, video kamere, električne i elektronske igracke, mali električni i elektronski alati, mali medicinski uređaji i mali instrumenti za praćenje i kontrolu) i
6. mala IT i telekomunikaciona oprema (mobilni telefoni, GPS-ovi, džepni kalkulatori, ruteri, personalni računari, štampači).<sup>8</sup>

<sup>4</sup> Global e waste monitor.

<sup>5</sup> ZEOS eko-sistem | Dobrodošli. [citirano 4. jul 2025.]. Dostupno na: <https://www.zeos.ba/bs/1/home>

<sup>6</sup> TheRoundUp.org | Latest Global E-Waste Statistics and What They Tell Us, [citirano 5. jul 2025.]. Dostupno na: <https://theroundup.org/global-e-waste-statistics/>

<sup>7</sup> Mihai, F.-C. (Ed.). (2016). E-Waste in Transition - From Pollution to Resource. InTech. doi: 10.5772/60487

<sup>8</sup> The Global E-Waste Statistic Partnership | What Is E-Waste? [citirano 5. jul 2025.]. Dostupno na: <https://globalewaste.org/what-is-e-waste/>

Otpriblike 43% e-otpada potječe od kućnih aparata, 34% potječe od uređaja za komunikaciju, dok ostalih 23% nastaje od iskorištenih elektronskih uređaja i dodataka. Hemijski sastav elektronskog otpada je veoma složen. Najzastupljeniji materijali od kojih su izrađeni elektronski i električni uređaji su čelik, gvožđe i drugi metali, sintetički polimeri, staklo, keramika i guma. Prema procentualnom sastavu, gvožđe i čelik zauzimaju 47% mase, polimeri zauzimaju 7%, staklo 5%, a ostatak se odnosi na ostale materijale, između ostalog i vrijedne metale: bakar, nikl, olovo, cink, kobalt i plemenite metale (zlato, srebro, paladium, rodium i drugi). Važno je istaći da su neki od ovih metala (bakar, nikl, kobalt i paladium) proglašeni kritičnim sirovinama od strane Evropske komisije. Stoga, upravo ekstrakcija ovih metala predstavlja osnovni motiv za reciklažu elektronskog otpada.<sup>9</sup> Uspješnom reciklažom BiH bi takođe mogla pridonijeti održivosti resursa sirovina, kao svoj doprinos predstojećoj eurointegraciji.

## **Globalni statistički podaci o količini proizvedenog i recikliranog elektronskog otpada**

Povećana potražnja za elektronskom i električnom opremom na nacionalnom i internacionalnom tržištu dovela je do proizvodnje izuzetno velikih količina elektronskog otpada u razvijenim svjetskim državama, ali i u državama u razvoju. Prema podacima Globalnog monitora za elektronski otpad, 2022. godine je na svjetskom nivou proizvedeno rekordnih 62 milijarde tona elektronskog otpada (7,8 kg po glavi stanovnika). Procjenjuje se da će se ovaj broj do 2030. godine povećati na 82 miliona tona.

U Sjedinjenim Američkim Državama se svake godine proizvede otprilike 6,9 Mt e-otpada, s 13,3 kg otpada generisanog po glavi stanovnika. Međutim, samo 1,2 Mt elektronskog otpada se pravilno prikuplja i dokumentuje. Takođe, SAD izvoze 314 000 do 377 000 tona e-otpada na druge kontinente svake godine. Reciklaža ove vrste otpada se uglavnom vrši u cilju ekstrakcije vrijednih metala i smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu.

Evropska unija se nalazi na vrhu liste generisanog e-otpada po glavi stanovnika, čak 16,2 kg svake godine. Međutim, u državama članicama su uspostavljeni efikasni sistemi prikupljanja, dokumentovanja i reciklaže elektronskog otpada. U EU se na godišnjem nivou reciklira 5,2 Mt, sa stepenom efikasnosti reciklaže od 43%.<sup>10</sup>

Iako je Kina ratifikovala Bazelsku konvenciju o kontroli i prekograničnim kretanjima opasnog otpada i njegovom odlaganju iz devedesetih godina prošlog vijeka, to je i dalje država u kojoj se odlaže najviše svjetskog otpada. U januaru 2018. godine Kina je uvela regulative kojima se zabranjuje uvoz e-otpada iz drugih država, kao i njeno neformalna reciklaža. Međutim, i pored smanjenog uvoza, ova država je najveći proizvođač e-otpada na svijetu, s brzinom rasta proizvodnje na godišnjem nivou od 25,7%, dok je svjetski prosjek 4-5%.<sup>11</sup>

## **Statistički podaci o proizvodnji i reciklaži e-otpada u Bosni i Hercegovini**

Prema podacima iz Godišnjeg izvještaja za upravljanje otpadnom električnom i elektronskom opremom u Bosni i Hercegovini iz 2021. godine, koji izdaje Društvo "ZEOS

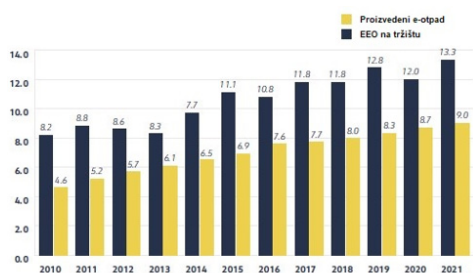
<sup>9</sup> Liu, K., Tan, Q., Yu, J., & Wang, M. (2023) : A global perspective on e-waste recycling. Circular Economy, 2(1), 100028.

<sup>10</sup> Rene, E. R., Sethurajan, M., Ponnusamy, V. K., Kumar, G., Dung, T. N. B., Brindhadevi, K., & Pugazhendhi, A. (2021): Electronic waste generation, recycling and resource recovery: Technological perspectives and trends. Journal of hazardous materials, 416, 125664.

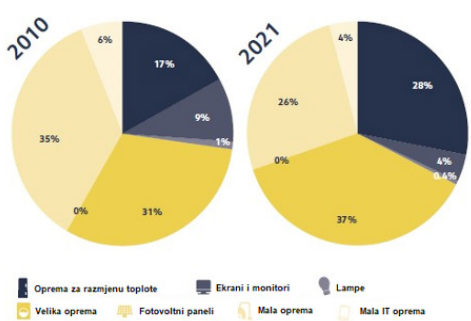
<sup>11</sup> Fu, J., Zhang, H., Zhang, A., & Jiang, G. (2018): E-waste recycling in China: a challenging field.

eko-sistem d.o.o.”, ovlašćeni operater upravljanja otpadnom električnom i elektronskom opremom u BiH, na prostoru čitave države bilo je prisutno 5.859.573 kg prijavljenog e-otpada. Od te količine, 2.512.863 kg je prikupljeno i reciklirano, što čini 43% od ukupne količine e-otpada prijavljenog u BiH.

Količina elektronske i električne opreme (EEO) na tržištu Bosne i Hercegovine se pomalo mijenjala od 2010. do 2021. godine, kao što je prikazano na Slici 1. Najveći dio opreme ovog tipa na tržištu predstavlja velika oprema (Kategorija IV) s 37% (5 kg po glavi stanovnika). Oprema za razmjenu toplote (Kategorija I) zauzima drugo mjesto s 28% (3,8 kg po glavi stanovnika). Mala oprema (Kategorija V) nalazi se na trećem mjestu s 26% (3,4 kg po glavi stanovnika) (Slika 2).<sup>12</sup>



Slika 1 - Odnos u količini elektronskog otpada stavljenog na tržište i proizvedenog e-otpada u BiH u periodu od 2010. do 2021. godine, izraženo u kg po glavi stanovnika (12)



Slika 2 - Zastupljenost različitih kategorija elektronskih i električnih uređaja na tržištu BiH izraženo u procentima (12)

U Bosni i Hercegovini postoji funkcionalan sistem upravljanja elektronskim otpadom. Na nivou države aktivna su dva ovlašćena operatera za upravljanje otpadnom elektronskom i električnom opremom: “ZEOS eko-sistem d.o.o.” i “Kim TecEco d.o.o.”. Takođe, još 17 firmi na nivou države ima licencu za sakupljanje i obradu elektronskog otpada. Međutim, posljednjih godina mnoge firme orijentisane na prikupljanje metalnog otpada pokazuju ambicije za upravljanje i e-otpadom. Uopšteno, kompanije koje se bave tretmanom e-otpada, odnosno izdvajanjem korisnih dijelova koji se mogu dalje reciklirati te pojedinačne dijelove, uglavnom izvoze u druge države, zbog veoma malog broja reciklažnih postrojenja u BiH. Važno je istaći da kada se govori o PCB (Printed Circuit Boards), po količini jedom od najzastupljenijih ali i najvrjednijih tipova e-otpada, u državi još uvijek ne postoji postrojenje za obradu i reciklažu.<sup>13</sup>

<sup>12</sup> Regional E-Waste Monitor for the Western Balkans-2023. [citirano 8. jul 2025.]. Dostupno na: <https://ewastemonitor.info/regional-e-waste-monitor-for-the-western-balkans/>

<sup>13</sup> UNEP, Global Chemicals and Waste Indicator Review Document. United Nations Environment Programme. [citirano 8. jul 2025.].

## Tehnologije reciklaže elektronskog otpada

Kao što je navedeno u prethodnom tekstu, reciklaža elektronskog otpada neophodna je ne samo zbog smanjenja količine ove vrste otpada i poboljšanja kvaliteta životne sredine, nego i zbog mogućnosti ekstrakcije vrijednih i neophodnih materijala, prvenstveno metala. Međutim, zbog velikih razlika u sastavu različitih elektronskih i električnih uređaja, razlikuje se i ekonomska isplativost njihove reciklaže. Na primjer, reciklaža mobilnog telefona će biti mnogo profitabilnija od reciklaže fena za kosu, zbog većeg sadržaja značajnih materijala koji se mogu izdvojiti. Zbog njegovih izuzetnih osobina i široke primjene, najčešće kao provodnik u elektroindustriji, bakar je najvažniji metal koji se može dobiti reciklažom e-otpada.<sup>14</sup>

Metode za reciklažu elektronskog otpada se najjednostavnije mogu podijeliti na tradicionalne i savremene (napredne). U tradicionalne metode reciklaže spadaju spaljivanje, hidraulična separacija treskanjem i ispiranje kiselinama. Spaljivanjem se elektronski otpad direktno spaljuje u pećima, čime se dobija proizvod sa 70-85% crnog bakra (bakar(II)-oksida), u zavisnosti od tipa i sastava uređaja. Crni bakar se poslije redukuje do elementarnog bakra pogodnog za ponovnu upotrebu.

Hidrauličnom separacijom mogu se dobiti sirove čestice bakra. Ova metoda je u prošlosti široko korištena za reciklažu bakra iz PCB ploča. Međutim, u procesu nastaju velike količine otpadne vode i sporednih proizvoda koji dovode do zagađenja. Takođe, dosta je teško ekstrahovati druge metale, pored bakra.<sup>15</sup>

Ispiranje kiselinama je tradicionalni hidrometalurški način reciklaže u kome se kiseline koriste kao rastvarači za ekstrakciju metala. Ovom metodom mogu se efikasno izdvojiti bakar, olovo i cink. Takođe, može se primijeniti i ekstrakcija ispiranjem cijanidom, međutim zbog njegove visoke toksičnosti ovaj metod se izbjegava. Uopšteno, primjenom tradicionalnih metoda reciklaže e-otpada negativno se utiče na kvalitet životne sredine. Dodatno, ovi vidovi ekstrakcije metala često nisu dovoljno efikasni.<sup>16</sup> Iz navedenih razloga u skorijim godinama stimuliše se razvoj novih, naprednih metoda reciklaže.

Pirometalurški postupak je za sada najviše primjenjivan savremeni vid reciklaže e-otpada. Ovaj postupak predstavlja unaprijeđeni proces spaljivanja, u kome se, pored visokih temperatura, željeni metali odvajaju od ostatka otpadnog materijala (plastika, primjese) hemijskim putem. Biometalurška tehnologija reciklaže zasniva se na oksido-redukcionim hemijskim reakcijama, pokrenutim djelovanjem bakterija, u kojima se izdvajaju metali. Iako obećavajuća, ova tehnologija je i dalje primjenjiva samo na laboratorijskom nivou. Pored navedenih metoda, perspektivni načini reciklaže elektronskog otpada zasnivaju se na elektrohemijskoj ekstrakciji, ekstrakciji superkritičnim fluidima i vakuum metalurškom postupku.<sup>18</sup>

### PCB ploče kao početni materijal za sintezu jedinjenja bakra

Štampane elektronske ploče ili PCB ploče predstavljaju jednu od najvažnijih komponenti skoro svih elektronskih uređaja, a njihova osnovna uloga je povezivanje drugih elektronskih dijelova u sklopu uređaja. U osnovnoj strukturi ovih ploča nalazi se tanka

<sup>14</sup> Tanskanen, P. (2013): Management and recycling of electronic waste. *Acta materialia*, 61(3), 1001-1011.

<sup>15</sup> Zhang, L., & Xu, Z. (2016): A review of current progress of recycling technologies for metals from waste electrical and electronic equipment. *Journal of Cleaner Production*, 127, 19-36.

<sup>16</sup> Bas, A. D., Deveci, H., & Yazici, E. Y. (2014): Treatment of manufacturing scrap TV boards by nitric acid leaching. *Separation and Purification Technology*, 130, 151-159.

<sup>17</sup> Montenegro, V., Sano, H., & Fujisawa, T. (2013): Recirculation of high arsenic content copper smelting dust to smelting and converting processes. *Minerals Engineering*, 49, 184-189.

<sup>18</sup> Mishra, D., & Rhee, Y. H. (2010): Current research trends of microbiological leaching for metal recovery from industrial wastes. *Current research, technology and education topics in applied microbiology and microbial biotechnology*, 2, 1289-1292.

pločica prožeta bakrom koji ima funkciju provodnika. Pločica je najčešće izrađena od epoksi ili fenolne smole ojačane staklom. Pored navedenih materijala, u strukturi PCB ploča, pored bakra, se nalaze i drugi metali (Slika 3). Uopšteno, metalni dijelovi zauzimaju procenat od 28% sastava PCB ploča, dok plastični dijelovi zauzimaju 23%. Ostatak čine keramičke i staklene komponente. Kada se posmatraju plemeniti metali (zlat, srebro, paladij, platina), treba istaći da PCB ploče imaju veći sadržaj ovih metala u odnosu na skoro sve druge elektronske uređaje i dijelove, što čini PCB-ove veoma atraktivnim sekundarnim sirovinama za reciklažu. Međutim, važno je istaći da samo bakar čini 10-20% sastava ovih ploča, čime se ipak daje prednost ekstrakciji ovog metala u odnosu na ostale prisutne u materijalu. Dodatno, PCB ploče sadrže i štetne komponente, među kojima su i toksični metali koji mogu značajno da ugroze kvalitet životne sredine ukoliko se nađu u prirodi. Ovo je još jedan razlog za efikasnu reciklažu ovih materijala.<sup>19</sup> Zbog sve veće potražnje za elektronskim uređajima, raste potreba za proizvodnjom PCB ploča. Očekuje se da će količina proizvedenih i odbačenih PCB ploča dalje rapidno rasti u narednim godinama. Trenutno, PCB ploče zauzimaju 3% od ukupnog elektronskog otpada na svijetu. Najveći proizvođač PCB ploča je Kina, koja generiše skoro polovinu ovih komponenti na svjetskom nivou. Prije reciklaže potrebno je što bolje razdvojiti pojedinačne komponente PCB ploča. Za sada su poznata dva komercijalna načina reciklaže ovih materijala. Prvi način je spaljivanje, koje je prethodno opisano. Drugi postupak se zasniva na mehaničkoj obradi materijala (drobljenju), koja je praćena hidrometalurškim postupkom, najčešće ispiranjem s kiselinama, u kojima se izdvajaju joni metala. Iako efikasniji od spaljivanja, hidrometalurški tretman s kiselinama ima nedostatke. Osnovni nedostatak odnosi se na upotrebu velikih količina agresivnih kiselina. Međutim, posljednjih godina sprovode se intenzivna istraživanja u kojima se kao rastvarači za ekstrakciju umjesto kiselina koriste rastvori amonijaknih soli, što dovodi do smanjenja štetnog uticaja na okolinu. Takođe, za razliku od većine procesa ekstrakcije, koji su pogodni za dobijanje metala u elementarnom obliku, ovaj metod nudi mogućnost sinteze nanočestica bakra u obliku bakar(II)-oksida. Na ovaj način dobija se produkt koji na tržištu ima mnogo višu cijenu. Naime, bakar-oksidi se uglavnom koriste kao katalizatori pretežno u organskoj i farmaceutskoj industriji.<sup>20</sup> Na Prirodno-matematičkom fakultetu Univerziteta u Banjoj Luci urađeno je nekoliko istraživanja na temu sinteze nanočestica bakar-oksida iz PCB ploča sakupljenih u Bosni i Hercegovini. Dobijeni rezultati su usaglašeni s naučnom literaturom. Pokazano je da amonijakne soli ekstrahuju bakar i s visokim prinosom ekstrakcije te omogućavaju izbjegavanje ekstrakcije jakim koncentrovanim kiselinama.<sup>21</sup>



Slika 3 - Štampana elektronska ploča (PCB)

<sup>19</sup> Hsu, E., Barmak, K., West, A. C., & Park, A. H. A. (2019): Advancements in the treatment and processing of electronic waste with sustainability: a review of metal extraction and recovery technologies. *Green chemistry*, 21(5), 919-936.

<sup>20</sup> Rafique, M., Shaikh, A. J., Rasheed, R., Tahir, M. B., Bakhat, H. F., Rafique, M. S., & Rabbani, F. (2017): A review on synthesis, characterization and applications of copper nanoparticles using green method. *Nano*, 12(04), 1750043.

<sup>21</sup> Todorović Ž., Gotovac Atlagić S. (2022): Potencijal za proizvodnju metalnih nanočestica iz procesa reciklaže štampanih elektronskih ploča, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci.

## Zaključak

U radu su prikazani statistički podaci o proizvodnji i reciklaži elektronskog otpada na svjetskom nivou i na nivou BiH, kao i inovativne metode za ekstrakciju kritičnih sirovinna i produkciju industrijski vrijednih proizvoda. Trenutno su najveći svjetski proizvođači elektronskog otpada Kina i Sjedinjene Američke Države. Slijede ih Japan, Brazil i Rusija. Među evropskim državama najviše e-otpada na godišnjem nivou proizvode Njemačka, Ujedinjeno Kraljevstvo i Francuska. Bosna i Hercegovina se ne nalazi u vrhu liste najvećih svjetskih proizvođača elektronskog otpada. Od ukupne količine e-otpada u državi, skoro polovina je sakupljeno i reciklirano, što je značajno veći postotak od svjetskog prosjeka sakupljenog e-otpada. Međutim, i dalje postoji veliki prostor za unapređenje sistema za prikupljanje i reciklažu ove vrste otpada u Bosni i Hercegovini, koje bi se prvenstveno ogledalo u konstrukciju novih pogona za reciklažu. Osnovni problem u sistemu reciklaže je mali broj prostora za reciklažu, zbog čega se e-otpad uglavnom izvozi u druge države u kojima se reciklažom dobijaju vrijedni materijali.

U radu je urađen kratki pregled tradicionalnih i savremenih metoda za reciklažu i ekstrakciju vrijednih komponenti iz elektronskog otpada, prvenstveno metala. Takođe, stavljen je akcenat na reciklažu PCB ploča, komponente koja u svom sastavu sadrži najveći procenat bakra i plemenitih metala u odnosu na druge dijelove elektronskih uređaja. Važno je istaći da su mnoga savremena istraživanja bazirana upravo na ekstrakciji bakra iz PCB ploča. Ovaj metal je proglašen strateškom kritičnom sirovinom od strane Evropske komisije. Zbog sve većih potreba za bakrom, kao jednim od osnovnih materijala elektronske industrije, teži se pronalaženju inovativnih i efikasnijih tehnologija za njegovu ekstrakciju iz nerudnih izvora, između ostalog i e-otpada. Jedna od najčešćih metoda ekstrakcije je hidrometalurško ispiranje s kiselinama. Osnovni nedostatak ovog postupka odnosi se na upotrebu velikih količina agresivnih kiselina. Međutim, posljednjih godina sprovode se intenzivna istraživanja u kojima se kao rastvarači za ekstrakciju, umjesto kiselina, koriste rastvori amonijakčnih soli, što dovodi do smanjenja štetnog uticaja na okolinu.

Na Prirodno-matematičkom fakultetu Univerziteta u Banjoj Luci urađeno je nekoliko istraživanja mogućnosti ekstrakcije bakra uz pomoć navedenih rastvora iz PCB ploča prikupljenih u BiH. Prednost ovog postupka je mogućnost sinteze nanočestica bakarnih jedinjenja iz dobijenih ekstrakata, čime se dobija proizvod visoke vrijednosti. Sumarno, ova tehnologija nudi mogućnost sinteze na tržištu vrijednog proizvoda iz otpadnog materijala, čime se značajno smanjuje problem nakupljanja elektronskog otpada i negativan efekat koji on ima na životnu sredinu, ali i povećava konkurentnost Bosne i Hercegovina na tržištu kritičnih materijala. Biće važno pratiti razvoj i stimulisati ove tehnologije.



## **E-WASTE: HIDDEN MINES IN OUR DRAWERS**

### **Finding an innovative way to solve the problem of the accumulation of electronic waste**

**Summary:** The term electronic waste includes all types of electronic and electrical devices, as well as their individual parts that have been discarded by the end user, most often because of non-functionality. This type of waste represents one of the biggest problems that developed world countries, as well as developing countries face. Discarded electronic devices contain components that have a very negative impact on human health and the quality of the environment. However, the toxicity of these materials is not the only reason for their proper collection and recycling. Namely, the needs for the production of electronic and electrical devices are constantly growing, which results in the consumption of large quantities of different types of materials, primarily metal raw materials. Therefore, it is very important to find innovative and efficient technological solutions for the extraction of these valuable components from e-waste. According to the percentage share, copper is the most abundant metal present in most electronic devices. Given the huge demand for this metal on the world market, focus will be on the extraction and synthesis of valuable copper compounds from electronic waste, primarily PCB boards, as well as the potential for implementing these technologies in Bosnia and Herzegovina, with the aim of establishing a circular system of electrical waste management in the country.

**Keywords:** electronic waste, recycling, PCB boards, copper, critical raw materials

#### **Literatura**

1. Hossain, M. S., Al-Hamadani, S. M., & Rahman, M. T. (2015): E-waste: a challenge for sustainable development. *Journal of Health and Pollution*, 5(9), 3-11.
2. Liu, K., Tan, Q., Yu, J., & Wang, M. (2023): A global perspective on e-waste recycling. *Circular Economy*, 2(1), 100028.
3. Nithya, R., Sivasankari, C., & Thirunavukkarasu, A. (2021): Electronic waste generation, regulation and metal recovery: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19, 1347-1368.
4. Global e waste monitor.
5. ZEOS eko-sistem | Dobrodošli. [citirano 4. jul 2025.]. Dostupno na: <https://www.zeos.ba/bs/1/home>
6. TheRoundUp.org | Latest Global E-Waste Statistics and What They Tell Us, [citirano 5. jul 2025.]. Dostupno na: <https://theroundup.org/global-e-waste-statistics/>
7. Mihai, F.-C. (Ed.). (2016). *E-Waste in Transition - From Pollution to Resource*. InTech. doi: 10.5772/60487
8. The Global E-Waste Statistic Partnership | What Is E-Waste? [citirano 5. jul 2025.]. Dostupno na: <https://globalewaste.org/what-is-e-waste/>
9. Liu, K., Tan, Q., Yu, J., & Wang, M. (2023) : A global perspective on e-waste recycling. *Circular Economy*, 2(1), 100028.
10. Rene, E. R., Sethurajan, M., Ponnusamy, V. K., Kumar, G., Dung, T. N. B., Brindhadevi, K., & Pugazhendhi, A. (2021): Electronic waste generation, recycling and resource recovery: Technological perspectives and trends. *Journal of hazardous materials*, 416, 125664.



11. Fu, J., Zhang, H., Zhang, A., & Jiang, G. (2018): E-waste recycling in China: a challenging field.
12. Regional E-Waste Monitor for the Western Balkans-2023. [citirano 8. jul 2025.]. Dostupno na: <https://ewastemonitor.info/regional-e-waste-monitor-for-the-western-balkans/>
13. UNEP, 'Global Chemicals and Waste Indicator Review Document. United Nations Environment Programme. [citirano 8. jul 2025.] Dostupno na: <https://wedocs.unep.org/xmlui/bitstream/handle/20.500.11822/36753/GCWIR.pdf>
14. Tanskanen, P. (2013): Management and recycling of electronic waste. *Acta materialia*, 61(3), 1001-1011.
15. Zhang, L., & Xu, Z. (2016): A review of current progress of recycling technologies for metals from waste electrical and electronic equipment. *Journal of Cleaner Production*, 127, 19-36.
16. Bas, A. D., Deveci, H., & Yazici, E. Y. (2014): Treatment of manufacturing scrap TV boards by nitric acid leaching. *Separation and Purification Technology*, 130, 151-159.
17. Montenegro, V., Sano, H., & Fujisawa, T. (2013): Recirculation of high arsenic content copper smelting dust to smelting and converting processes. *Minerals Engineering*, 49, 184-189.
18. Mishra, D., & Rhee, Y. H. (2010): Current research trends of microbiological leaching for metal recovery from industrial wastes. *Current research, technology and education topics in applied microbiology and microbial biotechnology*, 2, 1289-1292.
19. Hsu, E., Barmak, K., West, A. C., & Park, A. H. A. (2019): Advancements in the treatment and processing of electronic waste with sustainability: a review of metal extraction and recovery technologies. *Green chemistry*, 21(5), 919-936.
20. Rafique, M., Shaikh, A. J., Rasheed, R., Tahir, M. B., Bakhat, H. F., Rafique, M. S., & Rabbani, F. (2017): A review on synthesis, characterization and applications of copper nanoparticles using green method. *Nano*, 12(04), 1750043.
21. Todorović Ž., Gotovac Atagić S. (2022): Potencijal za proizvodnju metalnih nanočestica iz procesa reciklaže štampanih elektronskih ploča, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci.

# ŠTA AKO? KOBALT, ELEKTRIČNA VOZILA I BOSNA I HERCEGOVINA

dipl. hem. Milica Kosić

Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci

**Sažetak:** U posljednjih dvadeset godina prisutan je kontinualan razvoj tzv. “smart” tehnologija i naprednih digitalnih uređaja s ciljem unapređenja komunikacionih sistema, olakšanja protoka informacija, automatizacije industrijskih pogona, ali i smanjenja globalnog zagađenja izazvanog korištenjem komercijalnih, neobnovljivih izvora energije. Jedna od najvažnijih karakteristika koja prati ovaj razvoj jeste multidisciplinarnost, a ovaj rad ističe ulogu održivog rudarenja kao i hemijskih i nanotehnologija. Konkretno, značaj ovih oblasti ogleda se u razvoju visokoefikasnih materijala za konstrukciju katoda litijum-jonskih baterija koje predstavljaju neizostavnu komponentnu kako modernih prenosivih uređaja poput pametnih telefona i satova, bežičnih slušalica i digitalnih kamera, tako i sve više prisutnih električnih vozila. Takođe, neophodno je osvrnuti se i na globalnu krizu sirovina u svijetu usljed iscrpljenosti najpopularnijih ležišta i predložiti put kojim bi se Bosna i Hercegovina mogla uključiti u lanac snabdijevanja kritičnim sirovinama.

**Gljučne riječi:** digitalizacija, zelena energija, tranzicioni metali, kobalt, litijum-jonska baterija, katoda, rudnik, Bosna i Hercegovina

## 1. Uvod

S obzirom na neprestani razvoj i unapređenje životnog standarda u gotovo svim dijelovima svijeta, naročito u posljednjoj deceniji, praćenje tehnoloških trendova kao i naučnih istraživanja nezaobilazan je korak u akademskom svijetu. Takođe, važno je pomenuti da još od perioda industrijske revolucije kao prekretnice modernog svijeta koji imamo danas, implementacija znanja iz različitih sfera ljudskog obrazovanja predstavlja ključni faktor. Ovaj rad bazira se na spoznaji uloge kako hemije, tako i nauke o materijalima i tehnologijama koje mijenjaju živote. Naime, za razliku od početka dvadesetog vijeka koji je okarakterisan revolucionarnim naučnim otkrićima u hemiji kao što su radioaktivnost i finaliziranje Periodnog sistema elemenata (dalje navođeno kao PSE), u posljednje dvije decenije više pažnje posvećuje se sintezi materijala različitog porijekla. S tim u vezi, sve je veći broj publikacija na temu primjene elemenata d-bloka PSE (tranzicionih metala) posebno u konstrukciji baterija pametnih uređaja i električnih vozila, tzv. litijum-jonskim baterijama. Npr., u periodu od 1987. do 2017. godine (Li, Lu, Chen, & Amine, 2018) broj naučnih radova na ovu temu povećan je za 260%, a glavni cilj u svakom od njih je sinteza i adaptacija novih katodnih ili anodnih materijala. Kada je riječ o katodnim materijalima, treba naglasiti da, bez obzira na izrazite napore koji naučnici ulažu u inovacije i nova otkrića, i dalje je u globalu njihov sastav nepromjenjiv i baziraju se na slojevitom metalnom oksidu litijuma u čiju je strukturu inkorporiran metal kobalt. Kobalt je tranzicioni metal koji prvenstveno zbog svoje izrazite stabilnosti uzrokovane velikom elektronskom gustoćom zauzima zajedno s litijumom prvo mjesto u sastavu litijum-jonskih baterija. Međutim, ubrzan razvoj digitalnih komunikacionih sistema kao i automatizacija industrijskih pogona i odbacivanje komercijalnih transportnih mreža (zasnovanih na motorima s unutrašnjim sagorijevanjem) i prelazak na potpuno električna motorna vozila doveli su do velike potražnje za novim izvorima rijetkih metala. Ovo najbolje oslikava činjenica da je u svijetu ukupan broj električnih

vozila porastao s 10.20 na 58 miliona za samo četiri godine u periodu od 2020. do 2024. (Our World in Data, n.d.). U skladu s navedenim, sve je veća potražnja za kobaltom, naročito od strane Kine kao vodeće države u proizvodnji Li-jonskih baterija, ali i kupovini električnih vozila, iako je još 2023. on uvršten u listu kritičnih sirovih materijala od strane Evropske komisije (RMIS – Raw Materials Information System, n.d.) (Zeng & al., 2022). Posljedično, s obzirom na iscrpljenost rudnika u regiji Copperbelt (DR Kongo) kao i etičkih pitanja koja prate dugogodišnju eksploataciju rudnika na teritoriji afričkog kontinenta, potrebno je pronaći nova ležišta po mogućnosti na evropskom tlu. Iako uvijek praćeno kontraverzama, otvaranje rudnika jedina je perspektiva koju Evropa ima u pogledu konkurentnosti ka američkim i azijskim tehnologijama, stoga je potrebno prikazati primjere najbolje prakse i implementirati ih u države u razvoju kao što je Bosna i Hercegovina. Potencijal BiH za otvaranje rudnika i razvoja dubokih tehnologija biće opisan u posebnom poglavlju, stoga je važno napomenuti da je to jedan od načina da se spriječi neminovan odliv mozgova iz manjih mjesta, ali i da se unaprijedi status države u pogledu naučno-tehnološkog razvoja.

## 2. Prelazni elementi: struktura i fizičko-hemijska svojstva kobalta

Pod pojmom prelaznih elemenata ili d- i f- elemenata podrazumijevaju se elementi između druge i dvanaeste grupe PSE. U elementarnom stanju svi prelazni elementi su metali velike gustine, tvrdoće i visoke temperature topljenja. Ovi metali grade jedinjenja s različitim stepenom oksidacije, koja su uglavnom paramagnetična i obojena, što je posljedica prisustva nesparenih elektrona u njihovoj strukturi (Filipović & Lipanović, 1995). Važna osobina prelaznih elemenata je i visoka toplotna i električna provodljivost što definiše njihovu primjenu, pa iz tog razloga željezo, bakar, nikl ili titanijum kao konstrukcioni materijali nemaju alternativu. Savremene tehnologije poput računara, mobilnih uređaja ali i novih generacija vozila u mnogim funkcionalnim sistemima sadrže upravo ove elemente. Prelazni elementi igraju važnu ulogu i u svakodnevnom životu i održavanju života uopšte (Zeljko i Penavin Škundrić, 2015). Pored metala glavnih grupa za koje je ranije ustanovljeno da su esencijalni za normalno biološko funkcionisanje ljudskog organizma, šest elemenata koji pripadaju d-bloku: željezo (Fe), kobalt (Co), mangan (Mn), bakar (Cu), cink (Zn) i molibden (Mo) takođe mogu biti svrstani u ovu kategoriju (Jomova & al, 2022). Kobalt je sjajan, plavkastobijeli i vrlo tvrd metal. Feromagnetičan je<sup>1</sup>, a to svojstvo zadržava sve do 1.150°C. Rastvara se u razblaženim mineralnim kiselinama poput HNO<sub>3</sub>, dok s koncentrovanog prelazi u pasivno stanje, tj. stvara zaštitni sloj oksida koji sprečava metal od korozije. S alkalijama ne reaguje. Stabilan je na vazduhu do temperature od 300°C, međutim fino razdijeljene čestice ovog metala su piroforne<sup>2</sup> (Filipović & Lipanović, 1995). Uobičajena oksidaciona stanja kobalta su +2 i +3, a kao i svi pripadnici njegove trijade (grupa VIIIb PSE) gradi veliki broj kompleksnih jedinjenja poput [Co(H<sub>2</sub>O)<sub>6</sub>]<sup>2+</sup> i [Co(H<sub>2</sub>O)<sub>6</sub>]<sup>3+</sup>. Pored toga, u oksidacionom stanju +2 kobalt gradi slabo rastvorljivi amfoterni CoO i Co(OH)<sub>2</sub>, dok postojanje Co<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nije potvrđeno, ali je poznat mješoviti, kompleksni oksid Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> sa strukturom spinela.<sup>3</sup> Na povišenim temperaturama reaguje s halogenim elementima i gradi primarno halogenide i fluoride poput CoCl<sub>2</sub> i CoF<sub>2</sub> (Zeljko i Penavin Škundrić, 2015).

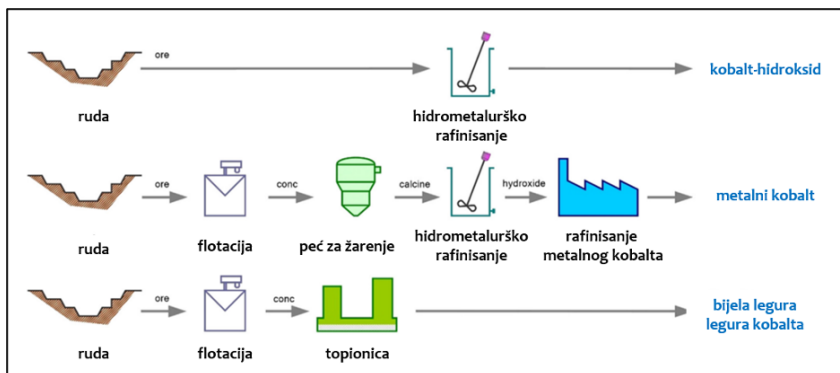
<sup>1</sup> Feromagnetizam je svojstvo određenih materijala poput željeza, kobalta i dr. da imaju veoma visoku magnetnu permeabilnost i koercitivnost što im omogućuje da formiraju stalni magnet.

<sup>2</sup> Piroforan (grč. Pyrophoros, "noseći vatru") je osobina gasova, tečnosti i čvrstih supstanci da se u kontaktu sa vazduhom zapale u vremenskom periodu kraćem od pet minuta.

<sup>3</sup> Spinele čini bilo koja grupa minerala opšte formule AB<sub>2</sub>X<sub>4</sub> gdje X predstavlja atom kiseonika, dok su A i B katjoni s naelektrisanjem +2 i +3 respektivno, koji kristališu u kubnom kristalnom sistemu.

### 3. Kobalt: nalaženje i dobijanje

Kobalt ne pripada posebno rasprostranjenim elementima. U Zemljinoj kori je maseni udio kobalta oko 0.001%, a uglavnom se javlja u obliku arsenida ili sulfida, kao kobaltit  $\text{CoAs}_2$  i smaltit  $\text{CoS}_2$ . Međutim, kobaltne rude se rijetko gdje nalaze samostalno, one se obično pojavljuju zajedno s rudama bakra i nikla (Filipović & Lipanović, 1995). Istraživanja su potvrdila da je oko 55% ekstrakcije kobalta produkt rudarenja nikla, 35% dolazi od rudarenja bakra, a 10% kobalta dobija se kao koprodukt pri rudarenju platinskih metala (A. Zele, 2018). Najveći dio svjetske proizvodnje ovog metala dobija se iz bakarne rude u provinciji Katanga u jugoistočnom dijelu Demokratske Republike Kongo, gdje se nalazi devet najvećih rudnika ovog tipa u svijetu (Filipović & Lipanović, 1995) (Dehaine & al, 2020). Prema podacima iz 2023, pored DR Kongo, prema proizvodnji kobalta ističu se Rusija, Australija i Madagaskar, a značajne količine dobijaju se i iz Kanade, Kine i Maroka (Our World in Data, n.d.). S obzirom na status koprodukta, proces dobijanja kobalta je obično od sekundane važnosti u odnosu na primarni produkt (nikl ili bakar), pa se on obično sprovodi nakon ekstrakcije primarnih metala. Razlikujemo tri glavna procesa za ekstrakciju kobalta: hidrometalurgija, pirometalurgija i vapometalurgija. Koji od ovih procesa će biti primijenjen zavisi od minerologije same rude i karakterističan je za svako ležište čak i za vrstu rude (Dehaine & al, 2020). U ovom radu biće opisan proces dobijanja kobalta iz bakarnih Cu-Co ruda s područja pokrajine Copperbelt (DR Kongo) jer one i dalje predstavljaju najznačajniji izvor ovog metala. Kao što je prikazano na Slici 1, proces proizvodnje kobalta sastoji se iz pet zasebnih operacija, a to su: koncentrisanje rude, pečenje, topljenje, hidrometalurško rafinisanje i rafinisanje metalnog kobalta. Proces koncentrisanja rude izvodi se na dva načina: gravitacionom separacijom i flotacijom. Gravitaciona separacija koristi se za obogaćivanje rude bogate kobaltom i predstavlja vid predkoncentrisanja radi smanjenja jalovine prije ulaska u postrojenje. S druge strane, flotacija se zasniva na proizvodnji bakarnog i kobaltnog koncentrata odvojeno pa se iz tog razloga naziva i diferencijalna flotacija. U narednom koraku flotacioni koncentrat se obrađuju u topionicama u cilju proizvodnje sirovog bakra (čistoće 96-99%), koji se naknadno podvrgava elektro-rafinisanju kako bi se dobio bakar visoke čistoće. Kobalt prilikom ovog procesa zaostaje u šljaci (trosci) odakle se ona prenosi u specijalne peći za čišćenje pri čemu se koks i koncentrat dodaju kako bi redukovali kobalt u legure. Na ovaj način može se oporaviti 60% kobalta. Jedan od koraka u procesu proizvodnje kobalta iz ruda može biti i pečenje i karakterističan je za sulfidne koncentrate bogate kobaltom. Koncentrati se u tom slučaju peku u fluidizovanom sloju na temperaturama između 650 i 710°C pri čemu nastaju sulfati, a izdvajanje kobalta zasniva se na regulaciji temperature. Naime, održavanjem temperature od 680°C skoro 95% bakra prelazi u sulfatni oblik, a povišenjem na 710°C taj udio opada na 50%, dok se pri ovim uslovima kobalt u obliku sulfata dobija do čak 90%. Hidrometalurško rafinisanje sastoji se iz nekoliko faza: ispiranje kobalta i bakra, ekstrakcija bakra rastvaračem, prečišćavanje kobalta i taloženje ovog metala u obliku hidroksida i predstavlja najpoznatiji postupak za dobijanje ovog metala (Grundwell & al, 2020).



Slika 1 - Šematski prikaz različitih procesa dobijanja kobalta iz bakarne rude u zavisnosti od željenog produkta (Crundwell & al, 2020)

#### 4. Primjena kobalta

Jedinstvena magnetna i metalna svojstva kobalta rezultovala su njegovom primjenom u različitim aplikacijama uključujući mnoštvo industrija kao što su automobilska industrija, energetika, industrija nafte i gasa, medicina, umjetnost i izrada nakita, itd. Prvobitno, kobalt je vijekovima korišten u staklu, glazurama i keramikama za prenos plave i ljubičaste boje na nakit i umjetnine jer izmjenom koncentracije kobalta te variranjem aditiva i promjenom baze (npr. staklo ili keramika) moguće je postići veliki broj različitih kobaltnih pigmenata. Nakon što su početkom 20. vijeka otkrivena magnetna i termalna svojstva kobalta, ovaj metal postao je neizostavna komponenta legura visokih performansi – od superlegura za medicinske implante, brzoreznih čelika do stalnih magneta, pri čemu kobalt može biti i legirajući element i baza. Pored proizvodnje katoda za litijum-jonske baterije (biće diskutovano u narednom poglavlju), najveća potrošnja kobalta u svijetu odlazi upravo na izradu superlegura, a razlog tome su njegove prethodno istaknute osobine, naročito stabilnost na visokim temperaturama, otpornost na koroziju i habanje. Kada je riječ o stalnim magnetima, dodatak kobalta unapređuje optornost materijala na demagnetizaciju kao i vrijednost kirijeve temperature.<sup>4</sup> Nadalje, jedinjenja kobalta se veoma često koriste kao oksidacioni katalizatori i prekursori u masovnoj proizvodnji polietilentereftalata (PET), jednog od najpoznatijih polimernih materijala koji je polazna sirovina za pravljenje flašica, zaštitne opreme i sl. Takođe, katalizatori na bazi kobalta koriste se pri parnom reformisanju<sup>5</sup> tokom proizvodnje vodonika, za hidrogenizaciju ugljen-monoksida u tečna goriva, kao i za hidroformaciju alkena<sup>6</sup>, tj. za najvažnije hemijske reakcije u petrohemijskoj industriji. Karboksilati<sup>7</sup> kobalta koriste se kao agensi za sušenje u bojama i smolama, ali i kao adhezivi za bolje sjedinjavanje čelika i gume pri proizvodnji pneumatika (A. Zele, 2018). Iz navedenog možemo zaključiti da je primjena kobalta neizostavna u mnogim važnim tehnologijama različitih djelatnosti, međutim najviše proizvedenog kobalta na godišnjem nivou ipak se koristi za proizvodnju litijum-jonskih baterija.

<sup>4</sup> Kirijeve temperatura je temperatura iznad koje feromagnetična supstanca gubi svojstvo feromagnetizma i postaje paramagnetična.

<sup>5</sup> Parno reformisanje (engl. steam reforming) je hemijski proces proizvodnje vodonika iz metana i vode na povišenim temperaturama u prisustvu katalizatora.

<sup>6</sup> Hidroformacija alkena je hemijska reakcija oksidacije alkena do aldehida pomoću sintetičkog gasa (smješa H<sub>2</sub> i CO) u prisustvu katalizatora.

<sup>7</sup> Karboksilati su soli karboksilnih kiselina (organske kiseline opšte formule R-COOH) koje grade s hidroksidima, karbonatima i drugim baznim agensima.

## 5. Litijum-jonske baterije

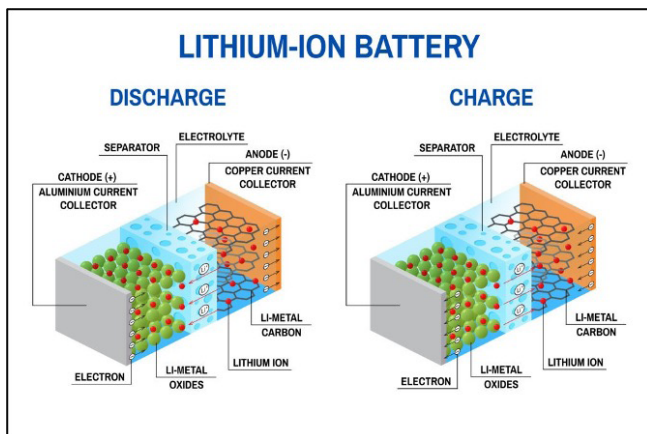
Prema podacima koje obezbjeđuje Raw Materials Information System (RMIS – Raw Materials Information System, n.d.), a koje zastupa Evropska komisija, u periodu između 2000. i 2021. godine zabilježen je eksponencijalni rast proizvodnje kobalta u svijetu. Naime, u posljednje dvije decenije proizvodnja rafinisanog kobalta porasla je sa 35.000 na 167.000 cca. tona godišnje, tj. za čak 377% s gotovo neznatnim smanjenjem u godinama ekspanzije korona virusa. Ovaj trend posljedica je kontinualnog razvoja modernih tehnologija s ciljem povećanja digitalizacije, zasnovanih na kreiranju tzv. “smart” sistema i prenosivih uređaja, ali i težnje i zahtjeva za prelazak na “zelene” izvore energije, što, između ostalog, uključuje sve veću proizvodnju električnih vozila. Važno je istaći da svi proizvodi ovog tipa sadrže litijum-jonsku bateriju kao osnovnu komponentu čiji su struktura i vijek trajanja glavni parametri funkcionalnosti i kvaliteta. Neizostavan materijal u svim Li-jonskim baterijama je upravo kobalt, koji je prvi ikada korišten materijal za izradu katoda ovih baterija, a ostao je i danas ključan za njihovu proizvodnju na svjetskom tržištu (A. Zele, 2018). Kako bismo bolje razumjeli kompatibilnost i nezamjenjivost kobalta u ovom polju primjene, potrebno je pobliže objasniti strukturu i princip rada litijum-jonskih baterija (u daljem tekstu LIB).

### 5.1. Struktura i princip rada litijum-jonskih baterija

LIB je elektrohemijska ćelija u kojoj se nalaze dvije elektrode, pozitivna elektroda (katoda) i negativna katoda (anoda) razdvojene čvrstim graničnikom i smještene u tečni elektrolit.<sup>8</sup> U tipičnoj LIB kao anodni materijal koristi se grafit, a slojeviti metalni oksid na bazi litijuma opšte formule  $\text{LiMO}_2$  (gdje je M jon prelaznog metala poput Co, Mn ili Ni) koristi se kao katoda. Za separaciju elektroda koriste se izolatorni materijali koji su propustljivi za elektrolit, koji je najčešće tečni organski rastvarač koji sadrži so litijuma koja dozvoljava tok jona (jonskih komponenti), a ne elektrona. Takođe, obje elektrode imaju strujne kolektore (za anodu je to obično bakar a za katodu aluminijum) koji s njima ne reaguju ali pomažu u transportu elektrona ka elektrodi i od nje. Pored navedenih aktivnih komponenti, u sastavu LIB mogu se naći i polimerna veziva koja povezuju čestice aktivnih materijala zajedno, kao i čađ koja povećava provodljivost elektrona. Na Slici 2 predstavljen je šematski prikaz strukture i načina rada jednostavne litijum-jonske baterije. Proces punjenja i pražnjenja u LIB-u je hemijski proces. Kada je LIB napunjen korištenjem spoljašnjeg izvora struje, joni litijuma iz  $\text{LiMO}_2$  katode difunduju do anode kroz elektrolit što katodu čini litijum-osiromašenom, a anodu litijum-obogaćenom. Suprotno tome, tokom procesa električnog pražnjenja, joni litijuma napuštaju anodu i migriraju kroz elektrolit do katode, dok se njegov pridruženi elektron sakuplja pomoću strujnog kolektora za napajanje spoljašnjeg električnog uređaja (Claus & al, 2014). S obzirom da performanse ovih baterija (naročito kapacitet i radni naponski opseg) u najvećoj mjeri zavise od strukture i tipa katode koja se koristi, u narednom poglavlju detaljnije će biti objašnjena njena uloga i značaj, kao i osobine kobalta koje ga dovode na vrh liste najboljih katodnih materijala.

---

<sup>8</sup> Elektroliti su supstance koje u vodenoj sredini disosuju na jone i čiji vodeni rastvori posljedično provode električnu struju.

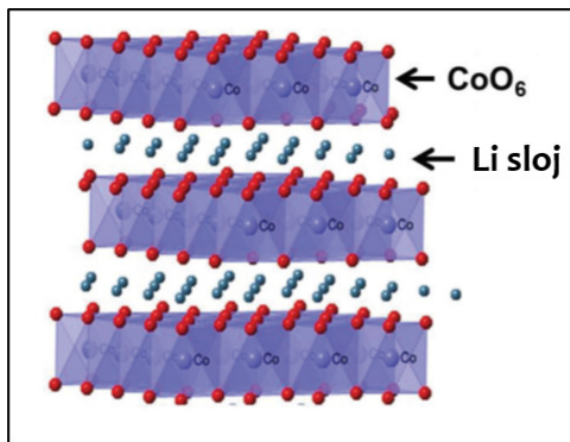


Slika 2 - Šematski prikaz strukture litijum-jonske baterije i principa rada tokom električnog punjenja (desno) i električnog pražnjenja (lijevo)

### Komercijalni katodni materijali

Prvi naučni rad na temu katoda kakve se danas koriste u litijum-jonskim baterijama objavljen je još 1980. godine kada su Godshall i saradnici na Univerzitetu u Stanfordu predstavili strukturu modernih slojevitih metalnih oksida formule  $\text{LiCoO}_2$  (LCO), dok su je nekoliko mjeseci kasnije Mizushima i saradnici unaprijedili upotrebom organskog elektrolita, formirajući katodu kakva se danas najviše koristi. U ranim devedesetim godinama prošlog vijeka prvi put je izvršena komercijalizacija ovog patenta od strane Sony korporacije (Li, Lu, Chen, & Amine, 2018). U zavisnosti od temperature sinteze postoje dva tipa kristalografskih struktura LCO: na niskim temperaturama (oko  $350^\circ\text{C}$ ) formira se kubna kristalna rešetka u strukturi spinela koja se na temperaturi od  $750^\circ\text{C}$  konvertuje u slojevitu heksagonalnu kristalnu rešetku, pri čemu druga pokazuje bolje elektrohemijske performanse. Na Slici 3 prikazana je struktura  $\text{LiMO}_2$  tipa katoda. Jedinica ćelije slojevitog tipa sastoji se od tri sloja  $\text{CoO}_6$  oktaedra koji dijele ivice, razdvojenih intersticijskim slojevima litijuma. U stanju litijacije (bez migriranja jona Li) LCO ostaje u slojevitim strukturama s heksagonalnim jediničnim ćelijama. Međutim, uklanjanjem litijuma iz slojevite kristalne rešetke tokom el. punjenja formiraju se nestehiometrijska jedinjenja formule  $\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2$ , a kako bi se kompenzovalo naelektrisanje dolazi do oksidacije  $\text{Co}^{3+}$  jona. U toku kontinualnih ciklusa punjenja i pražnjenja jedinjenja s manjkom litijuma koja nastaju, poprimaju različite strukture u zavisnosti od njegovog udjela, što, ako je udio ispod 50%, dovodi do prelaska iz heksagonalne faze u monokliničnu i uzrokuje smanjenje eksperimentalnog elektrohemijskog kapaciteta u odnosu na teorijski (Claus & al, 2014). Ova pojava, kao i pitanje etičnosti eksploatacije rudnika na afričkom tlu, glavni su razlozi naglog porasta broja laboratorijskih istraživanja u cilju zamjene kobalta niklom, manganom ili drugim tranzicionim elementom. Ipak, s obzirom na sposobnost kobalta da stabilizuje strukturu, kao i na veću gustinu punjenja, kapacitete punjenja i bolji odnos snage i mase, kobalt će zasigurno još deцениjama ostati primarni katodni materijal u ovoj industriji (A. Zele, 2018).





Slika 3 - Struktura LiCoO<sub>2</sub> katode na kojoj je uočljivo da je metalni sloj (Li-sloj) okupiran kobaltom (Claus & al, 2014)

### Bosna i Hercegovina kao potencijalni izvoznik metalnih nanočestica

Rudarstvo kao jedna od vodećih grana privrede na području današnje Bosne i Hercegovine datira još od antičkog perioda, a svoj procvat doživljava u 14. i 15. vijeku kada usljed nestašice plemenitih metala u srednjoj i zapadnoj Evropi počinje otvaranje rudnika zlata i srebra na svim teritorijama gdje su postojale indikacije njihovog prisustva. Pored toga, otvoreni su i rudnici bakra, olova i cinka (Rudnik Sase, Srebrenica), što je još u to vrijeme privuklo pažnju trgovcima i putnicima te su se oko njih počele formirati i prve karavanske stanice i trgovi a kasnije naselja i gradovi (Kovačević, 1961). Danas rudarstvo predstavlja okosnicu privrede BiH, naročito u pogledu energetike, s obzirom na činjenicu da pet aktivnih termoelektrana proizvodi električnu energiju za potrebe cijele države ali i za izvoz. Prema proizvodnom kapacitetu najveći je rudnik mrkog uglja Kreka (Mape energetskog potencijala - Rudnici, 2015). Međutim, pored ovih, na području BiH nalaze se i rudnici željeza Ljubija i Omarska kod Prijedora, kao i boksita u Milićima, značajni za cijeli region ali i Evropu uopšteno. Kao što možemo primijetiti, svi navedeni rudnici smješteni su na teritoriji većih gradova i opština i čine centar njihovog razvoja a taj put mogle bi slijediti i manje, nedovoljno razvijene sredine. Primjer za navedeno je opština Jezero smještena u brdsko-planinskom i kotlinskom području na granici između dva entiteta. Naime, na teritoriji ove opštine, kako se navodi u analizi Lykos Metals, australijske kompanije koja sprovodi geološka ispitivanja na ovom području, otkrivena je polimetalična ruda koja dominantno sadrži bakar s visokim udjelom primjesa kobalta, olova i cinka. Iako je u većini slučajeva kontroverzno, otvaranje rudnika s potencijalno implementiranom tehnologijom proizvodnje nanočestica kobalta ili sličnih proizvoda visoke vrijednosti uz poštovanje najviših standarda zaštite životne sredine, sačuvalo bi ovu opštinu od dodatnog odliva mozgova i radne snage ali i popravilo demografsku sliku čitave regije. Problemi koji se već u ranim fazama javljaju kroz otpor stanovništva proizlaze iz činjenice da je ova opština, a i čitava regija, obilježena proizvodnjom ribe pastrmke i da bi eksploatacija ruda mogla ugroziti zdravstvenu i ekološku ispravnost vodotokova.



## Zaključak

Podizanje svijesti građana Bosne i Hercegovine o značaju odgovornog rudarstva trebalo bi da bude veoma važna misija kako naučne i akademske zajednice, tako i vladinog sektora odgovornog za razvoj manjih opština i gradova koje imaju potencijal za progres i razvoj kako u privrednom tako i u turističkom i drugim sektorima. Jedan od mogućih načina je proizvodnja i izvoz deficitarnih, globalno značajnih materijala kakvi su upravo katodni materijali litijum-jonskih baterija, koje će u nekoliko decenija dominirati svjetskim tržištem. Na ovaj način moguće je direktno uticati na demografsku situaciju, ali i podići BiH na tron industrijskog razvoja u odnosu na ostale zemlje Zapadnog Balkana. Da bi sve ovo bilo ostvarivo, neophodna je i multidisciplinarnost i sinergijsko djelovanje svih oblasti nauke i tehnologije kako bi svako rješenje bilo, prije svega, bezbjedno za građane ali i za životnu sredinu.

## WHAT IF? COBALT, ELECTRICAL VEHICLES AND BOSNIA AND HERZEGOVINA

**Summary:** In the last two decades, there has been a continuous development of the so-called “smart” technology and advanced digital devices with the aim of improving communication systems, facilitating the flow of information, automating industrial plants, but also reducing global pollution caused by the use of commercial, non-renewable energy sources. One of the most important characteristics accompanying this development is multidisciplinary, and this paper highlights the role of sustainable mining as well as chemical and nanotechnologies. The specific importance of these areas is reflected in the development of high-efficiency materials for the construction of lithium-ion battery cathodes, which are an indispensable component of both modern portable devices such as smartphones and watches, wireless headphones and digital cameras, as well as the increasingly present electric vehicles. Also, it is necessary to look back at the global crisis of raw materials in the world due to the exhaustion of the most popular deposits and to propose a way by which Bosnia and Herzegovina could be included in the supply chain of critical raw materials.

**Keywords:** digitization, green energy, transition metals, cobalt, lithium-ion battery, cathode, mine, Bosnia and Herzegovina

### Literatura

1. (n.d.). Retrieved from Our World in Data: <https://ourworldindata.org/search?q=electrical%20%20vehi>
2. A. Zele, A. (2018, June). Cobalt Demand: Past, Present, and Future. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.
3. al., M. L. (2018). 30 Years of Lithium-Ion Batteries. *Advanced Materials* . doi:10.1002/adma.201800561
4. Claus, D., & al, e. (2014). Cathode materials review. *AIP Conference Proceeding*. AIP Publishing. doi:10.1063/1.4878478
5. Crundwell, F., & al, e. (2020). Production of cobalt from copper-cobalt ores on the African Copperbelt . *Minerals Engineering*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106450>
6. Dehaine, Q., & al, e. (2020, June). Geometallurgy of cobalt ores: A review. *Minerals Engineering*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106656>
7. Filipović, I., & Lipanović, S. (1995). *Opća i anorganska kemija II DIO Kemijski elementi i njihovi spojevi*. Zagreb: Školska knjiga Zagreb.
8. Jomova, K., & al, e. (2022). Essential metals in health and disease. *Chemico-Biological Interactions*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cbi.2022.110173>
9. Kovačević, D. (1961). *Trgovina u srednjovjekovnoj Bosni* (13 ed.). Sarajevo: Naučno društvo NR Bosne i Hercegovine.
10. Li, M., Lu, J., Chen, Z., & Amine, K. (2018). 30 Years of Lithium-Ion Batteries. *Advanced Materials*. doi:DOI: 10.1002/adma.201800561
11. Mape energetskog potencijala - Rudnici. (2015). Retrieved from Centar za istraživačko novinarstvo: <https://cin.ba/energopotencijal/rudnici.php#rudnici>
12. RMIS – Raw Materials Information System. (n.d.). Retrieved from European Commission: <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/rmp/Cobalt>

13. Zeljković, S., & Penavin Škundrić, J. (2015). *Odabrana poglavlja neorganske hemije*. Banja Luka: Univerzitet u Banjoj Luci, Prirodno-matematički fakultet.
14. Zeng, A., & al., e. (2022, March). Battery technology and recycling alone will not save the electric mobility transition from future cobalt shortages. *Nature Communications*. doi:<https://doi.org/10.1038/s41467-022-29022-z>

# **RIZICI U NEETIČKOJ UPOTREBI VJEŠTAČKE INTELIGENCIJE U NAUČNOM IZDAVAŠTVU**

**prof. dr. Suzana Gotovac Atlagić**

Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci

**Sažetak:** Evolucija metoda tehničke obrade podataka u naučnom radu je kroz vijekove razvijana i posljednjih godina doživljava istorijski neviđeno brze promjene. Međutim, brojni alati koji olakšavaju i ubrzavaju, prije svega, obradu podataka, a zatim i konstrukciju teksta, svrstavanje literature, donose brojne etičke izazove. U radu se nastoji skrenuti pažnja na rizike koje donosi primjena generičke vještačke inteligencije u oblasti izdavaštva, posebno u oblasti prirodnih i tehničkih nauka. Osim pitanja o tome do koje mjere zaista primjena ove tehnologije u oblasti pisanja naučnog teksta ne prelazi granice etičnosti, postavlja se i pitanje vrlo aktuelnih pravnih problema u pogledu pitanja “ko je vlasnik” podataka u situacijama gdje je unošenjem seta istraživačkih podataka AI program generisao “kostur” samog naučnog rada. Dešavaju se situacije u kojima se kasnijim provjerama od strane urednika časopisa dolazi do prepoznavanja ovakvih tekstova kao plagijata. Takođe, rad ima ambiciju da ukaže na potrebu stalne borbe za balans između primjene elektronskih sredstava u radu i potrebe za logičkim razmišljanjem i pozitivnim “naprežanjem” moždanih funkcija u cilju očuvanja mentalnog zdravlja i same sposobnosti pamćenja.

**Gljučne riječi:** vještačka inteligencija, naučno izdavaštvo, plagijarizam, etički izazovi

## **Uvod**

Čovjek je mnogo napredovao od primitivnih istorijskih društava prikupljača hrane u prirodi, preko neolitske revolucije nakon koje je čovjek naučio da koristi metalne materijale i od kada je krenuo prirast ljudske populacije neviđen do tada. Sve od tog perioda do današnjice se može smatrati da izjednačava istoriju ljudskog društva s istorijom tehnologije (1). Grobnica Tutankamona prikazuje ne samo vrhunac u vještini korišćenja bakra, prije svega, zatim zlata, srebra, nego takođe i tehnologije drveta, jer su u toj grobnici pronađeni komadi vrhunski zakrivljenog drveta, što je iziskivalo vrhunsko poznavanje fizičko-hemijskih tehnoloških procesa ovog materijala (2). Aleksandar Makedonski i narodi koji su pod njim živjeli, kao i Rimska imperija nakon njega, odlikovali su se impresivnim konjicama, ali su i briljirali u vojnim tehnologijama. Prije svega, katapultima za ispaljivanje strijela do artiljerijskog oružja “baliste” kojom su ispaljivani krupniji komadi materijala poput kamenja i slično (3).

Prve zabilješke o naučnim dostignućima, tj. prvi “naučni časopis” publikovan je 1665. godine u Francuskoj (Journal des sçavans), a ubrzo nakon toga i Philosophical Transactions of the Royal Society of London, koji se od te godine publikuje bez prekida. Priprema naučnih radova kroz istoriju se mijenjala. Naučni časopisi su danas dio ogromne industrije koja vrijedi preko 19 milijardi dolara i uglavnom je bazirana u Zapadnoj Evropi i Sjevernoj Americi (4). Ovo je u velikom kontrastu s nekim prelaznim fazama, kao što je kraj 19. i početak 20. vijeka, kada su donešena i neka od najrevolucionarnijih rješenja, a mnogi od naučnika su još uvijek radili u uslovima čak i bez električne sijalice iako je ona već bila izumljena, a rad u naučnom publikovanju je uglavnom bio stvar

časti i volontiranja. Tehnička izrada naučnih radova je podrazumijevala da su grafikon crtani na milimetarstvom papiru, naučni radovi pisani tehničkim pismom, rukom. Koliko je samo revolucionaran bio prodor pisaće mašine kao izuma kada se pojavila (5). Danas, međutim, pisanje naučnih radova je olakšano različitim procesorima riječi, ali i samom primjenom vještačke inteligencije (artificial intelligence, AI). S druge strane, u redakcijama časopisa troškovi su minimalni (uglavnom se tiču grafičke obrade teksta, koja takođe postaje uveliko i dominantno obavljana putem vještačke inteligencije), a sami urednici rade za simbolične plate, dok su provjera kvaliteta i činjenica uglavnom volonterski rad. Većina pristupa naučnim radovima je digitalna tako da ni fizičko štampanje ne predstavlja trošak. Takođe, većinu troškova istraživanja koja kasnije budu objavljena snose naučni fondovi, vrlo često vlade raznih zemalja, dakle finansiraju se novcem poreskih obaveznika. Ipak, na kraju samih istraživanja naučnici su često prinuđeni ponovo da plaćaju za otvoreni pristup svojim radovima (6).

Međutim, gdje je granica olakšanja u naučnom radu bilo autora, bilo uređivačkih kuća, na kojoj ćemo zastati i zabrinuti se. Kad je dosta? Pri tome, LLM će sigurno olakšati dalji rad izdavačkih kuća i potencijalno smanjiti potrebu i za ono malo radnih mjesta koja su tu neophodna, a sve u pravcu generisanja još ozbiljnijeg profita za izdavače, sve preko teško sječenih istraživačkih sredstava iz nacionalnih izvora ili međunarodnih fondova za nauku.

### **Etičke i pravne dileme oko lakoće “postojanja”**

Iako nesumnjivo da su se već uveliko pojavili AI programi koji olakšavaju skiciranje kostura samog rada, pravilno citiranje, pa čak i pisanje uvodnih dijelova teksta, postavlja se pitanje koliko ovakve metode skreću i odvrćaju pažnju naučnika od prave suštine onoga čime se bavi. Kao što je već u uvodu napomenuto, produktivnost u radu može značajno biti povišena korišćenjem velikih jezičkih modela (large language models, LLM). U ovom radu ciljano neće biti korišćeni komercijalni nazivi nijednog od njih, kako bi se izbjegla nepotrebna promocija nečega što u periodu pripreme ovog rada nije u potpunosti regulisano međunarodnom legislativom. Unošenjem dovoljne količine autorovog sopstvenog rada u same modele, bilo koji od njih može biti obučen da u maksimalnoj mjeri kopira stil određene osobe u pisanju nacрта komunikacija (poput dopisa ili elektronske pošte), zatim oglasa, objava na društvenim mrežama, ugovora, planova i slično. Međutim, moguće je dobiti i “naučni rad”, pa čak i “knjigu”. Korisnici nekih od ovih programa mjere se u stotinama miliona ljudi prisutnih i logovanih u svakom minutu, javljaju se ozbiljni problemi gdje su ti korisnici, s jedne strane, iskoristili program da nešto kreiraju, ali, s druge strane, simultano gube kontrolu nad sadržajima koje su kreirali.

U periodu u kome je ovaj rad pripremljen (sredina 2025. godine), mnoga pravna pitanja u upotrebi AI nisu još riješena i oprez u korišćenju u istraživačkom radu je neophodan do pojave odgovarajuće legislative ili, prije svega, do trenutka adekvatne obuke naučnog radnika koji ima namjeru da koristi ove alate. Razmatranja su brojna i pojavili su se okvirni prijedlozi standarda poput: IEEE P7001 standard ili CLeAR Documentation Framework, što je ohrabrujuće (7). Pojavio se i određen broj naučnih časopisa koji se bave ekskluzivno ovim pitanjima poput “Vještačka inteligencija i etika” (8), što je ohrabrujuće i daje sliku da veći broj ljudi čak i u izdavačkom svijetu, ali i sami naučnici kao kreatori radova u ovim časopisima, ozbiljno razmišljaju ovu problematiku i već vide

neophodnost za sistematične etičke analize i uvođenje standarda.

## **Memorija protiv memorije**

Vrlo brzo nakon omasovljenja upotrebe trenutno najpopularnijih programa baziranih na vještačkoj inteligenciji, otprilike od 2023. godine, počeli su da se pojavljuju zabrinjavajući podaci o uticaju njihovog korišćenja na kognitivne sposobnosti ljudi. Prije svega, dolazi se do saznanja da pretjerano oslanjanje na LLM dovodi do poremećaja kritičkog razmišljanja i da ometa sposobnosti pamćenja.

Paralelno s ovim konkretnim brigama za psihičko zdravlje i kognitivne sposobnosti čovjeka, razmatra se i nedovoljna transparentnost načina na koji se koriste podaci koji generišu odgovore, njihovo porijeklo, mogućnost da su neki od obrađenih podataka čak u potpunosti privatni ili nose autorska prava. I pored nejasnoća u ovim mehanizmima, postaje neupitno da LLM utiče na kritičko razmišljanje i donošenje odluka svojih korisnika, posebno onih s adiktivnim sklonostima i onih koji su nesvjesno ušli u zonu pretjerane upotrebe ovih modela (9). Svaka od ovih zabrinjavajućih opservacija pojačava argumente da je neophodno formulisanje, od strane kompanija koje kreiraju programe, jasnijih objašnjenja načina na koji LLM funkcioniše, a široj publici i mnogo veća transparentnost od one koja je prisutna u vrijeme pripreme ovog rada. Na ovaj način bi se omogućila i prevencija generisanja pogrešnih informacija, što takođe postaje sve očiglednije, a nosi značajne opasnosti, prije svega u oblasti odgovora koji će površnom korisniku predlagati medicinske tretmane ili tumačiti istorijske činjenice. Jedna od konkretnih studija Abbasa i saradnika bavila se većim brojem studenata, njih 494, i uticajem količine vremena i nivoa korišćenja generativnih vještačkih inteligencija na njihove akademske rezultate. Neočekivan je bio rezultat svjesnosti studenata o pojavi gubitka memorija usljed pretjeranog korišćenja ovih programa, u čemu su studenti bili relativno iskreni. Još jedan značajan zaključak je bio taj da su studenti koji su samosvjesniji u pogledu svoje kompetitivnosti (studenti koji su osjetljivi na “nagrađivanje”) bili manje skloni korišćenju generativnih programa vještačke inteligencije navodeći zabrinutost vezano za kvalitet svojih akademskih rezultata i sposobnost odlučivanja (10).

Konačno, veliku medijsku praćenost je imala i studija Masačusetskog instituta za tehnologiju (MIT-ija), koja je angažovala 54 osobe kao subjekte i podijelila ih u tri grupe, mjereći njihovu moždanu aktivnost u toku pisanja tematskih eseja. Grupe su mogle koristiti LLM, klasičnu internet pretragu ili “samo mozak”. Rezultati su pokazali opadanje moždane aktivnosti kod subjekata mjereno parametrima elektroencefalografije, priznate medicinske metode koja je korištena kod svih njih. Rezultat je bio toliko očigledan da su subjekti iz grupe koja je koristila vještačku inteligenciju za pripremu eseja pokazala problem da se uopšte sjeti sadržaja svog eseja, pored konkretnih mjernih rezultata koji su takođe indikovali smanjenu moždanu aktivnost. Tokom četveromjesečnog posmatranja, korisnici LLM-a su dalje pokazali poremećaje i smanjene sposobnosti u neuronskim, lingvističkim i obrascima ponašanja (11).

## **Prikaz studije slučaja: LLM kao alatka za generisanje sugestija na nacrt naučnog rada**

Nakon ovih razmatranja, autor ovog rada je imao cilj da ukaže i na jednu konkretnu studiju slučaja koju je kao iskustvo doživio u svom radu (nastavnik prirodnih nauka i

tehnologije na državnom univerzitetu u Bosni i Hercegovini). Slučaj je pokazao površnost mlađih generacija u pristupu korišćenju generativnih programa vještačke inteligencije u pripremi naučnih radova, kao i umanjenu sposobnost procjene potencijalnih rizika za gubitak intelektualne svojine.

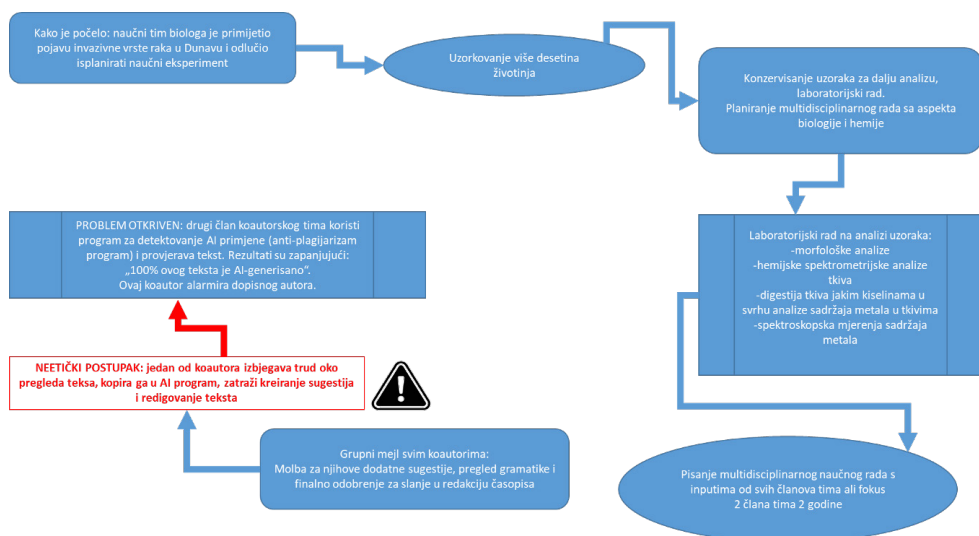
Takođe, obuhvatio je i loš nivo razumijevanja pravnih aspekata u novim tehnologijama, što bi moralo biti i šire izučavano u svim oblastim nauke kroz predmete koji se tiču metodologije naučno-istraživačkog rada. Konkretno, radilo se u multidisciplinarnoj studiji iz zaštite životne okoline/hemije/biologije/ekologije. Studija je otpočela tako što je naučni tim biologa primijetio pojavu invazivne vrste raka u rijeci Dunav u dijelu njenog toka u Srbiji i odlučio isplanirati naučni eksperiment vezan za potencijalnu zagađenost tkiva ove životinje koja se masovno izlovljava za ljudsku konzumaciju. Uzorkovano je više desetina životinja koje su konzervisane za dalju analizu i laboratorijski rad nakon morfoloških analiza. Obavljene su zatim hemijske spektrometrijske analize tkiva tako što su tkiva digestrana u jakim kiselinama u svrhu analize sadržaja metala, a zatim su obavljena i spektroskopska mjerenja sadržaja metala. Prikupljena je značajna količina naučnih podataka koja je uključila vrlo ekstenzivan naučni rad na terenu, u laboratoriji i procesu proračuna, uključujući veći broj koautora. Pisanje multidisciplinarnog naučnog rada s inputima od svih članova tima je otpočelo, ali su najveći dio pisanja centralnog preliminarog teksta naučnog rada obavljala 2 člana tima 2 u toku godine. Nakon što je rad skiciran, poslan je grupni mejl svim koautorima u kome je navedena molba za njihove dodatne sugestije, pregled gramatičke tačnosti engleskog jezika i zatraženo finalno odobrenje za slanje u redakciju časopisa. Međutim, ovdje se javlja neetički problem, gdje jedan od koautora izbjegava trud oko pregleda teksta, kopira ga u AI program i traži kreiranje sugestija i redigovanje teksta. Problem biva vrlo brzo detektovan tako što drugi član koautorskog tima vrši provjeru citiranosti i opšte korektnosti navoda, te koristi program za detektovanje AI primjene (antiplagijarizam program) i provjerava tekst. Rezultati su zapanjujući: "100% ovog teksta je AI-generisano". Ovaj koautor alarmira dopisnog autora. Dopisni autor je 100% bio oslonjen na svoj lični sud, znanje, iskustvo i logiku, a tekst naučnog rada ("kostur") je bio napisan bez ikakve pomoći LLM-a. Detektovani problem zatim izaziva konfliktnu situaciju s negiranjem od strane članova tima, ali se u diskusiji ipak saznaje koja osoba je upotrijebila program i samim tim "pružila" mogućnost generativnoj vještačkoj inteligenciji da "prisvoji" tekst još uvijek nepublikovanog naučnog rada u koji je uložen izuzetno veliki fizički i mentalni rad cijelog tima naučnika.

Slijedila je dugotrajna korekcija teksta kako bi se izbjeglo detektovanje kao plagijata ovog suštinski originalnog teksta. Ova situacija otvara više pitanja:

- Zašto su mladi naučnici skloni primjeni generičke vještačke inteligencije samo da bi ubrzali proces rada čak i tamo gdje je neophodna zdrava logika?
- Da li strah od toga da će biti proglašeni manje sposobnima jer su koristili takve programe navodi mlade naučnike da negiraju (zaobilaze istinu, navode netačnu informaciju) nakon što su upitani o primjeni iste?
- Da li mladi naučnici koji ekstenzivno, pretjerano koriste generativnu vještačku inteligenciju u svakodnevnom radu, ipak negdje u dubljem nivou svijesti osjećaju da takva primjena često nije etična i da je u suprotnosti s klasičnim poimanjem sposobnosti i kvaliteta, kao i samog talenta za nauku?
- Koliko rano je neophodno uvoditi diskusije i treninge o etičnosti primjene LLM-a u

- procesu učenja ili čak naučnom radu (kao što je prikazano u studiji slučaja)? Da li je to već u srednjim školama ili čak i u osnovnoškolskom sistemu? Očigledno je da se uzrast prvog susreta s ovim programima stalno spušta i da su sve mlađe i mlađe populacije već uvedene bez ikakvog treninga u svakodnevnu upotrebu kako u trivijalnim pitanjima, tako kao “pomoć” u procesu učenja (7,12–14).

Sve više je jasno da je neophodno što ranije povlačenje pitanja uticaja na rani razvoj djece i mladih, da se pojavljuju pitanja opasnosti za privatne podatke, da nema dovoljno zaštite od kriminalnog ponašanja, prije svega profilisanja i zloupotrebe. Tek će postajati sve aktuelnija pitanja korišćenja emocionalnih AI alatki poput robota, koje prepoznaju emocije, ali takođe podstiču pretjeranu ovisnost a smanjuju razvoj emocija i umanjuju sposobnost učenja mladih kod kojih se koriste u terapijske svrhe.



Slika 1 - Prikaz hronologije događaja u studiji slučaja neetičkog ponašanja člana tima u hemijsko-biološkom multidisciplinarnom istraživanju i problema u intelektualnoj svojini nastalog upotrebom LLM/a

## Zaključak

Kao i s drugim novim tehnologijama u istoriji čovječanstva, tako i u primjeni generativne vještačke inteligencije javljaju se brojna etička i pravna pitanja, kao i lične dileme samih korisnika. Sasvim je sigurno da je ova tehnologija “Pandorina kutija” koja je već otvorena i nema povratka u smislu neke potencijalne zabrane upotrebe u širem smislu. Na društvenim zajednicama svih zemalja, koje treba da uključe kako donosiocje odluka i politika, tako i same građane, uključujući akademsku zajednicu. Ovdje prikazana studija slučaja uključila je prikaz jedne konkretne problematične situacije u naučnom radu gdje je nesavjesnom upotrebom generičke vještačke inteligencije, u pokušaju da uštedi vrijeme neophodno za pregled preliminarog teksta naučnog rada, mlad i neiskusnan naučnik ugrozio intelektualnu svojinu cijele istraživačke grupe i doveo do neke vrste “autoplaginga” rada.



Osim ovakvih primjera, najvažnija su pitanja jasnog definisanja kako na nacionalnim nivoima, tako i u međunarodnim organizacijama, vlasništva nad samim sadržajem koji je generisao program vještačke inteligencije, i posebno pitanja neophodnosti kompenzacije za korišćenje autorizovanih tekstova u svrhu generisanja tih novih sadržaja. Po- ućni primjeri dobro regulisanih autorskih prava mogu se naći u muzičkoj industriji koja je nakon višegodišnje borbe s piraterijom našla adekvatne načine za kompenzaciju autora i izvođača kroz internetske medije (15).

U svijetu naučnog publikovanja očituju se takođe i mogućnosti generisanja mnogo značajnijih profita za izdavače koji bi mogli oslanjanjem na vještačku inteligenciju da izbjegnu i (već sada) minimalne troškove publikovanja, tako što će recenzente i grafič- ke stručnjake zamijeniti programima. U svijetu u kome je mnogo nepravedno profita- bilnih industrija, oblast u kome su istraživanja finansirana od strane građana kroz po- reze i budžete nacionalnih ministarstava nauke i sličnih fondova, borba protiv ovakvih potencijalnih zloupotreba mora da bude konstantna.

Konačno, paralelno s etičkim i pravnim razmatranjima u kojima kao društvo treba da uložimo napore kako bismo ove nove tehnologije koristili u časne svrhe i na častan na- čin, korisnici trebaju da dobiju adekvatne treninge u ovim oblastima i to u što ranijem životnom dobu, preferencijalno vjerovatno najbolje i u toku osnovne škole. Međutim, veliku važnost imaju i sistematske studije s aspekta psihologije i medicine (prije svega neurologije) kod korisnika LLM-a, kako dugotrajne implikacije takvog korišćenja ne bi dovodile do smanjenih intelektualnih sposobnosti budućih generacija.

# RISKS IN UNETHICAL USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE SCIENTIFIC PUBLISHING

**Summary:** Evolution in technological data processing in the scientific work, was progressing thorough the centuries, and in recent years is experiencing unseemly fast changes. However, numerous tools simplifying the data processing, and even full text construction, literature ordering, are bringing new ethical challenges. This paper is trying to draw attention to the risks brought up by the generic artificial intelligence in the area of publishing, especially in natural and technical sciences. Except for the very question about to which level does the application of this technology in the field of scientific text writing, does not surpass the limits of ethics, to the real, actual legal problems regarding the questions like „who is the owner“ of the data in the situations where by inputting the set of scientific data, the AI programme has generated the „skeleton“ of the scientific paper. There are such situations where after later controls by the editors of the journal, such texts are being recognised as plagiarism. Also, this paper has an ambition to point out to the need for the constant struggle for balance between application of the electronic tools in work and logical thinking in positive „efforts“ of the brain functions with aim of preserving the mental health and the very memorising ability.

**Keywords:** artificial intelligence, scientific publishing, plagiarism, ethical challenges

## Literatura

1. Derry TK, Williams TI. A Short History of Technology from the Earliest Times to A.D. 1900. Courier Corporation; 1960. 817 p.
2. Riggs C. Shouldering the past: Photography, archaeology, and collective effort at the tomb of Tutankhamun. *Hist Sci*. 2017 Sep 1;55(3):336–63.
3. Mechanical behaviour and performances of the artillery of the Roman legions [Internet]. [cited 2025 Jul 8]. Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/mechanical-behaviour-and-performances-of-the-artillery-of-the-roman-legions/viewer>
4. Pagliaro M. Publishing scientific articles in the digital era. *Open Science Journal* [Internet]. 2020 Sep 10 [cited 2025 Jul 8];5(3). Available from: <https://osjournal.org/ojs/index.php/OSJ/article/view/2617>
5. Typewriter | Writing Technology & Impact | Britannica [Internet]. 2025 [cited 2025 Jul 8]. Available from: <https://www.britannica.com/technology/typewriter>
6. Hagve M. The money behind academic publishing. *Tidsskrift for Den norske legeforening* [Internet]. 2020 Aug 17 [cited 2025 Jul 8]; Available from: <https://tidsskriftet.no/en/2020/08/kronikk/money-behind-academic-publishing>
7. Lund B, Orhan Z, Mannuru NR, Bevara RVK, Porter B, Vinai MK, et al. Standards, frameworks, and legislation for artificial intelligence (AI) transparency. *AI Ethics*. 2025 Aug 1;5(4):3639–55.
8. SpringerLink [Internet]. 2025 [cited 2025 Jul 8]. AI and Ethics. Available from: <https://link.springer.com/journal/43681>
9. Bai L, Liu X, Su J. ChatGPT: The cognitive effects on learning and memory. *Brain-X*. 2023;1(3):e30.
10. Abbas M, Jam FA, Khan TI. Is it harmful or helpful? Examining the causes and consequences of generative AI usage among university students. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. 2024 Feb 16;21(1):10.
11. Kos'myna N. MIT Media Lab. [cited 2025 Jul 9]. Your Brain on ChatGPT: Accumulation of Cognitive Debt when Using an AI Assistant for Essay Writing Task. Available from: <https://www.media.mit.edu/publications/your-brain-on-chatgpt/>
12. Prentzas J. Artificial Intelligence Methods in Early Childhood Education. In: Yang XS, editor. *Artificial Intelligence, Evolutionary Computing and Metaheuristics: In the Footsteps of Alan Turing* [Internet]. Berlin, Heidelberg: Springer; 2013 [cited 2025 Jul 9]. p. 169–99. Available from: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-29694-9\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-642-29694-9_8)
13. Su J, Ng DTK, Chu SKW. Artificial Intelligence (AI) Literacy in Early Childhood Education: The Challenges and Opportunities. *Computers and Education: Artificial Intelligence*. 2023 Jan 1;4:100124.
14. Kewalramani S, Kidman G, Palaolougou I. Using Artificial Intelligence (AI)-interfaced robotic toys in early childhood settings: a case for children's inquiry literacy. *European Early Childhood Education Research Journal*. 2021 Sep 3;29(5):652–68.
15. Chesterman S. Good models borrow, great models steal: intellectual property rights and generative AI. *Policy and Society*. 2025 Apr 4;44(1):23–37.

# KONCEPT PAMETNOG GRADA KAO STRATEGIJA U RAZVOJU GRADSKOG MARKETINGA: PRIMJER GRADA SARAJEVA

prof. dr. Denis Berberović

Ekonomski fakultet, Univerzitet u Sarajevu

Ajna Duzić

Ekonomski fakultet, Univerzitet u Sarajevu

**Sažetak:** Veliki broj gradova u svijetu koristi koncept pametnog grada kao novu strategiju i pristup urbanom planiranju da bi unaprijedili kvalitet života svojih stanovnika, osigurali održivi razvoj i neprekidan ekonomski rast. Pametni gradovi koriste različite tehnologije i digitalna rješenja u svakodnevnim procesima kako bi riješili društvene i urbane probleme, te olakšali život u gradovima kroz različita područja primjene. Brojni izazovi s kojima se i Sarajevo suočava, kao što su zagađenje zraka, zagušenost saobraćaja, netransparentna administracija, upravljanje otpadom itd., mogli bi se riješiti implementacijom koncepta pametnog grada. Međutim, da bi jedan grad primijenio ovaj koncept, potrebna je intenzivna priprema, korištenje različitih resursa i angažman značajnog broja ljudi. Za postizanje ovih ciljeva potrebni su dobri temelji znanja o mogućnostima i preprekama koje se mogu naći na tom putu.

Prema tome, osnovni cilj ovog rada je da istraži koje su to mogućnosti i ograničenja za razvoj projekata pametnog grada u Sarajevu iz perspektive ključnih učesnika, kao i ispitati u kojoj mjeri im je ovaj koncept poznat, kako teče proces donošenja odluka, te kako pristup marketinga grada može pomoći Sarajevu da postane pametan grad. Ovaj rad nastoji pružiti značajan doprinos zatvaranju jaza u znanju i postojećoj literaturi o ovoj temi u Bosni i Hercegovini. Istraživanje je rađeno kako bi pružilo uvid i dalo smjernice za implementaciju projekata pametnog grada u svrhu poboljšanja kvalitete života građana Sarajeva, privlačenja novih investitora i pružanja boljih iskustava turistima. Zbog toga je korišteno kvalitativno istraživanje u formi polustrukturiranih intervjua. Učesnici ovog istraživanja bili su relevantni akteri povezani s predmetom istraživanja i podijeljeni su u četiri grupe: međunarodne organizacije, IT industrija, akademska zajednica i lokalna samouprava. Ove četiri grupe predstavljaju ključne učesnike u razvoju projekata pametnog grada, te imaju već iskustva.

I pored najčešće spominjanih problema kao što su kompleksne birokratske procedure, nejasna podjela nadležnosti među općinama, gradom i kantonom, nepostojanje jedinstvene strategije i drugih, može se zaključiti da Sarajevo ima potencijal da bude brendiran kao pametni grad. Rezultati istraživanja ukazuju na to da promjena treba krenuti od lokalne samouprave preuzimanjem proaktivnije uloge, unaprjeđenjem međuinstitucionalne saradnje i međuopćinske koordinacije, rješavanjem hitnih urbanih problema, te osiguravanjem transparentne komunikacije sa građanima. Ove promjene trebale bi biti objašnjene u jedinstvenoj strategiji marketinga grada koja bi se fokusirala na dugoročno pozicioniranje Sarajeva kao pametnog grada. Ovo istraživanje daje preporuke za sve relevantne aktere uključene u proces kreiranja projekata pametnog grada i marketinga grada. Također, rad pruža dobru osnovu za buduća istraživanja u ovoj oblasti, naročito jer postoji oskudan broj akademskih radova iz Bosne i Hercegovine objavljenih na temu pametnog grada i marketinga grada.

**Ključne riječi:** pametni gradovi, digitalne tehnologije, održivi razvoj

## Uvod

Jedan od značaja razvoja pametnog grada ogleda se u uključivanju njegovih stanovnika u donošenje odluka važnih za grad, te njihovim prijedlozima za razvoj koji se daju putem različitih digitalnih platformi. Također, pored uključivanja građana, veoma je važna i saradnja između javnog i privatnog sektora. Lokalne vlasti, stručnjaci iz IT sektora i akademska zajednica moraju zajedno raditi na ovom konceptu i upravljati projektima koji će u konačnici privući nove investitore i stimulirati ekonomski rast. Područja primjene ovih pametnih sistema su vrlo široka, a najpoznatiju klasifikaciju daje Giffinger (2007) na: pametno okruženje, pametan život, pametna ekonomija, pametna mobilnost, pametna vlada i pametni ljudi. Svaka od ovih dimenzija ima svoje specifične faktore, s tim da se gradovi odlučuju na koje će od njih prvo staviti fokus u svom pokušaju da postanu pametniji.

## Marketing i brendiranje gradova

Nedavno su istraživači počeli ispitivati koncept pametnog grada kroz procese gradskog marketinga i brendiranja grada. Oni vjeruju da korištenjem ovih strategija u promociji koncepta pametnog grada, gradovi mogu konkurirati na međunarodnom tržištu. Osim toga, primjena strategija marketinga i brendiranja grada važna je za privlačenje novih građana, investicija, turista i industrija. Gradovi širom svijeta prepoznali su da fokus ne bi trebao biti samo na razvoju turizma, već i na poboljšanju stambenih, komercijalnih i ekonomskih aktivnosti (Grebosz-Krawczyk, 2021). Stoga, kombiniranjem koncepta pametnog grada i marketinga grada mogu pomoći u ostvarenju ovih ciljeva.

Gradovi se u marketingu mogu posmatrati kao “proizvodi” kojem je bila potrebna strategija da bi se prodali (Ashworth i Voogd, 1990; Kotler et al. 1999; Kavaratzis i Ashworth, 2007; Briggs, 2009; Grebosz-Krawczyk, 2021). Kako bi se mogli nositi s visoko konkurentnim okruženjem, sve više gradskih zvaničnika prihvata prijedloge o razvoju strategija brendiranja gradova (Ashworth i Kavaratzis, 2007). Kapferer (2008) se slaže da zemlje i gradovi imaju pravo djelovati kao brendovi jer predstavljaju sažetak jedinstvenih vrijednosti i koristi koje ih razlikuju od drugih. Nadalje, koncept brenda grada ima svoju vrijednost i svaki grad treba osigurati vlastiti rast privlačeći resurse. Razvoj brenda grada podrazumijeva stvaranje percepcije među ključnom publikom, pozicioniranje grada kao intrigantne lokacije za tvrtke, ljude ili kulturne ili obrazovne institucije koje bi mogle razmotriti preseljenje tamo. Braun (2008) objašnjava da je “marketing grada koordinirana upotreba marketinških alata podržanih zajedničkom filozofijom usmjerenom na kupca za kreiranje, komunikaciju, isporuku i razmjenu urbanih ponuda koje imaju vrijednost za gradske kupce i gradsku zajednicu u cjelini”. Koristi marketinške strategije kako bi privukao i zadržao različite ciljne grupe (stanovnike, posjetitelje i investitore), odgovorio na njihove potrebe i zadovoljio njihove zahtjeve. Implementacijom ovih strategija gradovi stječu konkurentsku prednost i pozicioniraju se kao dobra mjesta za život, ulaganje i posjetu. Ovo predstavlja početnu tačku za razvoj brendiranja grada (Kavaratzis, 2004). Aktivno učešće publike, koja postaje zainteresovana strana, ključna je razlika između brendiranja grada i marketinga grada te promocije grada. Strategije brendiranja grada koriste alate politike i promoviraju učešće zainteresovanih

strana. Stanovnici, preduzeća i posjetitelji postaju sukreatori u procesu urbane transformacije (Ma et al., 2021). Strategije brendiranja grada intenzivno se koriste u većim i vrlo urbaniziranim gradovima, dok se marketing i promocija grada uglavnom koriste u manjim i manje ekonomski razvijenim gradovima. Uz to, gradovi koji manje pažnje posvećuju brendiranju grada, kao i marketingu i promociji grada, su gradovi s velikim primarnim sektorom, dok oni s visoko razvijenim tercijarnim sektorom češće koriste sve ove strategije brendiranja grada (ibidem). Gradovi imaju mnogo različitih "potrošača" i svaki od njih ima svoja očekivanja i percepcije. Glavni izazov koji istraživači detektiraju je kako kreirati strategiju brendiranja mjesta zasnovanu na savremenom brendiranju i s tim ciljem zadovoljiti sve segmente kupaca i njihove različite potrebe i želje. Drugi izazov proizlazi iz činjenice da su gradovi složeni proizvodi. Nadalje, nemoguće je kreirati strategiju brendiranja bez upravljanja i političkog odlučivanja. Stoga Zenker i Braun (2017) predlažu da gradovi razviju "gradski krovni brend" i da podbrendovi budu zasnovani na različitim ciljnim grupama i njihovim preferencijama. Vjeruju da će korištenjem ove strategije i gradski marketinški stručnjaci i kreatori urbanih politika imati koristi i da će se poboljšati sva buduća komunikacija usmjerena prema specifičnim ciljnim grupama. Naprimjer, stanovnici će se uglavnom fokusirati na kvalitet života, sigurnost i mobilnost. Investitori će se fokusirati na investicijsku klimu i vladine podsticaje, dok će se posjetioci fokusirati na kulturu, baštinu ili avanturu. Zelenskaya i Elkanova (2021) također se slažu da je najbolje rješenje za brendiranje složenih objekata poput gradova primjena strategije podbrendova. Predlažu da stanovnici mogu djelovati kao sukreatori brenda, komunicirajući podbrendove posjetiocima i stvarajući nova značenja. Korištenjem arhitekture podbrendova, kreatori politika i menadžeri brendova mogu privući nove ciljne grupe i zadržati postojeće.

## **Brendiranje Sarajeva**

U Strategiji razvoja Grada Sarajeva ne postoje planirane marketinške strategije, niti implicirane strategije brendiranja. Osim toga, oskudan je broj naučnih studija na ovu temu u slučaju Sarajeva. Najnovije istraživanje Domazeta i saradnika (2024) koje se bavi ključnim faktorima lokalnog ekonomskog razvoja u općinama u Kantonu Sarajevo pruža i trenutno stanje u kontekstu marketinga i brendiranja općina i stavove načelnika prema razvoju marketinških strategija. Otkrili su da, iako strateško upravljanje marketingom uglavnom ne postoji, načelnici su svjesni važnosti marketinga za bolju prepoznatljivost i ukupno poboljšanje života u općinama, ali zanemaruju činjenicu da snažan brend ne može postojati bez odgovarajućeg strateškog marketinškog plana za općinu. Brendiranje gradova, ili u ovom slučaju općina, znači učiniti ih prepoznatljivima i privlačnima za potencijalne građane, investitore i posjetitelje. Načelnici se slažu da bi prvi korak u ovom procesu trebao biti dodatna edukacija administrativnog osoblja. Osim toga, istraživanja su pokazala da je dominantna vizija stvaranje turističkog brenda od općina, s tim da neki načelnici žele pozicionirati svoje općine kao mjesta za ugodan život, pogodna za investicije, ili kao univerzitetske ili sportske općine (Domazet et al., 2024). Međutim, do sada je urađeno vrlo malo.

## **Koncept pametnog grada**

Kako bi se prevazišli brojni problemi s kojima se moderne zajednice suočavaju danas, među kojima su saobraćajne gužve, zagađenje, netransparentna administracija itd., od

nedavno se koristi novi koncept za poboljšanje kvaliteta života u gradovima za sve njegove “korisnike”. Upravo je koncept pametnog grada onaj koji gradovi u svijetu koriste kako bi se istakli na nacionalnom i međunarodnom nivou i osigurali bolji kvalitet života svojim stanovnicima. Prvi spomen termina “pametni grad” datira iz 1990-ih, a od tada su kreirane mnoge definicije koncepta pametnog grada (Albino et al., 2015). Definicija koju je dala Evropska komisija navodi da je pametni grad “mjesto gdje tradicionalne mreže i usluge postaju efikasnije uz korištenje digitalnih rješenja u korist njegovih stanovnika i preduzeća”. Pametni gradovi izgrađeni su na primjeni informacijsko-komunikacijske tehnologije (IKT) i Interneta stvari (IoT) koji se koriste za rješavanje društvenih problema i olakšavanje života u gradovima kroz različita područja primjene. IoT pretpostavlja veliku mrežu uređaja povezanih na internet koji prikupljaju i razmjenjuju podatke pomoću brojnih senzora. Ovaj proces se može opisati višeslojnom arhitekturom pametnog grada koja se sastoji od četiri sloja: uređaj (pametni automobili, nadzorne kamere, dronovi, pametne kuće, pametni telefoni), mreža (komunikacijski protokoli koje koriste uređaji kao što su Bluetooth, Wi-Fi, LTE), middleware (platforme koje prikupljaju podatke) i aplikacijski sloj (usluge koje se pružaju putem platformi krajnjim korisnicima) (Koo i Kim, 2021).

Javni sektor može poboljšati kvalitetu usluga, povećati efikasnost i transparentnost te uštedjeti troškove korištenjem IKT-a kroz implementaciju pametnog grada. Neki autori zamjenjuju termin “pametni” s “inteligentni” ili “digitalni”, ali nedavne studije pokazuju da pametni gradovi nisu samo tehnologija, oni su mnogo više. Tehnologija je važna, ali ne igra ključnu ulogu (Fernandez-Anez et al., 2018). Fokus je na ljudima, njihovom uključivanju u donošenje odluka relevantnih za grad i na zadovoljavanju njihovih zahtjeva kako bi im se osigurala bolja mjesta za život (Lee i Lee, 2014; Albino et al., 2015; Grebosz-Krawczyk, 2020). Moguće objašnjenje za nedostatak konsenzusa oko fraze “pametni gradovi” mogla bi biti činjenica da se koristi za označavanje dvije različite kategorije “domena”. Prema Neirotti et al. (2014), IKT se koristi i u “tvrđim” i u “mekim” domenima, pokrivajući područja poput mobilnosti, upravljanja otpadom, energetskih mreža, zgrada itd., što se odnosi na “tvrde” domene, i u područjima kao što su obrazovanje, vlada, socijalna inkluzija itd., što se odnosi na “meke” domene. Međutim, na kraju, ljudi su ti koji igraju centralnu ulogu u uspješnom razvoju pametnih gradova.

Osim tehnoloških aspekata, većina studija provedenih o konceptu pametnog grada fokusira se na upravljanje pametnim gradovima. Ovaj pristup se zasniva na interakcijama između različitih zainteresovanih strana uključenih u kreiranje i optimizaciju projekata pametnih gradova, ili drugim riječima, uključivanje različitih zainteresovanih strana, uzimajući u obzir njihovo mišljenje u različitim projektima i strategiji pametnih gradova, ključno je za razvoj okvira upravljanja (Nam i Pardo, 2011; Albino i dr., 2015; Giffinger i Lu, 2015; Dameri i Benevolo, 2015; Fernandez-Anez i dr., 2018).

### **Potreba za primjenom koncepta pametnog grada u slučaju Sarajeva**

Aspekti lokalnog ekonomskog razvoja poput digitalne transformacije, održivosti, energetske tranzicije i poduzetništva mogli bi se povezati u jednu cjelinu kojoj bi se strateški pristupilo u kontekstu brendiranja općina na osnovu njihovih autentičnosti. To nas dovodi do nedavno najčešće korištenog koncepta u razvoju gradova i privlačenju novih građana, investitora i posjetilaca, a to je koncept pametnog grada. Domazet (2015) u

svojoj studiji predlaže razvoj koncepta pametnog grada kao novog elementa u strategiji brendiranja Sarajeva, kao i razvoj startupova u oblasti informaciono-komunikacionih tehnologija (IKT). Pored toga, Pejanović i saradnici (2020) u svojoj studiji predlažu pametni grad kao okvir za ekonomsku analizu i skreću pažnju na potrebu dizajniranja novog koncepta pametnog grada u Sarajevu. Ovaj koncept je očigledno poznat već neko vrijeme, ali tek sada počinje dobijati pažnju koju zaslužuje.

### **Empirijsko istraživanje: istraživački ciljevi i istraživačka pitanja**

Uzimajući u obzir navedeno, svrha ovog istraživanja je bila ispitati snage i slabosti, kao i mogućnosti i ograničenja za širi i intenzivniji razvoj koncepta pametnog grada u Sarajevu s ciljem poboljšanja života njegovih stanovnika, privlačenja novih investitora i pružanja boljeg iskustva turistima primjenom strategija gradskog marketinga. Na osnovu toga, definirani su sljedeći istraživački ciljevi:

1. Upoznavanje sa do sada urađenim u kontekstu razvoja pametnog grada u Sarajevu.
2. Istraživanje efekata koje su ovi projekti imali na upravljanje brendom grada.
3. Predstavljanje mogućnosti za budući razvoj projekata pametnog grada.
4. Podizanje svijesti o važnosti implementacije ovih i sličnih projekata u svrhu stvaranja boljeg kvaliteta života za sve korisnike grada u Sarajevu.

Na osnovu navedenih ciljeva ove studije, predlažu se sljedeća istraživačka pitanja:

IP1: Koje su mogućnosti razvoja projekata pametnog grada u Sarajevu?

IP2: Koja su ograničenja razvoja projekata pametnog grada u Sarajevu?

IP3: U kojoj mjeri je koncept pametnog grada poznat lokalnoj samoupravi?

IP4: Kako teče proces donošenja odluka u prijedlozima pametnog grada u Sarajevu?

IP5: Kako možemo koristiti marketinšku strategiju grada za promociju Sarajeva kao pametnog grada?

### **Prikupljanje podataka**

Za potrebe ove studije korišten je kvalitativni istraživački pristup. Uzimajući u obzir činjenicu da je potrebno duboko razumijevanje ovog nedovoljno istraženog pitanja, kao i pojašnjenje mogućnosti za provođenje ciljeva studije, kvalitativni pristup se smatra najprikladnijom metodologijom (Kuada, 2012). Jedan od načina provođenja ove vrste istraživanja je putem intervjua koji mogu biti strukturirani, polustrukturirani i nestrukturirani, što je i učinjeno (Saunders et al., 2016). Za potrebe ove studije korišteni su polustrukturirani dubinski intervjui jer omogućavaju određenu slobodu prilikom postavljanja pitanja. Istraživači su pripremili skup različitih tema i otvorenih pitanja o kojima se raspravljalo tokom intervjua (Saunders et al., 2016). Stoga je pripremljen skup tema povezanih s istraživačkim pitanjima, a zatim su kreirana pitanja unutar njih. Svaki intervju je započeo uvidom u temu i pitanjima koja se odnose na trenutnu situaciju na terenu i prethodna iskustva vezana za ovu temu. Od dvanaest planiranih intervjua, održano je ukupno osam intervjua jer nije bilo odgovora od nekih planiranih ispitanika. Intervjui su trajali između 60 i 90 minuta, ovisno o spremnosti ispitanika da daju manje ili više pronicljive odgovore. Nakon provedenih svih intervjua, pripremljeni su transkripti kako bi se omogućila daljnja analiza. Zatim je izvršeno kodiranje intervjua, ističući različite citate koji se odnose na istraživanje i kreirajući kodove koji su prebačeni u koncepte koji su potom prebačeni u kategorije i predstavljeni su kao teme



u rezultatima ovog istraživanja.

## Učesnici istraživanja

Učesnici istraživanja bili su ljudi od interesa za predmetnu materiju. Podijeljeni su u četiri grupe: a) nevladine organizacije ili međunarodne organizacije; b) IT industrija; c) akademska zajednica; d) lokalna uprava (oni koji su odgovorni za razvoj projekata pametnih gradova u Sarajevu i marketing grada). Bilo je ključno da glavni akteri u razvoju koncepta pametnih gradova budu uključeni u istraživanje kako bi se stvorila cjelovita slika i predstavili tačni rezultati studije.

Iako su, prema mnogim studijama o brendiranju gradova i pametnim gradovima, gradonačelnici spomenuti kao ključne figure u procesima donošenja odluka i predstavljaju “šampiona” ili “lidera” u motiviranju drugih u provođenju strategija društvenog razvoja, posebno u kontekstu brendiranja gradova (Nam i Pardo, 2011; Chourabi i dr., 2012; Lee i dr., 2014; Dameri i Benevolo, 2015), nije bilo odgovora ni od gradonačelnika Grada Sarajeva ni od načelnika gradskih općina da učestvuju u istraživanju. Stoga su intervjui održani sa zaposlenicima službi za lokalni razvoj u dvije gradske općine u Sarajevu i s predstavnicima Gradske službe za održivi razvoj i Gradske službe za međunarodnu saradnju. Dvije gradske općine nisu odgovorile.

## Rezultati istraživanja

Jedan od ciljeva ovog istraživanja bio je saznati više o trenutnom stanju i dosadašnjem iskustvu u razvoju koncepta pametnih gradova iz različitih perspektiva učesnika u ovom istraživanju. Saznali smo više o projektu “Pametno Sarajevo” koji je ranije spomenut. Građani su bili uključeni u ovaj projekat učešćem u anketi u kojoj su navedeni najčešći problemi u gradu. Zatim je objavljen javni poziv za inovativna rješenja, što je građanima omogućilo da glasaju o predloženim idejama, koje su potom uživo predstavljene u Gradskoj vijećnici. Trenutno, razne međunarodne organizacije podržavaju digitalizaciju javnih usluga u Bosni i Hercegovini. Problemi s kojima su se suočili tokom ovih procesa bit će predstavljeni kasnije kroz rezultate.

Jedan od ispitanika je izjavio: “Trenutna situacija je uglavnom na nivou izražavanja želje”, što implicira da se mnogi nadaju nekim promjenama i urbanom razvoju, ali im nedostaju konkretne akcije kada je u pitanju implementacija. Razlozi za to bit će istraženi kroz analizu provedenog istraživanja, koja će također ponuditi prijedloge za poboljšanje.

Sažetak rezultata istraživanja predstavljen je u Tabeli 1. Rezultati i uvidi koji su predstavljeni potkrijepljeni su izjavama učesnika datim tokom intervjua. Kao što je prethodno spomenuto, odgovori ispitanika su podijeljeni u četiri perspektive koje se zasnivaju na grupi zainteresovanih strana kojoj pripadaju. Stoga, Perspektiva 1 odražava nalaze međunarodnih organizacija, Perspektiva 2 odražava nalaze IT industrije, Perspektiva 3 ukazuje na uvide predstavnika akademske zajednice i, na kraju, Perspektiva 4 predstavlja nalaze četvrtne grupe ispitanika, a to je lokalna uprava. Njihove perspektive su prikazane kroz pet relevantnih tema zasnovanih na predloženim istraživačkim pitanjima.



| Perspektiva                                       | Perspektiva 1<br>(Međunarodne organizacije)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Perspektiva 2<br>(IT industrija)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Perspektiva 3<br>(Akademska zajednica)                                                                                                                                                                                                       | Perspektiva 4<br>(Lokalna vlast)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tema                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>I P 1</b><br><b>Tema 1</b><br>(Prilike)        | Praktična, jednostavna rješenja; Mali projekti pametnih gradova kao ključni pokretač daljnjeg razvoja; Stručnost, pristup globalnim mrežama i finansijskim resursima međunarodnih organizacija.                                                                                                                                                                                                                                                         | Sredstva međunarodnih organizacija; Manje lokalne samouprave za pilot projekte; Angažman s lokalnim akademskim institucijama i lokalnim pružateljima rješenja; Zelena i digitalna agenda za Zapadni Balkan; Ključni problemi koji se smatraju prilikama za inovacije i tehnološke intervencije.                                                                                                                             | EU fondovi (npr. Digitalna Evropa); Akademске institucije sa svojim istraživačkim potencijalom; Saradnja sa lokalnim zainteresovanim stranama; Objektivnost akademskih institucija.                                                          | Sredstva iz EU i međunarodnih organizacija; Partnerstva s drugim zainteresovanim stranama; Podsticanje entuzijazma za prihvatanje promjena; Podsticanje javno-privatnih partnerstava; Ključni problemi koji se smatraju prilikama za inovacije i tehnološke intervencije.                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>I P 2</b><br><b>Tema 2</b><br>(Ograničenja)    | Birokratske i političke barijere; Teškoće u dobijanju dozvola; Nepoznavanje zakonskih propisa; Nepostojanje zakona o digitalnom potpisu; Nedostatak volje i spremnosti lokalne samouprave da preuzme održavanje projekata; Nedostatak stručnog osoblja u vladinim službama; Nezadovoljstvo i nepovjerenje među građanima; Nedostatak svijesti o prednostima pametnih tehnologija; Nedostatak nadležnosti Grada; Politička pripadnost; Unutrašnji otpor. | Nedostatak kapaciteta u lokalnoj javnoj upravi; Sporost sistema; Digitalna nepismenost; Komplikovane birokratske procedure; Niske plate u javnom sektoru za IT stručnjake; Javna uprava kao neprivlačan poslodavac; Nejasna podjela odgovornosti i nadležnosti između općina, Grada i Kantona; Teškoće u dobijanju dozvola; Kibernetička sigurnost i GDPR; Ciljevi pametnog grada nisu usklađeni s političkim prioritetima. | Nedostatak specijalizirane ekspertize; Otpor promjenama unutar lokalnih vladinih službi; Rizici kibernetičke sigurnosti.                                                                                                                     | Politička nestabilnost; Česte promjene rukovodećih pozicija u Vladi; Nedostatak prenosa zadataka sa starih na nove zaposlenike; Nejasna podjela odgovornosti i nadležnosti među općinama, Gradom i Kantonom; Loša međuoopćinska saradnja; Nedostatak koordinacije između različitih nivoa vlasti; Odsustvo jedinstvene strategije; Poteškoće u procesu javnih nabavki; Nedostatak planiranja; Političke borbe i otpori; Trend negativizma i nedostatak povjerenja građana; Nedostatak kulture učešća u javnim raspravama; Javna uprava kao neprivlačan poslodavac. |
| <b>I P 3</b><br><b>Tema 3</b><br>(Znanje)         | Potreba za više edukacije i podizanja svijesti građana kako bi razumjeli koncept pametnog grada; Potreba za obrazovnim programima i studijskim posjetama za vladine službenike.                                                                                                                                                                                                                                                                         | Jaz u razumijevanju između međunarodnih organizacija i jedinica lokalne samouprave (međunarodne organizacije ne znaju šta je potrebno jedinicama lokalne samouprave); Nedostatak vizije i znanja kako unutar javne uprave tako i među građanima; Potreba za radionicama i edukativnim programima i za građane i za vladine službenike.                                                                                      | JLS ne razumiju važnost podataka; Potreba za edukacijom o prednostima implementacije projekata pametnih gradova.                                                                                                                             | Potreba za više edukacije i svijesti građana kako bi razumjeli koncept pametnog grada; Potreba za prilagođenom naracijom o prednostima projekata pametnog grada; Neznanje građana o ulogama i odgovornostima među lokalnim jedinicama; Nerazumijevanje važnosti odjela za pisanje projekata unutar lokalne uprave.                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>I P 4</b><br><b>Tema 4</b><br>(Odlučivanje)    | Međunarodne organizacije kao inicijatori SC projekata; Stvaranje ekosistema koji uključuju sve zainteresovane strane; Potreba za uspostavljanjem posebnog odjela za SC projekte; Nedostatak autoriteta i utjecaja kada je u pitanju donošenje odluka.                                                                                                                                                                                                   | Međunarodne organizacije kao inicijatori SC projekata; Spor proces donošenja odluka; Početna inicijativa mora se pomaknuti i doći iz politike; Potreba za uspostavljanjem zasebnog odjela za SC projekte; Potreba za definiranjem uloga i odgovornosti svih zainteresiranih strana u lancu donošenja odluka.                                                                                                                | Strateška perspektiva kao suštinski dio donošenja odluka; Uključenost akademske zajednice u ranim fazama procesa donošenja odluka (rješenja zasnovana na dokazima, objektivnost); Potreba za uspostavljanjem posebnog odjela za SC projekte. | Nedostatak koordinacije i nejasne nadležnosti često odlažu ili blokiraju procese donošenja odluka; Nedostatak vlasništva i volje na lokalnom nivou; Tendencija da se procesi donošenja odluka prebacuju na nekog drugog; Nedostatak uključenosti akademske zajednice u kreiranje općinskih strategija; Praznina u međuinstitucionalnoj saradnji; Potreba za uspostavljanjem posebnog odjela za projekte SC-a.                                                                                                                                                      |
| <b>I P 5</b><br><b>Tema 5</b><br>(City marketing) | Sarajevo ima potencijal da bude brendirano kao pametni grad; Potreba za strateškim radom i dosljednim naporima; Potreba za podizanjem javne svijesti o dugoročnim koristima rješenja pametnih gradova.                                                                                                                                                                                                                                                  | Sarajevo ima potencijal da se brendira kao pametni grad; Potreba za boljom komunikacijom i transparentnošću; Pametni turizam kao značajna prednost; Marketinške i prodajne taktike za podsticanje javnog interesa.                                                                                                                                                                                                          | Usklađivanje s agendom UN-a za održivi razvoj; Povećanje konkurentnosti Sarajeva; Potreba za ravnotežom između kulturnih i tehnoloških faktora.                                                                                              | Sarajevo ima potencijal da se brendira kao pametni grad; Potreba za strateškim radom i dosljednim naporima; Nedostatak marketinške strategije; Sporadične i nekoordinirane marketinške odluke; Nedostatak marketinškog odjela; Potreba za jasnim razumijevanjem kako pristupiti različitim zainteresovanim stranama u gradu.                                                                                                                                                                                                                                       |

## Odgovori na istraživačka pitanja

IP1: Koje su mogućnosti razvoja projekata pametnog grada u Sarajevu?

Svi učesnici u ovom istraživanju dijele mišljenje o prilikama u pogledu urbane transformacije Sarajeva. Kada smo govorili o prilikama, razgovor je obično vodio i do snaga koje svaki od zainteresovanih strana ima i može ponuditi u razvoju ovih projekata. Svi oni donose jedinstvene snage. Stoga su najčešće spominjani finansijski resursi međunarodnih organizacija i stručnost koju posjeduju. Fond za digitalnu Evropu, Zelena i Digitalna agenda za Zapadni Balkan su sve platforme za daljnji razvoj i prilike koje Sarajevo ima i mora iskoristiti. Svi vjeruju da veće prilike mogu proizaći iz implementacije malih pilot projekata koji će pokrenuti daljnji razvoj. Postoje nedovoljno iskorišteni kapaciteti unutar akademske zajednice i njihov istraživački potencijal. I akademska zajednica i IT sektor ukazuju na saradnju između njih i međunarodnih i lokalnih zainteresovanih strana u implementaciji lokalnih rješenja zasnovanih na istraživanju. Urbana pitanja poput zagađenja zraka, upravljanja otpadom i zagušenja saobraćaja obično se smatraju prilikama za inovacije i tehnološke intervencije. Na kraju, vladini zvaničnici vjeruju da najveća prilika leži u generiranju entuzijazma među javnošću i ključnim zainteresovanim stranama da podrže i usvoje promjenu, jer vjeruju da su pojedinačni entuzijasti glavni pokretači ovih projekata u BiH. Ove grupe trebaju nastaviti saradnju i iskoristiti prilike koje pružaju postojeći urbani izazovi. Na taj način Sarajevo će biti spremno da postane održiviji, povezaniji i otporniji grad. Kombinujući snage ovih različitih sektora, Sarajevo može riješiti svoje trenutne probleme i krenuti naprijed s promjenama pametnog grada koje će mu pomoći da raste u budućnosti.

IP2: Koja su ograničenja razvoja projekata pametnog grada u Sarajevu?

Na putu razvoja projekata pametnih gradova u Sarajevu postoje brojna ograničenja koja ometaju napredak i koja je potrebno prevazići. Međunarodne organizacije, IT stručnjaci, akademska zajednica i vladini službenici suočavaju se s poteškoćama uzrokovanim postojećim birokratskim i političkim izazovima, lošom koordinacijom i jurisdikcijskom konfuzijom. Tokom svih intervjuva ispitanici su spominjali prepreke s kojima se suočavaju prilikom pripreme i implementacije koncepata pametnih gradova. Većina problema proizlazi iz kompliciranih birokratskih procedura i političkih barijera. Nepoznavanje zakonskih propisa i poteškoće i kašnjenja u dobijanju dozvola potrebnih za pokretanje projekata pametnih gradova prepoznati su kao ključni izazovi. Svi ispitanici složili su se oko nedostatka volje i spremnosti lokalne samouprave da preuzme održavanje softvera nakon što se projekti realizuju. Još jedno pitanje vezano za to je nedostatak stručnog osoblja u vladinim službama, a posebno nedostatak kvalificiranih IT stručnjaka. To je zbog niskih plata IT osoblja u javnom sektoru, što ga čini neatraktivnim poslodavcem. Sporost sistema, digitalna nepismenost i odsustvo zakona o digitalnom potpisu dodatno otežavaju razvoj koncepta pametnih gradova.

IT sektor i akademska zajednica se slažu oko problema kibernetičke sigurnosti i GDPR-a, koji se zasnivaju na zastarjelim zakonima. Zabrinutost zbog ovoga raste paralelno sa zabrinutošću da javni sektor možda nije spreman ni da se nosi sa složenošću moderne zaštite podataka. Nadalje, svi učesnici su kao jedno od ključnih ograničenja naveli političku nestabilnost i česte promjene vlasti. To dalje dovodi do stalnih političkih borbi i unutrašnjeg otpora gdje se projekti zaustavljaju ili čak ne započinju jer ih je prethodna politička stranka pokrenula ili planirala. Oni na vrhu žele vidjeti neposredne političke dobitke kroz projekte koji su odmah vidljivi građanima, a ne kroz dugoročne

infrastrukturne projekte koji bi zapravo donijeli promjene. Svi zainteresovani su ukazali na problem nadležnosti u Kantonu Sarajevo, gdje nije jasno šta je u nadležnosti Grada Sarajeva, gradskih općina i Kantona Sarajevo. To stvara kašnjenja u implementaciji projekata i često dovodi do prekida projekata.

Dodatne prepreke prepoznaju lokalne samouprave gdje loša međuopćinska saradnja, nedostatak koordinacije i loša komunikacija unutar institucija i između njih dovode do neefikasnosti i fragmentacije. Inicijative se provode sporadično, bez jedinstvene strategije. Razvojne strategije koje su na raspolaganju samo se prepisuju za sljedeću godinu bez ikakve analize. To je potkrijepljeno činjenicom da većina zaposlenih u javnom sektoru nije voljna mijenjati postojeće prakse, što dodatno otežava usvajanje novih tehnologija. Ispitanici smatraju da bi građani trebali vršiti veći pritisak na vladu da se bavi ovim pitanjima, ali svjedoče niskom učešću u javnim raspravama, nedostatku povjerenja, široko rasprostranjenom skepticizmu prema prednostima pametnih rješenja i trendu negativizma među građanima.

Na kraju, možda najvažnija prepreka koje zainteresovane strane možda nisu svjesne jeste njihovo stalno žongliranje odgovornostima. Čini se da svi bježe od odgovornosti i dodatnog posla, često tvrdeći da to nije njihova odgovornost ili nadležnost. To postavlja pitanje: Ako nije njihova odgovornost, čija je onda? Osim toga, uočeno je da, dok svi govore o saradnji i krive druge za njeno nepostojanje, niko ne poduzima prve korake ka saradnji. Uprkos ovim izazovima, postoji opće razumijevanje da ova ograničenja ne čine razvoj pametnih gradova nemogućim. Umjesto toga, svi ističu potrebu za poboljšanom saradnjom, jasnijim pravilima i okvirima upravljanja, dugoročnom posvećenošću i upornom voljom svih uključenih. Da bi Sarajevo krenulo dalje, ova pitanja moraju biti odmah riješena s ciljem stvaranja jedinstvene strategije koja će biti usklađena s ciljevima svih zainteresovanih strana uključenih u urbani razvoj grada.

IP3: U kojoj mjeri je koncept pametnog grada poznat lokalnoj samoupravi?

Kroz intervju su svi ispitanici spomenuli različite nedostatke u znanju među svim zainteresovanim stranama. Premošćivanje ovih nedostataka ključno je za uspješan razvoj i implementaciju projekata pametnih gradova. Međunarodne organizacije su istakle da vladini zvaničnici trebaju poboljšati svoje znanje o konceptu pametnih gradova i procesima implementacije kroz studijske posjete i različite obrazovne programe. IT sektor je prepoznao nedostatak vizije među javnom upravom što je uzrokovano nedostatkom znanja i svijesti o prednostima koncepta pametnih gradova. Veći problem koji se javlja između međunarodnih organizacija kao glavnih inicijatora i finansijera ovih projekata i jedinica lokalne samouprave je jaz u razumijevanju među njima. Međunarodne organizacije obično ne razumiju šta je vladinim jedinicama potrebno ili kako da rasporede svoje resurse, dok lokalne uprave ne razumiju kako međunarodne organizacije funkcionišu. Nadalje, iako neki predstavnici jedinica lokalne samouprave znaju šta se smatra konceptom pametnih gradova, obično nisu svjesni važnosti podataka koji se prikupljaju kroz ove projekte. Nedostatak razumijevanja vrijednosti koje ovi podaci sadrže stvara prepreke za implementaciju efikasnih strategija i planova za budući razvoj. S druge strane, vladine jedinice su se uglavnom fokusirale na izražavanje niskog nivoa znanja i svijesti građana o konceptu pametnog grada i ulogama i odgovornostima različitih aktera u sistemu upravljanja, što ih uzrokuje pasivnošću, inercijom i nezainteresovanošću.

Vladini zvaničnici su, međutim, istakli nedostatak internog prepoznavanja važnosti planiranja projekata. Njihove kolege iz različitih odjela ne vide potrebu za zasebnom

službom za pripremu projekata, iako bi to mogao biti jedini način da se ovi, i bilo koji drugi projekti ključni za urbanu transformaciju, ožive.

Međunarodne organizacije, IT industrija, akademska zajednica i vladini zvaničnici slažu se oko važnosti obrazovanja, radionica, studijskih posjeta i međuinstitucionalne saradnje na različitim nivoima kako bi se poboljšalo razumijevanje i stvorila zajednička vizija za budućnost Sarajeva kao pametnog grada. Potrebno je izgraditi jasnoću o prednostima pametnih gradova i kako oni mogu direktno poboljšati živote stanovnika.

IP4: Kako teče proces donošenja odluka u prijedlozima pametnog grada u Sarajevu?

Proces donošenja odluka za projekte pametnog grada u Sarajevu je složen i fragmentiran, što zahtijeva poboljšanja u koordinaciji, odgovornosti i političkom vodstvu. Kada su ispitanici upitani o ovome, njihov prvi odgovor je bio: "Oh, to je teško!", što potvrđuje koliko je proces zapravo složen i iscrpljujući. Svi ispitanici su se složili da su inicijatori projekata obično međunarodne organizacije koje nude javne pozive za projekte. Međutim, utjecaj ovih inicijativa uvelike ovisi o djelovanju lokalne uprave jer oni imaju stvarnu vlast. Nakon pokretanja projekata, međunarodne organizacije pomažu u stvaranju ekosistema koji uključuje sve relevantne zainteresirane strane. Međutim, proces donošenja odluka često se identificira kao spor i odgođen zbog političke volje. Da bi se poboljšao, potrebne su jasne definicije uloga i odgovornosti svih zainteresiranih strana. IT industrija sugerira da inicijative trebaju dolaziti od političkih lidera, dok se općinski dužnosnici slažu, rekavši da Grad treba preuzeti vodstvo. Međutim, sam Grad tvrdi da Kanton treba biti taj koji će pokretati projekte. Ovaj kontinuirani ciklus nejasne nadležnosti i vlasništva i dalje stvara neefikasnost u provođenju projekata. Problemi koji nastaju u procesima donošenja odluka mogli bi se lako riješiti dobro pripremljenom strategijom. Kao što je napomenuo ispitanik iz akademske zajednice, sve počinje strategijom, a uključivanjem akademske zajednice u rane faze donošenja odluka moguće je razviti strategiju zasnovanu na dugoročnim ciljevima i rješenjima zasnovanim na dokazima. Međutim, ispitanici iz jedinica lokalne samouprave tvrde da, uprkos pripremi javnih poziva za učešće u kreiranju strategija razvoja i procesa donošenja odluka, građani, akademska zajednica i nevladine organizacije obično učestvuju u malom broju ili uopće ne učestvuju. Akademske institucije sa svojom stručnošću mogle bi pomoći u poboljšanju procesa donošenja odluka.

Na kraju, lokalne samouprave moraju preuzeti proaktivniju ulogu, i kako su svi ispitanici preporučili, to bi trebalo biti kroz stvaranje posebnog odjela unutar postojećih općinskih struktura koji bi se bavio projektima pametnih gradova. To bi osiguralo da se donošenje odluka pojednostavi i da postoji kontinuirani fokus na implementaciji inicijativa pametnih gradova. Stoga, definisanjem jasnih uloga i odgovornosti, međuinstitucionalnom saradnjom i snažnim političkim liderstvom, Sarajevo može prevazići postojeće izazove i početi graditi koncept pametnog grada za svoje građane.

IP5: Kako možemo koristiti marketinšku strategiju grada za promociju Sarajeva kao pametnog grada?

Kada je ova tema proširena u intervjuima, svaki ispitanik je imao vlastitu percepciju gradskog marketinga i brendiranja gradova. Bilo je jasno da ne mogu ponuditi stručni stav o ovoj temi, već istaknuti probleme koji bi se mogli riješiti implementacijom strategije gradskog marketinga u kontekstu pametnog grada. Svi ispitanici su se složili da se Sarajevo može brendirati kao pametni grad, ali da prvo treba riješiti neke probleme i goreća pitanja, što će zahtijevati vrijeme i dosljedan napor. Lokalna uprava je potvrdila

da trenutno ne postoje službene marketinške strategije za Grad Sarajevo, niti za gradske općine. Sve što se događa u vezi s marketingom i brendiranjem grada i općina događa se sporadično i bez koordinacije. Još jedan nedostatak je što ljudi u lokalnoj upravi nemaju ideju ko bi uopće mogao preuzeti odgovornost za to. Međutim, IT stručnjaci sugeriraju da se korištenjem marketinških i prodajnih tehnika može izazvati javni interes i da se fokus mora staviti na komuniciranje prednosti ušteda unutar koncepta pametnog grada.

Kreiranje i implementacija gradskog marketinga moglo bi pomoći u rješavanju nekih problema koje su ispitanici spomenuli - stvoriti bolju komunikaciju s građanima, izgraditi transparentnost, poboljšati konkurentnost grada, učiniti grad privlačnijim, stvoriti pristup različitim dionicima i tako dalje. Stoga bi početna tačka ovdje trebala biti kreiranje marketinške strategije grada koja će se fokusirati na dugoročno pozicioniranje Sarajeva kao pametnog grada. Ova strategija bi trebala uključivati inicijative za promociju ciljeva pametnog grada, digitalne infrastrukture i poboljšanja kvalitete života. Trebala bi identificirati ključne ciljne publike za komunikaciju pametnog grada, uključujući građane, turiste, investitore i poduzeća, a zatim kreirati komunikacijske kampanje koje bi odgovarale njihovim jedinstvenim potrebama. Naravno, trebali bi se nuditi godišnji izvještaji kako bi se mogao pratiti napredak u projektima pametnog grada. Ova strategija bi se koristila za definiranje jasnog brenda grada kao pametnog grada. Zbog niskog razumijevanja ovog koncepta, početno brendiranje treba se zasnivati na opipljivim koristima kao što su uštede troškova, poboljšane javne usluge, održiviji razvoj, transparentnost, sudjelovanje, itd.

Kao što je istakao jedan od ispitanika, u procesu brendiranja treba postojati ravnoteža između kulture i tehnologije, a usvajanje napredne tehnologije treba upotpuniti bogati kulturni i historijski identitet grada. Stoga bi se cijeli narativ trebao kreirati oko kulturnog bogatstva Sarajeva u kombinaciji s njegovom budućom vizijom tehnološkog napretka. Fokus treba biti na izazovima s kojima se grad suočava, a koji su predstavljeni u ovoj studiji, a zatim pozicionirati koncept pametnog grada kao rješenje za njihovo rješavanje.

## **Zaključak**

Brendiranje grada Sarajeva kroz koncept pametnog grada predstavlja budućnost razvoja grada ali i osnove strategije marketinga samog grada. Rezultati ovog istraživanja ukazuju na potrebu za više edukacije o temi pametnog grada, njegovim prednostima i načinima implementacije kako među javnim sektorom, tako i među građanima. Iako Grad Sarajevo ima potencijal da se brendira kao pametni grad, neophodne su temeljite pripreme. Transformacija bi trebala započeti s lokalnom upravom preuzimanjem proaktivnije uloge, poticanjem promjena i entuzijazma među zaposlenicima, te ostavljanjem političkih borbi i nestabilnosti po strani. Prepreke kompliciranih birokratskih procedura, nejasne podjela odgovornosti između gradskih općina, grada i kantona, međuinstitucionalne saradnje i međuopćinske koordinacije moraju se riješiti stvaranjem jedinstvene marketinške strategije grada koja bi se fokusirala na dugoročne ciljeve. Nadalje, lokalne uprave bi morale preuzeti odgovornost za svoje djelovanje i osigurati širi prostor građanima da učestvuju u donošenju odluka relevantnih za grad.

## **THE CONCEPT OF SMART CITY AS A GREEN ECONOMY STRATEGY: CASE STUDY OF THE CITY OF SARAJEVO**

**Summary:** Many cities in the world are using the concept of smart city as a new strategy and approach to urban planning to improve the quality of life of their citizens, ensure sustainable development and continuous economic growth. Smart cities use different technology and digital solutions in everyday processes to solve social and urban problems and make life in cities easier through various areas of application. Numerous challenges that Sarajevo is facing like air pollution, traffic congestion, non-transparent administration, waste management, etc. could be solved with the implementation of the concept of smart city. However, for a city to become smart, it needs significant preparation, utilization of diversified resources and a large number of people involved. Achieving this goal requires a good foundation of knowledge about the available opportunities and obstacles that may be encountered along the way.

Therefore, the main goal of this paper is to explore what are the opportunities and constraints for the development of smart city projects in Sarajevo from the perspective of the key stakeholders; to examine to what extent this concept is known to them; how the decision-making process flows; and how city marketing approach can help Sarajevo in becoming a smart city. This paper aims to provide a significant contribution to fill the gap in the knowledge and existing literature on this topic in Bosnia and Herzegovina. Research has been conducted to provide insights and guidelines for smart city implementation for the purpose of improving life of Sarajevo's citizens, attracting new investors, and offering tourists' better experience. Hence, exploratory qualitative research was used in the form of semi-structured in-depth interviews. Participants in this research were people of interest related to the subject matter. They have been organized in four groups: international organizations, IT industry, academic community and local government. These four groups represent main stakeholders in the development of smart city projects. All research participants have already been involved in smart city projects.

Despite the most commonly mentioned issues of complex bureaucratic procedures, unclear division of responsibilities and jurisdiction among municipalities, city and canton, absence of unified strategy, it can be concluded that Sarajevo holds a potential to be branded as a smart city. The findings suggest that change should start from the local government by taking a more proactive role, improving inter-institutional collaboration and inter-municipal coordination, addressing pressing urban issues, and ensuring transparent communication with citizens. These changes should be explained in a unified city marketing strategy that would focus on long-term positioning of Sarajevo as a smart city. This paper provides recommendations for all relevant stakeholders involved in the process of creation of smart city projects and city marketing. In addition, it provides a good foundation for future research in this area since there is a scarce number of academic papers from Bosnia and Herzegovina published on the topics of smart city and city marketing.

**Keywords:** smart cities, digital technologies, sustainable development



## Literatura

1. Albino, V., Berardi, U. & Dangelico, R.M. (2015). Smart Cities: Definitions, Dimensions, Performance, and Initiatives, *Journal of Urban Technology*, 22:1, 3-21.
2. Ashworth, G. & Kavaratzis, M. (2007). Beyond the logo: Brand management for cities. *Journal of Brand Management*. Vol. 16, 8. 520-531.
3. Ashworth, G.J. & Voogd, H. (1990). *Selling the city: Marketing Approaches in Public sector urban planning*. Belhaven Press. London.
4. Braun, E. (2008). *City Marketing: Towards an integrated approach*. Erasmus Research Institute of Management (ERIM) RSM Erasmus University / Erasmus School of Economics Erasmus University Rotterdam (No. EPS-2008-142-ORG).
5. Briggs, M.J. (2009). Innovation and the city: A Macromarketing Approach to Industry Development. *Marketing Intelligence & Planning*, Vol. 27 Iss 2 pp. 233 - 245
6. Dameri, R.P. and Benevolo, C., 2016. Governing smart cities: An empirical analysis. *Social Science Computer Review*, 34(6), pp.693-707.
7. Domazet, A. (2015). *Branding gradova – Studija slučaja grada Sarajeva*. Posebna izdanja Akademije nauka i umjetnosti BiH.
8. Domazet, A., Halilbašić, M., Berberović, D. (2024). *Lokalni ekonomski razvoj općina Kantona Sarajevo u novom normalnom*. Akademija nauka i umjetnosti BiH, Sarajevo.
9. Fernandez-Anez, V., Fernández-Güell, J. M., & Giffinger, R. (2018). Smart City implementation and discourses: An integrated conceptual model. The case of Vienna. *Cities*, 78, 4-16.
10. Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanovic, N., and Meijers, E. (2007). *Smart Cities: Ranking of European Medium-sized Cities*. Vienna: Centre of Regional Science.
11. Grebosz-Krawczyk, M., (2021). Place branding (r) evolution: the management of the smart city's brand. *Place Branding and Public Diplomacy*, 17(1), pp.93-104.
12. Kapferer, J.N. (2008). *New strategic brand management: creating and sustaining brand equity long term*. 4th ed. Kogan Page Limited
13. Kavaratzis, M. & Ashworth, G.J. (2007). Partners in coffeeshops, canals and commerce: Marketing the city of Amsterdam. *Cities*. Vol. 24, No. 1., pp. 6-25.
14. Kavaratzis, M. (2004). From city marketing to city branding: Towards a theoretical framework for developing city brands. *Place Branding*. Vol. 1, No. 1, pp. 58-73.
15. Koo, J. and Kim, Y.G., (2021, March). Interoperability requirements for a smart city. In *Proceedings of the 36th Annual ACM Symposium on Applied Computing* (pp. 690-698).
16. Kotler, P., Asplund, C., Rein, I., & Haider, D. (1999). *Marketing places Europe*. Financial Times, Prentice Hall.
17. Lee, J. and Lee, H., (2014). Developing and validating a citizen-centric typology for smart city services. *Government Information Quarterly*, 31, pp. S93-S105.
18. Ma, W., de Jong, M., Hoppe, T. & de Bruijne, M. (2021). From city promotion via city marketing to city branding: Examining urban strategies in 23 Chinese cities. *Cities*. 116, 103269.
19. Nam, T. and Pardo, T.A., (2011). Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. In *Proceedings of the 12th annual international digital government research conference: digital government innovation in challenging times* (pp. 282-291).
20. Pejanović, M., Domazet, A., Osmanković, J., & Sadiković, E. (2020). *Sarajevo grad i regija u vremenu i prostoru –studija*. Akademija nauka i umjetnosti BiH.
21. Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2016). *Research Methods for Business Students* (7th ed). Harlow, Essex: Pearson Education Limited.
22. Zelenskaya, E. & Elkanova, E. (2021). Designing place brand architecture: the potential of a sub-brands strategy. *Journal of Product & Brand Management*, 30(1), pp.167-179.
23. Zenker, S. & Braun, E. (2017). Questioning a “one size fits all” city brand: Developing a branded house strategy for place brand management. *Journal of Place Management and Development*. Vol. 10, Iss.3, pp. 270-287.

# **PRIMJENA MATEMATIČKOG MODELA I GRINOVOG ALGORITMA U OPTIMIZACIJI ZELENIH LOGISTIČKIH LANACA**

**prof. dr. Fatka Kulenović**

Tehnički fakultet, Univerzitet u Bihaću

**prof. dr. Jasna Hamzabegović**

Tehnički fakultet, Univerzitet u Bihaću

**prof. dr. Jasmina Ibrahimpašić**

Biotehnički fakultet, Univerzitet u Bihaću

**Šejla Jusić Gerzić, viši asistent**

Biotehnički fakultet, Univerzitet u Bihaću

**Sažetak:** Određivanje puteva u mrežama je jedan od najčešće razmatranih optimizacionih problema u teoriji grafova. U kontekstu rastuće potrebe za održivim poslovanjem, optimizacija zelenih logističkih lanaca kroz primjenu teorije grafova fokusirajući se na smanjenje emisija CO<sub>2</sub>, potrošnje goriva i drugih negativnih utjecaja na životnu sredinu postaje jedan od problema od velike važnosti. Kroz primjenu grafova kao modela za analizu veza između različitih tačaka u lancu snabdijevanja, moguće je identifikovati optimalne rute, minimizirati troškove prevoza i smanjiti emisiju štetnih gasova. U radu će se prezentirati primjena Grinovog algoritma u optimizaciji mreže puteva u Bosni i Hercegovini, kao metoda za identifikaciju minimalnih troškova transporta i smanjenje emisija u okviru logističkih sistema. Grinov algoritam, kao metoda za pronalaženje minimalnog stabla u grafovima, koristi se za modeliranje putne infrastrukture kao mreže čvorova i grana, gdje su čvorovi tačke distribucije, dok su grane transportne rute između njih. Cilj je minimizirati ukupne troškove uključujući gorivo i emisije CO<sub>2</sub> kroz izbor optimalnih ruta za prevoz, uzimajući u obzir različite faktore kao što su saobraćajna zagušenja, kvalitet puteva i udaljenosti. Implementacija ovog algoritma na mreži puteva u BiH može doprinijeti značajnom poboljšanju efikasnosti logističkih operacija, smanjenju zagađenja i povećanju održivosti.

**Ključne riječi:** optimizacija, Grinov algoritam, logistički lanci, emisije CO<sub>2</sub>

## **Uvod**

U savremenom poslovnom okruženju logistika predstavlja ključni segment ekonomije [1], ali istovremeno ima i značajan utjecaj na životnu sredinu. Zelena logistika je ključna za postizanje ciljeva održivog razvoja kroz optimizaciju transportnih ruta, smanjenje emisija štetnih gasova i efikasno korištenje resursa. Logistički zeleni lanci predstavljaju ključnu komponentu u modernom poslovanju, a njihova efikasnost direktno utječe na troškove, vrijeme isporuke i utjecaj na životnu sredinu. Teorija grafova, koja se koristi za modeliranje i analizu povezanih sistema, nudi snažan okvir za rješavanje problema optimizacije u logistici. Optimizacija koja će koristiti matematičke modele i algoritme za identifikaciju najboljih ruta i procesa, a u cilju smanjenja troškova i negativnih



utjecaja na životnu sredinu, će biti u središtu pristupa u ovom radu. Grinov algoritam je jedan od najnovijih i najsvrshodnijih alata koji omogućava efikasno upravljanje zelenim logističkim mrežama, gdje su gradovi predstavljeni kao čvorovi, a putevi koji ih povezuju kao grane. U ovom radu razmatrat ćemo primjenu matematičkog modela u optimizaciji zelenih logističkih lanaca i implementaciju Grinovog algoritma kroz konkretan primjer, u kojem su gradovi (Sarajevo, Banja Luka, Mostar, Tuzla, Zenica i Bihać) predstavljeni kao ključne tačke u mreži na Slici 1. Analizirat ćemo kako ovaj algoritam može doprinijeti smanjenju emisije CO<sub>2</sub> i optimizaciji transportnih ruta. Rad će ukazati na veliki značaj digitalnih tehnologija u tranziciji ka zelenoj ekonomiji, kao i ulogu koju igraju u usmjeravanju privrede prema održivijim praksama.



Slika 1 - Karta sa ključnim gradovima

## Zelena logistika

Zelena logistika predstavlja pristup upravljanju logističkim operacijama koji uzima u obzir ekološke aspekte poslovanja. Glavni cilj ove vrste logistike je postizanje održivog transporta i distribucije u kojem se smanjuje potrošnja energije, smanjuju emisije ugljen-dioksida (CO<sub>2</sub>), kao i drugi zagađivači, te se povećava energetska efikasnost. Korištenjem inovativnih tehnologija i metodologija optimizacije zelena logistika doprinosi smanjenju negativnog utjecaja transporta na prirodu, dok istovremeno poboljšava profitabilnost preduzeća. Zeleni logistički lanci imaju višestruki ekološki, ekonomski i socijalni značaj kroz razne benefite, kao što su:

1. Smanjenje troškova: Efikasniji transport i bolja iskorištenost resursa dovode do smanjenja operativnih troškova.
2. Povećanje konkurentske prednosti: Preduzeća koja usvajaju zelene inicijative stječu imidž odgovorne i ekološki osviještene kompanije, što im omogućava da se istaknu na tržištu.
3. Regulatorne prednosti: U mnogim zemljama postoje subvencije, poreske olakšice i druge povlastice za preduzeća koja implementiraju zelene tehnologije i smanjuju

i smanjuju negativan utjecaj na životnu sredinu.

4. Poboljšanje efikasnosti i smanjenje emisija: Kroz optimizaciju logističkih ruta i smanjenje broja praznih vožnji, emisije CO<sub>2</sub> mogu se značajno smanjiti, čime se doprinosi održivom razvoju.

### Matematički model gradova i logističkih lanaca

Matematičko modeliranje u zelenoj logistici igra ključnu ulogu u optimizaciji procesa transporta i distribucije. Korištenje matematičkih tehnika omogućava precizno predviđanje optimalnih ruta, smanjenje troškova, minimizaciju emisija i bolje upravljanje resursima. Postoji nekoliko različitih matematičkih metoda koje se koriste za optimizaciju logističkih lanaca. U radu će se koristiti matematički model u optimizaciji logističkih ruta koji se može prikazati kao problem pronalaženja minimalnog stabla u grafu, gdje su čvorovi tačke koje predstavljaju distribucijske centre, terminale, ili gradove, a predstavljaju ceste ili rute koje povezuju te tačke. Cilj je minimizirati ukupne troškove (npr. potrošnja goriva, emisije CO<sub>2</sub>) i vrijeme putovanja. Za ovaj problem možemo koristiti teoriju grafova i matematičke pristupe za formulaciju i implementaciju rješenja [2].

U matematičkom modelu mreža puteva predstavlja neusmjereni graf  $G=(V,E)$ , gdje  $V$  predstavlja skup čvorova (tačaka) na mreži (npr. gradovi, distribucijski centri),  $E$  predstavlja skup grana (putevi) koji povezuju te čvorove. Za postavljanje modela detaljnije definišemo sljedeće definicije grafa:

1. Graf je uređena trojka  $G=(V,E,\phi)$ , gdje je:

$V=V(G)$  je neprazan skup čije elemente nazivamo čvorovima,

$E=E(G)$  je skup disjunktan s  $V$  čije elemente nazivamo granama i

$\phi$  je funkcija koja svakoj grani  $e$  iz  $E$  pridružuje par  $u,v \in V$ .

2. Graf skraćeno označavamo sa  $G=(V,E)$  ili samo  $G$ .

Uvedemo li u razmatranje promjenjive  $x_{ij}$  koje se definišu na sljedeći način:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{ako postoji aktivna ruta gradova } i \text{ i } j \\ 0, & \text{u suprotnom} \end{cases}$$

Matematički model koji ćemo koristiti za optimizaciju logističkog lanca [3] uključuje funkciju cilja koja minimizira ukupne troškove i emisije CO<sub>2</sub>:

$$\min \sum_{i,j} x_{ij} \cdot (\alpha \cdot c_{ij} + \beta \cdot e_{ij})$$

$c_{ij}$  je trošak transporta između gradova  $i$  i  $j$

$e_{ij}$  je emisija CO<sub>2</sub> između gradova  $i$  i  $j$

$\alpha$  i  $\beta$  su težinski faktori koji određuju relativnu važnost troškova i emisija (možemo ih postaviti na  $\alpha=0,5$  i  $\beta=0,5$  za ravnotežu između troška i emisija).

Model mora zadovoljiti nekoliko ograničenja kako bi bio realističan:

1. Povezanost: Svaki grad mora biti povezan s barem jednim drugim gradom.
2. Nema kružnih ruta: Osim ako nije specifično planirano, rute ne mogu formirati kružne tokove.
3. Kapacitet vozila: Ako se uključuju konkretne količine tereta, potrebno je da ukupan kapacitet transporta ne bude premašen.
4. Vremenska ograničenja: Svaka ruta može imati maksimalno dopušteno vrijeme (ako se želi dodati dodatno ograničenje).

U BiH postoji mnogo važnih gradova i distribucijskih centara koje treba povezati. Bihac je ključni grad u zapadnom dijelu zemlje, te ćemo ga uključiti u simulaciju s relevantnim rutama prema drugim gradovima, kao što su Sarajevo, Zenica, Mostar, Banja Luka i Tuzla. U našoj mreži gradovi će biti predstavljeni kao čvorovi, dok će putevi između njih predstavljati grane. Svaka grana ima težinu koja predstavlja trošak puta, što uključuje tri osnovna parametra:

1. Udaljenost (km) – dužina puta između dva grada.
2. Trošak (€) - potrošnja goriva (litara) zavisno od tipa vozila i stanja puta.
3. Emisije CO<sub>2</sub> (kg) – emisije ugljendioksida na osnovu pređenih kilometara koje su povezane sa potrošnjom goriva i tipa vozila.

Za dobivanje stvarnih podataka mogli bismo koristiti sljedeće izvore:

Podaci o troškovima transporta:

- Ove podatke možete dobiti od transportnih kompanija ili online platformi za izračun troškova transporta. Također, mnoge transportne kompanije imaju API-je koji omogućuju pristup stvarnim podacima.
- Moguće je koristiti Google Maps API za procjenu udaljenosti i vremena putovanja između gradova, koji može biti koristan za izračun troškova goriva.

Podaci o emisijama CO<sub>2</sub>:

- Moguće je koristiti emisijske faktore koji se temelje na vrsti transporta (npr. kamioni, vozovi, brodovi, avioni). Emisijski faktori su često dostupni u ekološkim izvještajima ili izvorima poput IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) i drugih organizacija koje pružaju podatke o emisijama na temelju tipa goriva i tipa vozila.
- Naprimjer, emisije za kamion s dizelskim motorom mogu biti oko 0.2 kg CO<sub>2</sub> po kilometru, dok za električna vozila mogu biti znatno niže, ovisno o korištenoj energiji.

Za naš primjer uzimamo stvarne gradove koje smo odabrali i povezujemo ih s podacima o udaljenostima, troškovima goriva i emisijama. Za trošak transporta, ako koristimo Google Maps API za izračun udaljenosti između gradova, možemo procijeniti trošak transporta prema kilometrima i cijeni goriva. Naprimjer, ako kamion troši 10 litara goriva na 100 km, a cijena goriva je 1.5 € po litri, trošak goriva za 100 km bio bi 15 €. Za emisije CO<sub>2</sub>, koristeći emisijske faktore za tipične kamione, možemo izračunati emisije. Naprimjer, kamion s dizelskim motorom može emitirati oko 0.2 kg CO<sub>2</sub> po kilometru, pa za 200 km to iznosi 40 kg CO<sub>2</sub>. Za naš primjer uzimamo stvarne gradove koje smo odabrali i povezujemo ih s podacima o udaljenostima, troškovima goriva i emisijama. Za trošak transporta, ako koristimo Google Maps API za izračun udaljenosti

između gradova, možemo procijeniti trošak transporta prema kilometrima i cijeni goriva. Naprimjer, ako kamion troši 10 litara goriva na 100 km, a cijena goriva je 1.5 € po litri, trošak goriva za 100 km bio bi 15 €. Za emisije CO<sub>2</sub>, koristeći emisijske faktore za tipične kamione, možemo izračunati emisije. Naprimjer, kamion s dizelskim motorom može emitirati oko 0.2 kg CO<sub>2</sub> po kilometru, pa za 200 km to iznosi 40 kg CO<sub>2</sub>.

### Primjena Grinovog algoritma na mrežu gradova

Nakon što smo definisali model, možemo preći na primjenu Grinovog algoritma. Ovaj algoritam je zasnovan na heurističkom pristupu optimizacije, gdje cilj nije uvijek da se pronađe savršen, već “dovoljan” odgovor koji minimizira emisije i trošak. Grinov algoritam koristi već navedene parametre poput udaljenosti, emisije i troškova kako bi izabrao najpovoljnije rute. Algoritam koristi osnovnu ideju greedy pristupa, tj. u svakom koraku bira se ruta koja daje najmanji trošak + emisiju u odnosu na sve preostale rute. Ovaj proces se ponavlja dok se ne povežu svi gradovi ili dok se ne zadovolje ostali uslovi.

Koraci Grinovog algoritma:

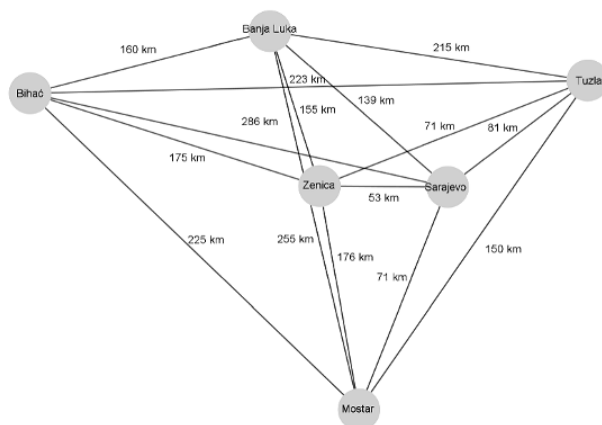
1. Početak: Započinjemo od početnog grada (npr. Sarajevo).
2. Izbor rute: Izbor rute s najnižim ukupnim troškom i emisijama između trenutnog grada i preostalih gradova.
3. Ponoviti: Ponavljamo korak 2 dok svi gradovi ne budu povezani.

### Testiranje i simulacija u Pythonu

Python je programski jezik [6] koji je besplatan i otvorenog koda i ima puno besplatnih biblioteka koji pomažu da se rješavaju razne vrste problema i zadataka kao i što je ovaj u ovom radu. Nakon što je implementiran algoritam, mogu se testirati optimizovane rute između svih gradova na osnovu stvarnih podataka (udaljenost, trošak, emisije). Kroz simulaciju se upoređuju rezultati sa standardnim rješenjima kao što su klasični algoritmi za najkraći put. Za početak je implementiran Grinov algoritam za optimizaciju logističkih ruta koristeći sljedeće parametre: trošak transporta između gradova i emisije CO<sub>2</sub> na ruti, a u cilju minimizacije ukupnog troška i emisije CO<sub>2</sub>. U Tabeli 1 su predstavljeni dobiveni podaci za međusobne udaljenosti između zadanih gradova, kao i prikaz na Slici 2 u obliku grafa.

| Od → Do    | Sarajevo | Banja Luka | Mostar | Tuzla  | Zenica | Bihać  |
|------------|----------|------------|--------|--------|--------|--------|
| Sarajevo   | —        | 139 km     | 71 km  | 81 km  | 53 km  | 286 km |
| Banja Luka | 139 km   | —          | 255 km | 215 km | 155 km | 160 km |
| Mostar     | 71 km    | 255 km     | —      | 150 km | 176 km | 225 km |
| Tuzla      | 81 km    | 215 km     | 150 km | —      | 71 km  | 223 km |
| Zenica     | 53 km    | 155 km     | 176 km | 71 km  | —      | 175 km |
| Bihać      | 286 km   | 160 km     | 225 km | 223 km | 175 km | —      |

Tabela 1 - Udaljenost između gradova



Slika 2 - Udaljenost između gradova na grafu

Gradovi su označeni na sljedeći način: A = Sarajevo, B = Banja Luka, C = Mostar, D = Tuzla, E = Zenica, F = Bihać. Udaljenosti između gradova su približne i mogu se razlikovati zavisno o odabranoj ruti i uslovima na cestama. Za podatke iz Tabele 1 se odredi trošak transporta između gradova i emisije CO2 na ruti.

U tom cilju su poduzeti sljedeći koraci:

1. Definisani su podaci o troškovima transporta između gradova i emisije CO2 na ruta-ma (Tabela 2 i Tabela 3).
2. Izračunati su ukupni troškovi i emisije za sve moguće rute (Tabela 4).
3. Primjenjujemo Grinov algoritam za odabir optimalnih ruta prema kriterijima minimalnog troška i emisije.

Dakle, imamo sljedeće podatke u tabelama. Za trošak u eurima je korištena formula  $c_{ij} = d_{ij} \times 0.15$  u programskom jeziku i dobivena je matrica troškova čije vrijednosti se nalaze u Tabeli 2.

|   | A     | B     | C     | D     | E     | F     |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A | —     | 20.85 | 10.65 | 12.15 | 7.95  | 42.90 |
| B | 20.85 | —     | 38.25 | 32.25 | 23.25 | 24.00 |
| C | 10.65 | 38.25 | —     | 22.50 | 26.40 | 33.75 |
| D | 12.15 | 32.25 | 22.50 | —     | 10.65 | 33.45 |
| E | 7.95  | 23.25 | 26.40 | 10.65 | —     | 26.25 |
| F | 42.90 | 24.00 | 33.75 | 33.45 | 26.25 | —     |

Tabela 2 - Matrica troškova transporta (troškovi goriva €)

Na sličan način je dobivena i matrica emisija, ali sa formulom  $e_{ij} = d_{ij} \times 0.2$  i dobiveni podaci se nalaze u Tabeli 3.

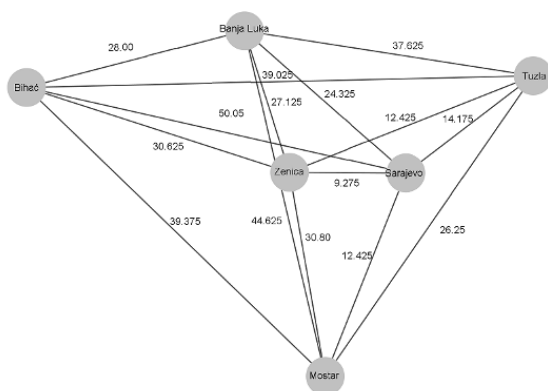
|   | A    | B    | C    | D    | E    | F    |
|---|------|------|------|------|------|------|
| A | —    | 27.8 | 14.2 | 16.2 | 10.6 | 57.2 |
| B | 27.8 | —    | 51.0 | 43.0 | 31.0 | 32.0 |
| C | 14.2 | 51.0 | —    | 30.0 | 35.2 | 45.0 |
| D | 16.2 | 43.0 | 30.0 | —    | 14.2 | 44.6 |
| E | 10.6 | 31.0 | 35.2 | 14.2 | —    | 35.0 |
| F | 57.2 | 32.0 | 45.0 | 44.6 | 35.0 | —    |

Tabela 3 - Matrica emisija (kg CO<sub>2</sub>)

Za matricu funkcije cilja (Z) korištena je formula  $z_{ij}=0.5 \cdot c_{ij} + 0.5 \cdot e_{ij}$  i u Tabeli 4 su prikazani dobiveni podaci. Na Slici 3 podaci su prikazani na grafu sa čvorovima i granama sa troškovima.

|   | A      | B      | C      | D      | E      | F      |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| A | —      | 24.325 | 12.425 | 14.175 | 9.275  | 50.05  |
| B | 24.325 | —      | 44.625 | 37.625 | 27.125 | 28.00  |
| C | 12.425 | 44.625 | —      | 26.25  | 30.80  | 39.375 |
| D | 14.175 | 37.625 | 26.25  | —      | 12.425 | 39.025 |
| E | 9.275  | 27.125 | 30.80  | 12.425 | —      | 30.625 |
| F | 50.05  | 28.00  | 39.375 | 39.025 | 30.625 | —      |

Tabela 4 - Matrica funkcije cilja (€ i kg CO<sub>2</sub> kombinovano ukupni trošak)



Slika 3 - Gradovi na grafu sa prikazanim međusobnim kombinovanim troškovima

Koristeći biblioteku PuLP na Slici 4, koja služi za linearno programiranje (LP) i cjelobrojno programiranje (MILP) i to za definisanje varijabli (za svaku moguću rutu između gradova), definisana je binarna varijabla koja može imati vrijednosti 1 ili 0. Zatim, za funkciju cilja koja sabira sve moguće rute i množi ih s odgovarajućim  $Z[i,j]$  (kombinovani trošak + emisija). Cilj je minimizirati ovu vrijednost. Također, prikazano je ograničenje za svaki grad, tj. svaki grad mora imati tačno jednu izlaznu rutu (ide dalje), i tačno jednu ulaznu rutu (neko dolazi u taj grad). Ovo omogućava formiranje kružne ture kroz svih 6 gradova.

```
python
# Binarne varijable za rutu
x = pulp.LpVariable.dicts("Ruta", Z.keys(), cat='Binary')

# Funkcija cilja
prob += pulp.lpSum([Z[i] * x[i] for i in Z]), "Ukupan_Trošak_i_Emisije"

# Ograničenja za svaki grad (ulaz i izlaz)
for city in cities:
    prob += pulp.lpSum([x[(i, j)] for (i, j) in Z if i == city]) == 1, f"Izlaz_{city}"
    prob += pulp.lpSum([x[(i, j)] for (i, j) in Z if j == city]) == 1, f"Ulaz_{city}"
```

Slika 4 - Biblioteka PuLP za rješavanje problema

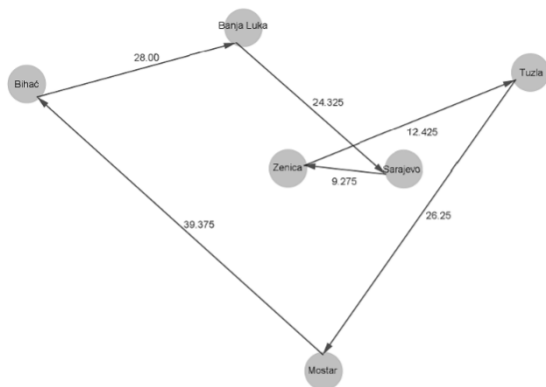
Za vizualizacija rješenja na Slici 5 nakon što model pronađe optimalne rute varijable  $x[i,j]=1$ , koristi se NetworkX i Matplotlib da se rješenje nacрта.

```
python

nx.draw(G, pos, with_labels=True, arrows=True)
```

Slika 5 - Vizualizacija rješenja

Na Slici 5 je inicijalno rješenje kao usmjereni graf, gdje su opet čvorovi gradovi, a strelice prikazuju pravac kretanja između njih. Iznad svake strelice piše kombinovani trošak + emisija za tu relaciju.



Slika 5 - Inicijalno rješenje kao usmjereni graf

Vidljiva je predložena ruta: A (Sarajevo) → E (Zenica) → D (Tuzla) → C (Mostar) → F (Bihać) → B (Banja Luka) → A (Sarajevo). Ovo rješenje znači da ruta počinje iz Sarajeva (A), zatim ide u Zenicu (E), pa u Tuzlu (D), onda u Mostar (C), pa u Bihać (F). Na kraju u Banja Luku (B) i nazad u Sarajevo (A). Ukupni zbir se može prikazati po čvorovima  $Z_A + Z_E + Z_D + Z_C + Z_F + Z_B + Z_A$ , pri čemu je najmanji mogući zbir kombinovanih troškova i emisija za obilazak svih gradova. U Tabeli 5 je prikazan zbir troškova po relacijama. Vidljivo je da je ukupni trošak 139.65 (€+kg CO<sub>2</sub>) kada se sabere druga kolona.



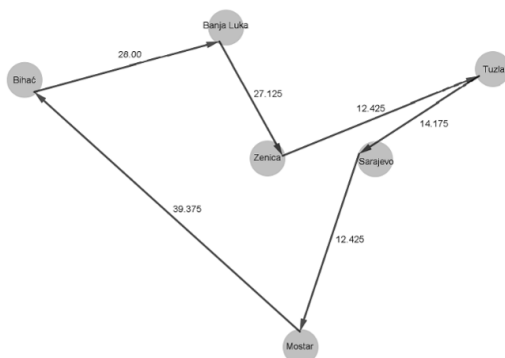
| Relacija | Z (trošak + emisija) |
|----------|----------------------|
| A → E    | 9.275                |
| E → D    | 12.425               |
| D → C    | 26.25                |
| C → F    | 39.375               |
| F → B    | 28.0                 |
| B → A    | 24.325               |

Tabela 5 - Zbir troškova po relacijama inicijalne rute

Da bi bili sigurni da je ta ruta optimalna, pokrenut je optimizacijski model u PuLP-u s datim funkcijama cilja i ograničenjima i dobiveno je rješenje koje minimizira ukupni trošak i emisije. Poređenjem dobivene rute i njenog ukupnog troška s početnom inicijalnom rutom, PuLP je pronašao optimalni ukupni trošak + emisije od 133.525 (€+kg CO<sub>2</sub>). To je niže od prve rute što znači da postoji efikasnija ruta koja smanjuje ukupne troškove i emisije za oko 4.4%. Naprimjer, put A → E košta 9.275, što je povoljno za početak, ali ne znači i da je optimalni izbor. Veze s velikim troškovima poput A → F (50.05) se izbjegavaju ili koriste samo ako je ukupno bolje. Dakle, početna ruta nije optimalnija od druge, ali je blizu (oko 4-5% skuplja). Optimalna ruta štedi i novac i okoliš, što je bolji rezultat za logistiku. Optimalno rješenje je dobiveno koristeći linearno programiranje u Pythonu (PuLP) i pronađena je optimalna ruta kroz gradove u Tabeli 6 i na Slici 6.

| Relacija | Z (trošak + emisija) |
|----------|----------------------|
| A → C    | 12.425               |
| C → F    | 39.375               |
| F → B    | 28.00                |
| B → E    | 27.125               |
| E → D    | 12.425               |
| D → A    | 14.175               |

Tabela 6 - Optimalno rješenje po relacijama



Slika 6 - Optimalno rješenje

Optimalno rješenje, gdje je ukupni minimalni trošak i emisije 133.525 (€+kg CO<sub>2</sub>), jeste dobivena ruta: A (Sarajevo) → C (Mostar) → F (Bihać) → B (Banja Luka) → E (Zenica) → D (Tuzla) → A (Sarajevo). Kada se uporede rezultati inicijalne i optimalne rute ušteda optimizacijom je oko 4.4%, što smo već i naveli, jer optimalna ruta izbjegava visoke troškove i visoke emisije.

## Zaključak

Ovaj rad je istraživao primjenu Grinovog algoritma za optimizaciju logističkih zelenih lanaca s ciljem smanjenja troškova, tj. potrošnje goriva i smanjenja emisije CO<sub>2</sub>. Kroz analizu stvarnih podataka o udaljenostima, troškovima i emisijama između gradova, demonstrirano je kako ovaj algoritam može doprinijeti održivoj logistici u kontekstu smanjenja negativnog utjecaja transporta na životnu sredinu [4]. Implementacijom Grinovog algoritma na konkretne podatke dobiveni su rezultati koji pokazuju da optimizacija rute može značajno smanjiti ukupne troškove i emisije, što potvrđuje efikasnost ovog modela. Konkretno, optimalna ruta, koja uključuje gradove Sarajevo, Mostar, Tuzla, Zenicu, Banja Luku i Bihać, pokazala je balans između smanjenja emisija CO<sub>2</sub> i minimizacije troškova transporta. Pored toga, pokazano je da težinski koeficijenti za trošak i emisije mogu značajno utjecati na rezultate, što otvara prostor za daljnja istraživanja i prilagođavanje modela specifičnim potrebama različitih logističkih mreža. Važno je naglasiti da se Grinov algoritam može dodatno razvijati kako bi uključio dinamične faktore poput promjenjivih cijena goriva ili saobraćajnih gužvi, čime bi njegova primjena postala još fleksibilnija i praktičnija za realne uslove. Primjena održivih logističkih rešenja, kao što je zelena logistika, postaje ključna ne samo za smanjenje ekološkog otiska, tj. ljudskog utjecaja na prirodne resurse, već i za ostvarivanje dugoročnih ekonomskih i društvenih ciljeva. Implementacija naprednih matematičkih modela i algoritama [5], poput Grinovog u programskom jeziku Python predstavlja značajan korak ka postizanju održivosti u globalnim logističkim mrežama. Rezultati pokazuju da primjena Grinovog algoritma u optimizaciji zelenih logističkih lanaca može donijeti i ekonomske koristi i ekološke koristi, čime se doprinosi ostvarenju dugoročnih ciljeva smanjenja emisija CO<sub>2</sub> u Bosni i Hercegovini. Kada bi ovaj model rješavanja i traženja optimalnog rješenja primijenili na neko preduzeće s velikim brojem kamiona koje se bave distribucijom unutar cijele BiH, uštede i smanjenje štetnih emisija bi bili više-struki.

## **APPLICATION OF MATHEMATICAL MODEL AND GREEN'S ALGORITHM IN OPTIMIZATION OF GREEN LOGISTICS CHAINS**

**Summary:** Determining routes in networks is one of the most frequently considered optimization problems in graph theory. In the context of the growing need for sustainable business, the optimization of green logistics chains through the application of graph theory focusing on reducing CO<sub>2</sub> emissions, fuel consumption and other negative environmental impacts is becoming one of the problems of great importance. Through the application of graphs as a model for analyzing connections between different points in the supply chain, it is possible to identify optimal routes, minimize transportation costs and reduce emissions of harmful gases. The paper will present the application of Green's algorithm in optimizing the road network in Bosnia and Herzegovina, as a method for identifying minimal transportation costs and reducing emissions within logistics systems. Green's algorithm, as a method for finding a minimum spanning tree in graphs, is used to model road infrastructure as a network of nodes and branches, where nodes are distribution points, while branches are transport routes between them. The goal is to minimize total costs including fuel and CO<sub>2</sub> emissions through the selection of optimal transportation routes, taking into account various factors such as traffic congestion, road quality and distances. Implementation of this algorithm on the road network in BiH can contribute to significantly improving the efficiency of logistics operations, reducing pollution and increasing sustainability.

**Keywords:** Optimization, Green's algorithm, Logistics Chains, CO<sub>2</sub> emissions

### **Literatura**

1. Omer Kurtanović, Fatih Destović, Fatka Kulenović, Univerzitet u Bihaću, Matematičke metode u ekonomiji primjenom softvera, Bihać 2019, 338-371
2. Kulenović Fatka, Metode matematičkog programiranja za rješavanje lokacijskih i alokacijskih problema, Doktorska disertacija, Univerzitet u Sarajevu, PMF 2014, 13-21, 42-48
3. Teodorović Dušan, Transportne mreže, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet 2007, 110-113
4. Fatka Kulenović, Jasna Hamzabegović: Primjena problema alokacije u rješavanju postavljenih zadataka planiranja, VII. međunarodni stručno-znanstveni skup ZAŠTITA NA RADU I ZAŠTITA ZDRAVLJA, 2018. Borik – Zadar Hrvatska, 2018
5. Fatka Kulenović: Rješavanje problema alokacije promjenom softvera WINQSB, 12th International Scientific Conference on Production Engineering DEVELOPMENT AND MODERNIZATION OF PRODUCTION, Sarajevo, 2019
6. <https://www.online-python.com/> maj 2025

# DIGITALIZACIJA KAO POKRETAČ HIBRIDNIH ENERGETSKIH SISTEMA U DISTRIKTIMA S VIŠKOM ENERGIJE

van. prof. dr. Emir Nezirić

Mašinski fakultet, Univerzitet "Džemal Bijedić" u Mostaru

doc. dr. Damir Špago

Mašinski fakultet, Univerzitet "Džemal Bijedić" u Mostaru

**Sažetak:** U radu je prikazan koncept hibridnih energetske sistema zasnovanih na obnovljivim izvorima energije kao ključnog elementa u razvoju distrikata s viškom energije (Positive Energy Districts – PED). Analizirana je uloga hibridnih sistema koji kombinuju solarne fotonaponske panele, toplotne pumpe i skladišta energije, uz primjenu SCADA sistema, Interneta stvari (IoT) i algoritama mašinskog učenja za unapređenje efikasnosti i fleksibilnosti energetske mreža. Posebna pažnja posvećena je praktičnoj implementaciji kroz studiju slučaja na zgradi Mašinskog fakulteta Univerziteta "Džemal Bijedić" u Mostaru, gdje je instaliran hibridni energetski sistem s ciljem povećanja energetske samoodrživosti zgrade, te njene uloge u postizanju distrikta s viškom energije u Univerzitetskom kampusu. U radu se zaključuje da digitalizacija i fleksibilnost koju nude hibridni energetski sistemi predstavljaju ključne faktore u prevazilaženju izazova energetske tranzicije, te da univerzitetski kampusi mogu postati modeli za buduće održive energetske zajednice.

**Ključne riječi:** hibridni energetski sistemi, obnovljivi izvori energije, distrikti s viškom energije, digitalizacija

## Uvod

Obnovljivi izvori energije (OIE), emisije CO<sub>2</sub> u atmosferu kao i karbonski otisak su aktuelne teme u svijetu. Imperativ postizanja energetske nezavisnosti kao primat stavlja prelazak sa konvencionalnih izvora energije na obnovljive izvore energije. Evropska zajednica je uočila ovaj problem i intenzivno promovise održive i čiste izvore energije. Povećanje proizvodnje energije iz OIE, u principu, bi trebalo smanjiti potrošnju energije bazirane na fosilnim gorivima. Evropski zeleni plan ("European Green Deal" – EGD) je definisao put koji je fokusiran na kreiranje boljeg i zdravijeg okruženja za život ljudi kroz postizanje klimatske neutralnosti, smanjenje zagađenja i čistu proizvodnju kroz inkluzivnost u ovoj tranziciji (European Comitee, 2022). Svakodnevno se razvijaju nove ideje koje vode prema postizanju ciljeva koje je zacrtao EGD, razvijajući nove načine postizanja zacrtanih ciljeva.

Zgrade su jedan od najvećih potrošača energije s ukupnim udjelom od 40% u ukupnom energetske balansu (European Comitee, 2022). Ova energija treba da bude kontrolisana korištenjem inovativnih rješenja s ciljem smanjenja energetske gubitaka, kao i proizvodnjom energije na licu mjesta iz dostupnih izvora energije kao što je sunčeva energija (fotonaponski paneli, toplotni kolektori), energija vjetrova ili geotermalna energija. U toku 70-tih godina dvadesetog vijeka javio se koncept "zgrade nulte energije" (ZEB) kao ideje s ciljem smanjenja potrošnje energije u zgradama s istovremenom proizvodnjom energije na licu mjesta [2]. Pored ovog koncepta, s vremenom su se razvili i

drugi koncepti kao što su “Zgrade gotovo nulte energije”, “Kvartovi s viškom energije”, “Energetski neutralni distrikti” i “Distrikti s viškom energije” (JPI 2020, Derkenbaeva i ostali 2022; Schnapp i ostali, 2020). “Distrikt s viškom energije” (PED) predstavlja područje unutar grada (ili dio grada) koji proizvodi više energije nego što je troši na nivou perioda 12 mjeseci (Lindholm i Rehman, 2021). Taj dio grada mora imati jasne geografske granice unutar grada sa razmjenom energije s vanjskim sistemima ili bez nje. Ovaj koncept je jedna od aktualnih tema Evropske unije u implementaciji EGD, s obzirom da su Strateškim energetskim tehnološkim planom (SET) predvidjeli kreiranje sto distrikta s viškom energije do kraja 2025. godine (SET, 2018).

Iako koncept razvoja PED nije u potpunosti nov, još uvijek se implementacija ovog koncepta susreće s mnoštvom problema. Jedan od najčešćih problema koji se javlja jeste finansiranje, s obzirom da su projekti PED često skuplji od konvencionalnih projekata. Kao drugi problem koji se javlja jeste zakonski okvir i regulativa koja najčešće nije prilagođena ovakvom modelu razmjene energije unutar distrikta. Jedan od načina savladavanja ovih problema jeste postizanje fleksibilnosti energetskog sistema distrikta kroz integraciju obnovljivih izvora energije, pametnog upravljanja energetskim sistemom te pohrane viška energije. Kroz navedeno se vidi uloga hibridnog energetskog sistema kao ključnog faktora u postizanju viška proizvedene električne energije nad ukupnom energetskom potrošnjom na nivou distrikta, što ga i čini distriktom s viškom energije.

## Hibridni energetski sistemi

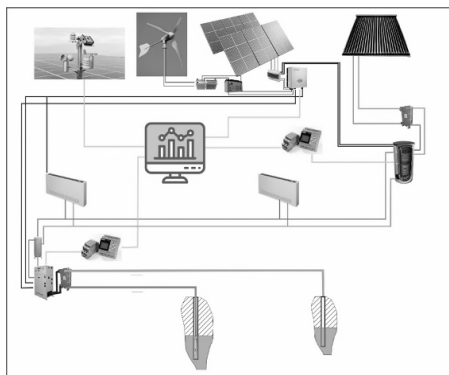
Svijet se ubrzano kreće ka decentralizovanoj proizvodnji energije, gdje zgrade i industrijski objekti postaju aktivni učesnici u energetskom sistemu kao proizvođači i potrošači energije. Hibridni energetski sistemi, koji kombinuju različite izvore energije i tehnologije za optimizaciju snabdijevanja, predstavljaju ključni segment održive i fleksibilne energetske infrastrukture (Gomez i ostali, 2023). Njihova primjena obuhvata integraciju fotonaponskih sistema, malih vjetroturbina, baterijskih skladišta, gorivih ćelija i toplotnih pumpi, omogućavajući stabilno i efikasno korištenje obnovljivih izvora (Rahman i ostali, 2021). Ovi sistemi mogu funkcionisati u mrežnom i otočnom režimu, povećavajući energetska nezavisnost i smanjujući emisije stakleničkih gasova. U kontekstu digitalizacije zelene ekonomije, napredni informatički alati i senzorska mreža igraju ključnu ulogu u nadzoru i optimizaciji hibridnih sistema. Savremene SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) platforme omogućavaju praćenje ključnih parametara rada u realnom vremenu, dok sistemi za akviziciju podataka i IoT rješenja omogućavaju preciznu analizu i prediktivno održavanje. Primjena algoritama mašinskog učenja i umjetne inteligencije omogućava optimizaciju potrošnje energije, smanjenje gubitaka i dinamičko prilagođavanje sistema prema promjenama potrošnje i dostupnosti obnovljivih izvora (Fadnes i ostali, 2021). Integracija digitalnih tehnologija u upravljanje hibridnim energetskim sistemima dodatno se ogleda u razvoju pametnih mikromreža, gdje decentralizovani izvori energije sarađuju s naprednim sistemima za skladištenje i distribuciju. Softverski alati omogućavaju simulaciju različitih scenarija rada, čime se postiže optimalna konfiguracija sistema u zavisnosti od trenutnih tržišnih uslova i regulatornih okvira. Digitalizacija također igra presudnu ulogu u ekonomskoj isplativosti ovih sistema, jer omogućava preciznije modeliranje investicija i smanjenje operativnih troškova kroz automatizaciju i daljinsku kontrolu (Esen i ostali, 2008). Uvođenje digitalnih tehnologija u hibridne energetske sisteme nije

samo tehničko poboljšanje, već i ključni faktor u ostvarivanju ciljeva zelene ekonomije i energetske tranzicije. Sa sve većim zahtjevima za efikasnijim korištenjem energije i smanjenjem ekološkog otiska, digitalizacija postaje neizostavan element u razvoju održivih energetskih rješenja. Pametna optimizacija resursa kroz digitalne platforme, zajedno s integracijom obnovljivih izvora, čini hibridne energetske sisteme temeljem energetski efikasne i ekološki prihvatljive budućnosti (Mohanraj i ostali, 2009). Glavne prednosti hibridnih energetskih sistema baziranih na OIE su smanjenje emisija stakleničkih gasova, povećana energetska nezavisnost i optimizacija korištenja obnovljivih izvora kroz integraciju različitih tehnologija. Njihovi nedostaci uključuju visoke početne investicije, kompleksnost upravljanja i zavisnost od vremenskih uslova, što može zahtijevati dodatne sisteme za skladištenje energije ili rezervne izvore.

Hibridni energetski sistemi igraju ključnu ulogu u razvoju PED jer omogućuju optimizaciju korištenja obnovljivih izvora energije, fleksibilnost energetskog sistema i povećanje energetske efikasnosti. Ovi sistemi kombinuju različite tehnologije poput foto-naponskih panela, vjetroturbina, baterijskih sistema za pohranu i pametnih mreža, kako bi se osigurala stabilna i održiva opskrba energijom. Efikasna integracija hibridnih energetskih sistema u PED zahtijeva napredne metode upravljanja i optimizacije, uključujući umjetnu inteligenciju i digitalne alate, kako bi se maksimizirala energetska nezavisnost i ekonomska isplativost.

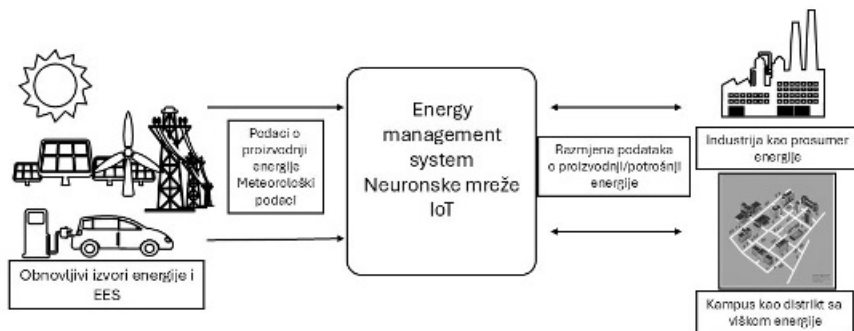
### Hibridni energetski sistem na Mašinskom fakultetu

Na Mašinskom fakultetu instaliran je hibridni energetski sistem koji pokriva potrebe zgrade za toplotnom, odnosno rashladnom energijom, kao i dijelom potrebe za električnom energijom. Sistem se sastoji od toplotne pumpe koja kao niskoentalpijski izvor koristi podzemnu vodu koja tokom čitave godine ima približno konstantnu temperaturu oko 14 °C, te solarnu elektranu s dva tipa panela i grid-tie inverterom ukupne snage 19,5 kWp. U planu je dodatno proširenje kapaciteta solarnim termalnim kolektorima s dodatnim spremnikom topline zapremine 1 m<sup>3</sup> pored postojećeg (Hadžiahmetović i ostali, 2023). Na ovaj način cijela zgrada, zapravo, služi kao poligon za edukaciju i istraživanje, jer se prikupljeni podaci s ultrazvučnog kalorimetra, SCADA sistema TP, aplikacije za proizvodnju električne energije iz FNE i meteorološke stanice prikupljaju u Laboratoriju za OIE na Fakultetu, gdje se vrši njihova dalja analiza i interpretacija. Slika 1 prikazuje shematski prikaz hibridnog sistema na Mašinskom fakultetu baziranog na OIE.



Slika 1 - Hibridni energetski sistem na Mašinskom fakultetu

Korištenjem digitalnih tehnologija i senzora instaliranih na Mašinskom fakultetu otvara se mogućnost naprednog upravljanja hibridnim energetske sistemom u cilju povećanja energetske efikasnosti i ostvarivanja standarda pozitivnih energetskih distrikata (PEDs) na nivou Univerzitetskog kampusa. Svi ključni podaci, uključujući protoke energije, temperature, proizvodnju iz fotonaponskih panela i meteorološke parametre, prikupljaju se u realnom vremenu i objedinjeni su kroz SCADA platformu, kalorimetre i aplikacije za nadzor. Ovi podaci služe kao osnova za implementaciju sistema baziranih na neuronskim mrežama koje mogu učiti iz historijskih i trenutnih podataka kako bi predviđale potrošnju, proizvodnju i optimalne režime rada sistema. Real-time optimizacija omogućava stalno prilagođavanje rada toplotnih pumpi, spremnika topline, solarnih sistema i mrežne interakcije, čime se maksimalno iskorištava dostupna energija iz obnovljivih izvora, smanjuju gubici i troškovi potrošnje električne energije. Upotrebom algoritama mašinskog učenja moguće je primijeniti strategije poput peak shavinga i load shiftinga, gdje se potrošnja energije preusmjerava s perioda vršnog opterećenja na periode kada je cijena energije niža ili kada je dostupnost obnovljivih izvora veća. Na Slici 2 prikazan je tok informacija i energije između distrikta s viškom energije koji predstavlja kampus s mogućim potrošačima kao što su industrija, javne zgrade, stambene zgrade, i dr.



Slika 2 - Model razmjene podataka

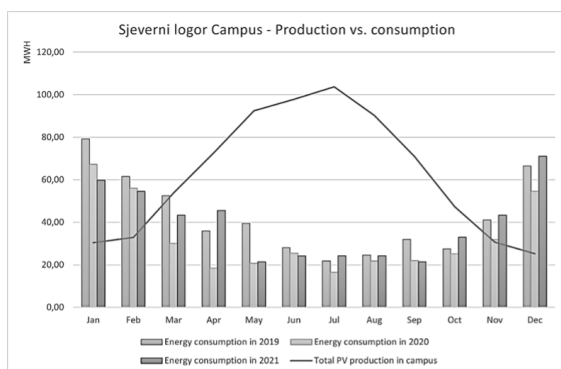
Na taj način sistem ne samo da smanjuje troškove kupovine električne energije s mreže nego i rasterećuje elektroenergetski sistem kampusa. Nadalje, uvođenjem naprednih prediktivnih modela moguće je ranije identificirati potencijalne poremećaje u radu sistema, planirati održavanje i izbjeći skupe havarije. Integracijom hibridnog sistema Mašinskog fakulteta s energetske sistemima drugih fakulteta i zgrada u kampusu, kroz jedinstvenu digitalnu platformu, otvara se prostor za koordinirano upravljanje energijom na nivou cijelog Univerziteta. Time ne povećava samo stepen energetske autonomije kampusa nego se omogućava i dinamičko balansiranje opterećenja između različitih objekata, uz maksimalno korištenje lokalno proizvedene energije. U konačnici, ovakav pristup vodi ka održivom razvoju kampusa, smanjenju emisija stakleničkih gasova, smanjenju ukupnih troškova energije i jačanju otpornosti Univerziteta na energetske poremećaje, te omogućuje ostalim dijelovima lokalne zajednice da određeni dio energije preuzmu iz distrikta.

### Univerzitetski kampus kao distrikt s viškom energije (PED)

Politike razvoja univerzitetskih kampusa su uglavnom usmjerene prema razvoju zelenih

kampusa, mnogo češće od energetski efikasnih kampusa. Najveća prednost univerzitetskog kampusa kao potencijalnog distrikta s viškom energije je činjenica da su sve zgrade unutar kampusa pod jedinstvenim upravljačkim tijelom, što administrativno pojednostavljuje energetsko povezivanje zgrada. Kao najčešći vid on-site proizvodnje unutar kampusa može se navesti primjena fotonaponskih panela, koja u slučaju energetskog povezivanja zgrada može biti veoma korisna s obzirom na dostupnost i fleksibilnost potrošača. Daljim povezivanjem mikromreže kampusa s nacionalnom mrežom u svojstvu prosumera može dodatno povećati pozitivan tok energije.

Kao primjer univerzitetskog kampusa koji se razvija u smjeru dostizanja statusa distrikta s viškom energije može se navesti kampus Sjeverni logor Univerziteta "Džemal Bijedić" u Mostaru. Za ovaj kampus urađeno je više analiza dostizanja statusa distrikta s viškom energije (Nezirić i ostali, 2023), te potencijalnog doprinosa razvoja hibridnih energetskih sistema i primjene solarne i geotermalne energije u sistemima grijanja objekata u kampusu (Šunje i ostali, 2020; Špago i ostali, 2020; Špago i ostali, 2022). Analiza mogućnosti implementacije fotonaponskih elektrana na krovovima 17 objekata unutar kampusa je urađena, te je pokazano da korištenjem fotonaponskih elektrana na krovovima univerzitetskih zgrada, kao i stjecanjem statusa prosumera, univerzitetski kampus može imati status distrikta s viškom energije na godišnjem nivou (Slika 3). Višak energije koji se može proizvesti u odnosu na potrebe kampusa za električnom energijom iznosi 39%.



Slika 3 - Godišnji potencijal proizvodnje u odnosu na godišnju potrošnju električne energije (Nezirić i ostali, 2023)

Na osnovu predstavljenog prijedloga instalacija fotonaponskih panela na objektima u kampusu urađena je i ekonomska analiza investicije i roka povrata ovog sistema. Uzevši cijene opreme i električne energije u trenutku kada je izvršena analiza, pokazano je da rok otplate iznosi 14,7 godina. Ovako dug rok otplate investicije je nastao zbog činjenice da je analiza izvršena uzevši u obzir i manje efikasne površine krovova (sjena, sjeverna strana krova). Kao potencijalni način smanjenja roka otplate prepoznati su:

- Optimizacija površina za instalaciju fotonaponskih elektrana;
- Primjena hibridnih energetskih sistema, pogotovo za grijanje i hlađenje (preferabilno toplotne pumpe);
- Smanjenje gubitaka toplotne energije povećanjem energetske efikasnosti objekata.

U svakom slučaju, pokazano je da Univerzitetski kampus može ostvariti uslove za primjenu koncepta distrikta s viškom energije.



## Zaključak

Na osnovu provedenih analiza može se zaključiti da hibridni energetske sistemi zasnovani na obnovljivim izvorima energije, uz podršku digitalnih tehnologija, predstavljaju realnu osnovu za razvoj distrikata s viškom energije. Primjena fotonaponskih sistema, toplotnih pumpi, skladišta energije te digitalnih alata kao što su SCADA sistemi, senzorske mreže i algoritmi mašinskog učenja omogućava optimizaciju proizvodnje i potrošnje energije, smanjenje gubitaka, te povećanje energetske samostalnosti objekata. Studija slučaja na Mašinskom fakultetu Univerziteta “Džemal Bijedić” u Mostaru pokazuje da univerzitetski kampusi, zahvaljujući jedinstvenom upravljačkom sistemu i prostornoj organizaciji, imaju značajan potencijal za implementaciju koncepta PED. Dodatno, kroz povezivanje više objekata i njihovu integraciju u zajedničku digitalnu platformu, moguće je koordinisano upravljati energijom na nivou kampusa, smanjiti emisije stakleničkih gasova i troškove energije, te povećati otpornost na energetske poremećaje. Iako postoje izazovi, posebno u pogledu investicija i efikasnog upravljanja, jasno je da ovakav pristup može značajno doprinijeti ostvarenju ciljeva energetske tranzicije i stvaranju održivih energetskih zajednica.

# DIGITALIZATION AS A CATALYST FOR HYBRID ENERGY SYSTEMS IN POSITIVE ENERGY DISTRICTS

**Summary:** This paper presents the concept of hybrid energy systems based on renewable energy sources as a key element in the development of Positive Energy Districts (PEDs). It examines the role of hybrid systems that combine solar photovoltaic panels, heat pumps, and energy storage, supported by the use of SCADA systems, the Internet of Things (IoT), and machine learning algorithms to improve the efficiency and flexibility of energy networks. Special attention is given to the practical implementation through a case study conducted on the building of the Faculty of Mechanical Engineering at the "Džemal Bijedić" University of Mostar, where a hybrid energy system was installed to enhance the building's energy self-sufficiency and its contribution to creating a Positive Energy District within the university campus. The paper concludes that the digitalization and flexibility offered by hybrid energy systems are essential factors in overcoming the challenges of the energy transition, and that university campuses can serve as models for future sustainable energy communities.

**Keywords:** hybrid energy systems, renewable energy sources, positive energy districts, digitalization

## Literatura

1. Derkenbaeva, E., Halleck Vega, S., Jan Hofstede, G., van Leeuwen, E.: Positive energy districts: Mainstreaming energy transition in urban areas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 153, 111782 (2022).
2. Esen, H., Inalli, M., Şengür, A., Esen, M.: Performance prediction of a ground-coupled heat pump system using artificial neural networks, *Expert Systems with Applications*, 35(4): 1940-1948. (2008). <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.08.081>
3. European Committee of the Regions: Commission for the Environment, Climate Change and Energy, Spatial Foresight, t33, ÖIR, Gløersen, E., Mäder Furtado, M., Gorny, H., Münch, A., Alessandrini, M., & Bettini, C. (2022). *Implementing the European Green Deal : handbook for local and regional governments*, European Committee of the Regions. <https://data.europa.eu/doi/10.2863/359336>
4. Fadnes, F. S., Banihabib, R., Assadi, M.: Using Artificial Neural Networks to Gather Intelligence on a Fully Operational Heat Pump System in an Existing Building Cluster, *Energies*. (2023). <https://doi.org/10.3390/en16093875>
5. Goodier, Chris. "Zero-energy building". *Encyclopedia Britannica*, 25 Jun. 2019, Dostupno online (28.03.2025.): <https://www.britannica.com/technology/zero-energy-building>.
6. JPI Urban Europe / SET Plan Action 3.2 (2020). *White Paper on PED: Reference Framework for Positive Energy Districts and Neighbourhoods*. Dostupno online (28.03.2025.): <https://jpi-urbaneurope.eu/wp-content/uploads/2020/04/White-Paper-PED-Framework-Definition-2020323-final.pdf>.
7. Hadžiahmetović, H., Špago, D., Husika, A., & Šehić, H. (2024, June). Modeling of Hybrid Energy Systems Based on Renewable Energy Sources to Cover the Electricity Needs of a Higher Education Institution Using Homer Pro Software. In *International Conference "New Technologies, Development and Applications"* (pp. 714-721). Cham: Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-66268-3\\_73](https://doi.org/10.1007/978-3-031-66268-3_73)
8. León Gómez, J. C., De León Aldaco, S. E., & Aguayo Alquicira, J. (2023). A review of hybrid renewable energy systems: architectures, battery systems, and optimization techniques. *Eng*, 4(2), 1446-1467. <https://doi.org/10.3390/eng4020084>
9. Lindholm, O., Rehman, F.: Positioning Positive Energy Districts in European Cities. *Buildings* 11(1), 19 (2021). <https://doi.org/10.3390/buildings11010019>.

10. Mohanraj, M., Jayaraj, S., Muraleedharan, C.: Performance prediction of a direct expansion solar-assisted heat pump using artificial neural networks, *Applied Energy*, 86(7-8): 1442-1449. (2009). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.01.001>
11. Rahman, M. M., Shakeri, M., Tiong, S. K., Khatun, F., Amin, N., Pasupuleti, J., & Hasan, M. K. (2021). Prospective methodologies in hybrid renewable energy systems for energy prediction using artificial neural networks. *Sustainability*, 13(4), 2393. <https://doi.org/10.3390/su13042393>
12. SET-Plan Temporary Working Group. "SET-Plan ACTION n 3.2 Implementation Plan: Europe to become a global role model in integrated, innovative solutions for the planning, deployment, and replication of Positive Energy Districts." (2018), dostupno online (28.03.2025.) [https://jpi-urbaneurope.eu/wp-content/uploads/2021/10/setplan\\_smartcities\\_implementationplan-2.pdf](https://jpi-urbaneurope.eu/wp-content/uploads/2021/10/setplan_smartcities_implementationplan-2.pdf).
13. Shnapp, S., Paci, D., Bertoldi, P.: Enabling Positive Energy Districts across Europe: energy efficiency couples renewable energy. JRC Technical report, Publications Office of the European Union, Luxemburg, 2020. <https://dx.doi.org/10.2760/452028>
14. Špago, D., Nožić, M., Isić, S. (2020). Analysis of Groundwater Source Heat Pump Operation with Improvement Suggestions. In: Karabegović, I. (eds) *New Technologies, Development and Application III*. NT 2020. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 128. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-46817-0\\_75](https://doi.org/10.1007/978-3-030-46817-0_75)
15. Špago, D., Lavić, A., Nezirić, E., Šabanović, A. (2022). Powering the Smart Parking System with Photovoltaic Solar Panels at Campus of "Džemal Bijedić" University of Mostar. In: Karabegović, I., Kovačević, A., Mandžuka, S. (eds) *New Technologies, Development and Application V*. NT 2022. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 472. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-05230-9\\_87](https://doi.org/10.1007/978-3-031-05230-9_87)
16. Šunje, E., Pašić, S., Isić, S., Nezirić, E., Džiho, E. (2020). Development of Hybrid System for Air-Conditioning of Almost Zero Energy Buildings. In: Karabegović, I. (eds) *New Technologies, Development and Application III*. NT 2020. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 128. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-46817-0\\_78](https://doi.org/10.1007/978-3-030-46817-0_78)

# **DIGITALNE TEHNOLOGIJE KAO POKRETAČ ZELENE TRANZICIJE: MEĐUNARODNA EKONOMSKA PERSPEKTIVA ODRŽIVOG RAZVOJA**

**dr. sc. Mirnesa Baraković Nurikić**  
Ekonomski fakultet, Univerzitet u Tuzli

**Sažetak:** U kontekstu sve izraženijih globalnih izazova vezanih za klimatske promjene i sve više naglašenu potrebu za održivim razvojem, zelena tranzicija postaje imperativ međunarodne ekonomske politike. Digitalne tehnologije u savremenom dobu predstavljaju ključni alat za postizanje ciljeva održivog razvoja i veoma bitan mehanizam za ubrzanje zelene tranzicije zemalja. Klimatske promjene zahtijevaju hitne mjere, a digitalne tehnologije nude konkretna rješenja za smanjenje emisija i efikasnije korištenje resursa. Kroz primjenu naprednih digitalnih rješenja poput Interneta stvari (IoT), vještačke inteligencije (AI), blockchaina i big data analitike, države širom svijeta nastoje optimizirati korištenje resursa, smanjiti emisije ugljika, transformisati industrijske procese u ekološki prihvatljivije te podstaći cirkularnu ekonomiju. Cilj rada je istražiti kako digitalizacija doprinosi zelenoj tranziciji iz međunarodne ekonomske perspektive, analizirajući strategije, politike i izazove s kojima se suočavaju razvijene i zemlje u razvoju, odnosno ovim radom se nastoji istražiti uloga digitalnih tehnologija kao ključnog pokretača zelene tranzicije s međunarodne ekonomske perspektive. Kroz teorijski okvir, programe i primjere dobre prakse iz razvijenih zemalja, zemalja u razvoju te privatnog sektora, prikazano je kako digitalne inovacije doprinose energetske efikasnosti, optimizaciji resursa i smanjenju emisija štetnih gasova. Poseban akcenat stavljen je na izazove poput digitalnog jaza, energetskog otiska digitalne infrastrukture i održivosti proizvodnje digitalnih uređaja. Proučavanje navedene teme može pomoći pri kreiranju međunarodnih politika koje povezuju tehnološki razvoj s ciljevima održivog razvoja. Osim toga, bolje razumijevanje navedene problematike je važno kako za razvijene zemlje, tako i za zemlje u razvoju jer im omogućava pristup čistim tehnologijama i smanjuje energetske siromaštvo. Zaključuje se da je za uspješnu digitalnu zelenu tranziciju neophodna integrisana politika koja povezuje tehnološki napredak, ekološku održivost i društvenu inkluzivnost. Digitalne tehnologije, ako se pravilno usmjere, imaju potencijal postati jedan od glavnih stubova održive međunarodne ekonomije.

**Ključne riječi:** digitalne tehnologije, zelena tranzicija, održivi razvoj, međunarodna ekonomija, klimatske promjene, energetska efikasnost

## **1. Digitalne tehnologije kao ključni pokretač zelene tranzicije**

U savremenom dobu klimatske promjene, degradacija životne sredine i iscrpljivanje prirodnih resursa postavljaju nove izazove pred sve aktere globalne ekonomije. U tom kontekstu, zelena tranzicija (prelazak s fosilnih goriva na održive izvore energije, razvoj cirkularne ekonomije i implementacija ekološki prihvatljivih tehnologija) postaje imperativ za budućnost planete. Istovremeno, digitalne tehnologije ubrzano transformišu i oblikuju sve segmente društvenog i ekonomskog života, određuju način na koji posluju zemlje, šta i kako proizvode, na koji način distribuiraju resurse, nudeći na taj način nove mogućnosti za optimizaciju procesa, smanjenje emisija ugljika i efikasnije korištenje resursa. Prema izvještaju UNCTAD-a (2021), digitalne tehnologije mogu djelovati kao multiplikator za postizanje ciljeva održivog razvoja, posebno u pogledu

energetske efikasnosti, odgovorne potrošnje i proizvodnje, kao i borbe protiv klimatskih promjena. Digitalna transformacija i zelena tranzicija sve se češće posmatraju kao međusobno zavisni i sinergijski povezani procesi. Upotreba Interneta stvari, vještačke inteligencije, blockchain tehnologije i big data analitike omogućava prikupljanje, obradu i analizu ogromnih količina podataka u realnom vremenu, što doprinosi pametnijem upravljanju resursima i održivijem donošenju odluka. Ovi alati omogućavaju preduzećima, vladama i međunarodnim organizacijama da dizajniraju efikasnije energetske sisteme, unaprijede poljoprivredu, optimizuju transport i industrijsku proizvodnju te razviju održive gradove i države. Međunarodna ekonomska dimenzija ovih promjena je izuzetno značajna. Digitalne tehnologije omogućavaju zemljama u razvoju da preskoče određene faze industrijskog razvoja i direktno usvoje održive i inovativne modele privrednog rasta. Međutim, postoje i ozbiljni izazovi poput digitalnog jaza između razvijenih i nerazvijenih zemalja, potrebe za ulaganjem u digitalnu infrastrukturu, kao i pitanja sajber sigurnosti i privatnosti podataka. Također, postavlja se pitanje kako uskladiti zelene politike s ekonomskim interesima i kako osigurati da zelena tranzicija bude inkluzivna i pravedna za sve slojeve društva. Razmatranjem strategija koje integrišu digitalne inovacije i ekološke ciljeve, otvaraju se novi putevi ka izgradnji otpornije, pravednije i održivije globalne ekonomije.

## 2. Pregled relevantnih prethodnih istraživanja

Istraživanje UNCTAD-a (UNCTAD, 2021) detaljno analizira kako digitalne tehnologije (AI, IoT, blockchain) mogu ubrzati postizanje ciljeva održivog razvoja (Sustainable Development Goals - SDGs). Posebno naglašava potrebu za pravednim pristupom tehnologijama i razvoju digitalne infrastrukture u zemljama u razvoju. Ključni doprinos je u tome što predstavlja teorijski okvir za "zeleni digitalni skok" (green digital leap) u zemljama s ograničenim resursima.

Međunarodna agencija za energiju (IEA, 2023) analizira kako digitalizacija utječe na energetske efikasnost, pametne mreže i integraciju obnovljivih izvora. Pruža uvid u mnogobrojne grafikone i statistike, pri čemu kvantifikuje koristi digitalnih tehnologija u energetske sektoru, dajući konkretne procjene smanjenja emisije CO<sub>2</sub>. Njihova istraživanja pokazuju da digitalne mreže i AI mogu povećati efikasnost i smanjiti emisije za više od 10% u nekim sektorima.

Evropska komisija, koja predstavlja politički i regulatorni okvir za zemlje EU, u svojoj studiji ocjenjuje digitalne mjere integrisane u Zeleni plan EU (European Commission, 2021). Poseban fokus se stavlja na sigurnost podataka, pametne mreže, data-driven modeliranje potrošnje energije i sinergiju digitalnih i ekoloških inovacija. Osnovni doprinos je što prikazuje kako se digitalna strategija integrira u Zeleni plan EU.

Istraživanje Svjetske banke (World Bank, 2018) donosi studije slučaja o primjeni blockchain tehnologije u energetici u različitim dijelovima svijeta. Koriste se konkretni primjeri iz Australije, Kenije i Indije kako bi se pokazalo kako blockchain može transformisati lokalno tržište obnovljivih izvora energije i doprinositi decentralizaciji energetskih sistema, te postizati veću transparentnost u emisijama. Svjetski ekonomski forum (World Economic Forum, 2018) prikazuje kako tehnologije Četvrtе industrijske revolucije mogu podržati ekološke ciljeve. Pokazuje više od 80 konkretnih primjera gdje su AI, IoT i big data korišteni za zaštitu životne sredine. Ističu se rješenja za pametne gradove, preciznu poljoprivredu i digitalnu transparentnost u industrijskim procesima. Glavni doprinos istraživanja je što predstavlja jedan od prvih globalnih izvještaja

koji povezuje digitalnu revoluciju s održivim razvojem.

OECD istražuje digitalizaciju u kontekstu ekonomskog rasta i održivosti (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2019). Iako nije direktno fokusiran na zelenu tranziciju, uključuje analize relevantne za povezivanje digitalne ekonomije i ekoloških ciljeva, poput dijelova o digitalizaciji industrije, infrastrukture i okolišnih standarda. Glavni doprinos je što identifikuje političke smjernice za uravnotežen razvoj digitalne i ekološke ekonomije.

Evropska banka za obnovu i razvoj (EBRD), u partnerstvu s Evropskom unijom (EU), pokrenula je program "Go Digital" vrijedan 377 miliona eura s ciljem da ubrza digitalnu transformaciju i zelenu tranziciju malih i srednjih preduzeća u regionu Zapadnog Balkana. Cilj je da se mala i srednja preduzeća osnaže kako bi bila otpornija na tržišne izazove, spremnija za izvoz i brže prilagodljiva zelenim i digitalnim standardima koje zahtijevaju tržišta Evropske unije. Na širem planu, program "Go Digital" ima za cilj da doprinese jačanju ekonomskog rasta, otvaranju novih radnih mjesta i unapređenju održive proizvodnje u regionu čineći Zapadni Balkan atraktivnijim za domaće i strane investitore. Konkretni rezultati pilot faze u BiH (ostvareni do 2024. godine) su: 61,5 milion eura dostupno za podršku, skoro 200 preduzeća već koristi sredstva i tehničku podršku, dominantni sektori korisnika: IT sektor, proizvodnja, poljoprivreda, turizam i uslužne djelatnosti ubrzano usvajanje zelene energije i digitalnih rješenja.

Program Digitalna Evropa predstavlja ključni program Evropske unije uspostavljen za period 2021–2027. godine s ukupnim budžetom od 7,5 milijardi eura. Cilj programa je da ubrza digitalnu transformaciju evropske ekonomije, društva i javne uprave, kako bi Evropa postala globalni lider u digitalnim tehnologijama a njeni građani i privreda imali koristi od najsavremenijih rješenja. Program se fokusira na praktičnu primjenu i široku upotrebu digitalnih tehnologija širom EU. Iako BiH nije punopravna članica EU, kroz razne sporazume i projekte može učestvovati u određenim segmentima programa, sarađivati s Digital Innovation Hubovima i koristiti iskustva iz Digitalne Evrope za unapređenje svojih nacionalnih politika digitalizacije (e-uprava, obrazovanje, ekonomija). Za zemlje poput BiH, koje teže jačanju svoje digitalne ekonomije, praćenje ovog programa i uključivanje u njegove tokove predstavlja veliku razvojnu šansu.

Zelena agenda za Zapadni Balkan je politički i razvojni okvir koji je usvojila Evropska komisija a koju je potpisalo 6 lidera ekonomija Zapadnog Balkana u novembru 2020. godine kao dio šireg ekonomsko-investicionog plana za region. Njena svrha je da pomogne zemljama potpisnicama da usmjere svoje ekonomije ka održivosti, ubrzaju tranziciju ka klimatski neutralnom društvu, približe se evropskom Zelenom dogovoru i pripreme se za članstvo u EU. Zelena agenda za Zapadni Balkan fokusira se na pet ključnih oblasti: dekarbonizaciju i tranziciju ka čistoj energiji, cirkularnu ekonomiju, održivu mobilnost, zaštitu biodiverziteta i borbu protiv klimatskih promjena. Za BiH Zelena agenda znači: obavezu postepene eliminacije termoelektrana na uglj i prelaska na obnovljive izvore energije, priliku za modernizaciju industrije i privlačenje investicija u zelene tehnologije, potrebu za usklađivanjem zakonodavstva s evropskim standardima u zaštiti životne sredine, energiji i klimatskoj politici, pristup velikim fondovima za finansiranje projekata energetske tranzicije, otpornosti na klimatske promjene i razvoja cirkularne ekonomije. Međutim, postoje i izazovi u implementaciji ovih programa poput: nedovoljne političke koordinacije na državnom nivou, ovisnosti o uglju i starim energetskim sistemima, nedostatku tehničkih kapaciteta za pripremu projekata, kao i slaboj svijesti o važnosti klimatskih promjena kod šire javnosti.

Novi horizonti (Horizon Europe) je najveći program Evropske unije za finansiranje

istraživanja i inovacija aktivan u periodu 2021–2027. godine s ukupnim budžetom od oko 95,5 milijardi eura. Njegov glavni cilj je ojačati evropsku naučnu i tehnološku bazu, podstaknuti inovacije i riješiti glavni društvene izazove u savremenom dobu. Učešće u programu ima mnoge pozitivne strane za zemlje kao što je povećanje naučnog kapaciteta države, internacionalizacija istraživanja, tehnološka modernizacija i saradnja s vrhunskim evropskim institucijama. Horizon Europe je u velikoj mjeri usmjeren na zelenu tranziciju, digitalnu transformaciju i otpornost društava na krize poput pandemija, ekonomskih i klimatskih šokova. Naprimjer, pandemija je pokazala zemljama kako se moć, sveprisutnost i utjecaj novih tehnologija mogu iskoristiti ne samo za upravljanje trenutnom krizom već i za oporavak i obnovu (World Economic Forum, 2021). BiH ima status pridružene zemlje u Horizon Europe programu, što znači da institucije, univerziteti, istraživački centri i firme iz BiH mogu ravnopravno učestvovati kao partneri u projektima. BiH ima pristup gotovo svim komponentama programa i omogućena je direktna konkurencija za sredstva sa partnerima iz zemalja EU i drugih pridruženih zemalja (Norveška, Island, Srbija, Turska, itd.).

### **3. Teorijski okvir: Digitalne tehnologije u funkciji zelene tranzicije**

#### **3.1. Definicija i važnost zelene tranzicije**

Zelena tranzicija označava proces fundamentalne promjene u načinu na koji se proizvode i koriste energija, sirovine i proizvodi, s ciljem očuvanja prirodnih resursa i smanjenja negativnih utjecaja na životnu sredinu. Ključne komponente ove tranzicije uključuju povećanje upotrebe obnovljivih izvora energije, razvoj cirkularne ekonomije, poboljšanje energetske efikasnosti i promovisanje održivih obrazaca potrošnje. Ovaj koncept postaje sve značajniji u svjetlu globalnih izazova kao što su klimatske promjene, gubitak biodiverziteta i zagađenje. Prema Pariškom sporazumu i ciljevima održivog razvoja Ujedinjenih nacija, države su se obavezale da ograniče globalno zagrijavanje i da rade na održivom razvoju. Zelena tranzicija se, stoga, sve više prepoznaje ne samo kao ekološki, već i kao ekonomski prioritet. Usmjeravanje ka zelenoj ekonomiji može doprinijeti otvaranju novih radnih mjesta, povećanju konkurentnosti i smanjenju energetskog siromaštva. Međutim, tranzicija mora biti pažljivo upravljana kako bi se izbjeglo produbljivanje socioekonomskih nejednakosti, posebno u zemljama sa slabijim kapacitetima za prilagodbu.

#### **3.2. Digitalne tehnologije kao pokretač promjena**

Digitalne tehnologije, obuhvatajući Internet stvari (IoT), vještačku inteligenciju (AI), blockchain, robotiku, 5G mreže i big data analitiku, pružaju snažne alate za podršku zelenoj tranziciji. Ove tehnologije omogućavaju praćenje i optimizaciju potrošnje energije i resursa, povećanje efikasnosti u sektorima poput poljoprivrede, industrije i saobraćaja, razvoj pametnih mreža za distribuciju energije iz obnovljivih izvora, promociju cirkularne ekonomije. IoT je temelj pametne infrastrukture. U energetskom sektoru IoT uređaji omogućavaju precizno mjerenje i upravljanje potrošnjom energije. U poljoprivredi se koriste za optimizaciju navodnjavanja i upotrebe đubriva, dok u industriji pomažu u praćenju emisija i održavanju efikasnosti proizvodnih procesa. U gradovima, IoT senzori omogućavaju upravljanje saobraćajem, rasvjetom i odvozom otpada, što rezultira značajnim smanjenjem ugljičnog otiska urbanih sredina (OECD, 2020). Studija slučaja: pametni grad Amsterdam koji je implementirao opsežan IoT sistem za upravljanje energijom, javnim prevozom i otpadom. Ova tehnologija je smanjila potrošnju energije za 15% u periodu 2015–2020. (Amsterdam Smart City Report, 2021).



AI i analitika podataka pomažu u predviđanju klimatskih promjena, modeliranju rizika i optimizaciji poslovnih strategija. Kroz učenje na podacima, AI sistemi mogu efikasno upravljati obnovljivim izvorima energije kao što su solarni i vjetroparkovi. U finansijama se AI koristi za procjenu ESG (Environmental, Social and Governance) rizika i identifikaciju održivih investicija. Time digitalne tehnologije postaju alat za promovisanje zelenih finansija (European Commission, 2022). Studija slučaja: DeepMind i Google Data Centers - Kompanija DeepMind je pomoću AI algoritama uspjela smanjiti potrošnju energije za hlađenje Googleovih data centara za 40% (Google Sustainability Report, 2022). Blockchain tehnologija nudi transparentnost i sigurnost podataka u procesima trgovine emisijama, upravljanja otpadom i lanca snabdijevanja. Projekti poput Energy Web Chain omogućavaju decentralizovano trgovanje energijom iz obnovljivih izvora, što demokratizuje tržište energije i podržava lokalne zajednice (World Bank, 2021). Studija slučaja: Power Ledger (Australija) koji koristi blockchain za omogućavanje lokalne trgovine solarnom energijom između domaćinstava. Sistem omogućava korisnicima da prodaju višak energije susjedima.

3.3. Međusobna povezanost zelene tranzicije i digitalne transformacije

Zelena tranzicija i digitalna transformacija sve više postaju isprepletene. Digitalne inovacije olakšavaju postizanje ciljeva održivog razvoja, dok istovremeno zelene politike podstiču razvoj i primjenu novih digitalnih rješenja. Digitalizacija smanjuje fizičku potrebu za transportom robe kroz razvoj digitalne proizvodnje (3D printanje), virtualne usluge i optimizovane lance snabdijevanja. Time se smanjuje ekološki otisak međunarodne trgovine, što je od posebnog značaja u kontekstu klimatskih ciljeva Svjetske trgovinske organizacije (WTO, 2021). Međutim, digitalizacija nosi i određene izazove poput rastuće energetske potrošnje podatkovnih centara i povećane potražnje za rijetkim mineralima potrebnim za proizvodnju elektronskih uređaja. Stoga je neophodno razvijati i primjenjivati zelene digitalne tehnologije koje minimiziraju ekološki otisak. Integrirana strategija koja spaja digitalne inovacije i ekološke ciljeve nudi realnu mogućnost za ubrzanje zelene tranzicije na globalnom nivou. Takav pristup zahtijeva koordinaciju politika, ulaganja u istraživanje i razvoj, kao i međunarodnu saradnju.

4. Međunarodna ekonomska perspektiva upotrebe digitalnih tehnologija

4.1. Strategija razvijenih zemalja

Evropska unija prednjači u povezivanju digitalne i zelene tranzicije kroz strategije poput “Digitalna dekada” i “Evropski zeleni plan”. U sklopu mehanizma “Fit for 55”, EU planira smanjenje emisija za 55% do 2030. godine, pri čemu se oslanja na digitalna rješenja za nadzor i implementaciju politika (European Commission, 2020; United Nations, 2015). SAD je kroz zakon o infrastrukturi predviđela ulaganja u pametne mreže, digitalizaciju transporta i razvoj AI sistema za upravljanje klimatskim rizicima. Japan i Južna Koreja implementiraju “Green Growth” strategije uz oslanjanje na 5G mreže i pametne industrije.

| Zemlja/<br>Region | Tehnologija                     | Ušteda CO2<br>(miliona tona/god) | Ušteda<br>energije (%) | Izvor                         |
|-------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| Njemačka          | IoT u industriji                | 8,5                              | 12%                    | BMWK (2021)                   |
| Kina              | AI za optimizaciju elektrana    | 30,2                             | 20%                    | IEA (2022)                    |
| EU (prosjeck)     | Pametne mreže (smart grids)     | 25,0                             | 17%                    | European Commission<br>(2021) |
| SAD               | Blockchain u trgovini energijom | 4,3                              | 10%                    | NREL (2021)                   |

Tabela 1 - Emisije i uštede kroz digitalne tehnologije



## 4.2. Položaj zemalja u razvoju

Uprkos ograničenom pristupu tehnologijama, neke zemlje u razvoju ostvaruju značajan napredak. Primjeri su Ruanda (digitalna poljoprivreda) i Indija (pametne mreže i digitalna distribucija energije). Međutim, mnoge zemlje se suočavaju s izazovima finansiranja i kapaciteta za usvajanje naprednih tehnologija. Analize naglašavaju kako bi regije s nižim BDP-om po glavi stanovnika, kao i one s većim resursima fosilnih goriva, trebale ulagati više od drugih regija u odnosu na BDP kako bi smanjile emisije, izgradile ekonomiju s niskim emisijama i podržale održiv ekonomski razvoj (McKinsey & Company, 2022). Međunarodna finansijska pomoć kroz instrumente poput Zelene klimatske fondacije (GCF) i Globalnog fonda za okoliš (GEF) ostaje ključna za omogućavanje jednakog pristupa digitalno-zelene tranzicije (UNFCCC, 2022).

## 4.3. Međunarodni primjeri i poređenje (EU, Kina, Estonija, Norveška, Kenija, privatni sektor)

Evropska unija (EU) je među globalnim liderima u povezivanju digitalne transformacije i zelene tranzicije. Inicijativa “Evropski zeleni plan” jasno ističe ulogu digitalnih tehnologija u ostvarivanju cilja klimatske neutralnosti do 2050. godine. EU kroz Zeleni plan aktivno integriše digitalne alate u energetiku s ciljem smanjenja emisija za 55% do 2030. godine. U okviru Digitalnog kompasa 2030, EU planira masovno uvođenje pametnih mreža za distribuciju energije, razvoj pametnih gradova s naprednim sistemima za upravljanje otpadom, saobraćajem i energijom, korištenje satelitskih sistema (kao što je Copernicus) za praćenje klimatskih promjena i planiranje mjera zaštite okoliša. Pored toga, EU ulaže značajna sredstva u istraživanje zelene i digitalne tehnologije kroz programe poput Horizon Evropa. Ovi programi finansiraju istraživanja i razvoj digitalno-zelenih tehnologija.

Kina je vodeći svjetski proizvođač obnovljivih izvora energije, a istovremeno intenzivno koristi digitalne tehnologije za optimizaciju energetske sistema. U okviru projekta “Internet plus pametna energija” Kina razvija pametne elektroenergetske mreže koje integrišu solarnu, vjetro i hidroenergiju, platforme bazirane na vještačkoj inteligenciji za predikciju potrošnje i automatsko balansiranje opterećenja, sisteme za daljinsko upravljanje i optimizaciju industrijskih procesa radi smanjenja emisije ugljika. Digitalna rješenja omogućila su Kini da smanji energetske gubitke, unaprijedi pouzdanost sistema i poveća upotrebu obnovljivih izvora energije u ukupnom energetsom miksu. Kina ulaže milijarde u AI i digitalne mreže koje povezuju obnovljive izvore s potrošačima. Smart-grid tehnologije omogućile su integraciju 26% solarne energije u energetske mikse do 2024. godine (IEA, 2024).

Estonija, poznata po visokom nivou digitalizacije javnih usluga, koristi digitalnu infrastrukturu i za zelene inicijative. Primjeri uključuju digitalne platforme za optimizaciju saobraćaja koje smanjuju emisije iz vozila, E-upravu koja minimizira potrebu za papirom i fizičkim dolascima građana, blockchain tehnologiju za praćenje emisija ugljika u realnom vremenu. Kombinacija digitalne efikasnosti i održivih politika omogućila je Estoniji da postane model male države koja uspješno integriše zelenu i digitalnu tranziciju. Norveška, s druge strane, koristi digitalizaciju za upravljanje električnim vozilima, pametnim punjačima i pratećom infrastrukturom. Kao rezultat, zemlja ima preko 80% električnih vozila među novim registracijama. U Keniji, s druge strane, blockchain i mobilne aplikacije se koriste za upravljanje solarnim mikromrežama u ruralnim područjima, što omogućava pristup električnoj energiji i ekonomsko osnaživanje lokalnih zajednica.

Velike međunarodne kompanije poput Googlea, Amazona i Microsofta, također ulažu ogromna sredstva u zelenu digitalnu transformaciju. Neki od ključnih projekata uključuju data centre koji koriste isključivo obnovljive izvore energije, razvoj AI algoritama za optimizaciju energetske efikasnosti zgrada i servera, primjenu blockchaina za praćenje lanaca snabdijevanja i smanjenje emisija. Primjeri iz privatnog sektora pokazuju da su digitalne inovacije ne samo ekološki potrebne već i ekonomski isplative jer doprinose smanjenju troškova i jačanju korporativne odgovornosti.

## 5. Izazovi i rizici

Neki od osnovnih izazova i rizika u primjeni digitalnih tehnologija su: digitalni jaz i globalne nejednakosti, energetska opterećenja digitalnih tehnologija, održivost proizvodnje digitalnih uređaja, sigurnost podataka i privatnost te potreba za integrisanim politikama. Iako digitalne tehnologije nude ogromne mogućnosti za podršku zelenoj tranziciji, pristup tim tehnologijama nije jednak širom svijeta. Nejednak pristup internetu i digitalnim vještinama između razvijenih i nerazvijenih regija može produbiti ekonomske razlike. Mnoge zemlje u razvoju, posebno u Africi i južnoj Aziji, suočavaju se s nedostatkom digitalne infrastrukture, visokim troškovima pristupa internetu i digitalnim uređajima te nedovoljno razvijenim kapacitetima za obrazovanje i inovacije. Ovaj digitalni jaz prijeti da produbi globalne ekonomske i društvene nejednakosti. Bez adekvatne podrške i transfera tehnologije postoji rizik da će samo razvijene zemlje ostvariti punu korist od digitalne zelene tranzicije, dok će ostale zaostajati. Paradoks digitalne transformacije jeste da, iako doprinosi smanjenju emisija u nekim sektorima, sama digitalna infrastruktura troši značajne količine energije. Primjeri uključuju ogromnu potrošnju energije u data centrima, energetska zahtjevnju proizvodnju elektronskih uređaja, kao i rastuću potrebu za hlađenjem servera i opreme. Prema nekim procjenama, globalna potrošnja energije data centara mogla bi se utrostručiti do 2030. godine ako se ne primijene održive prakse. Stoga je neophodno razvijati zelene IT tehnologije i ulagati u energetska efikasna digitalna infrastrukturu. Digitalna tranzicija zavisi od resursa poput rijetkih metala (litijuma, kobalta, nikla) koji se eksploatišu u rudnicima širom svijeta, često uz značajne ekološke i društvene posljedice. Neki od izazova uključuju degradaciju tla i zagađenje voda, kršenje prava lokalnih zajednica i radnika te ograničenu dostupnost nekih sirovina. Zbog toga je ključno razvijati strategije za reciklažu elektronskog otpada, eko-dizajn uređaja i alternativne materijale koji bi smanjili ekološka opterećenja digitalne industrije. Osim toga, prekomjerna automatizacija može dovesti do gubitka radnih mjesta u tradicionalnim sektorima. Korištenje velikih količina podataka otvara pitanja privatnosti i nadzora. U uslovima digitalno povezane zelene tranzicije, eventualni napadi na energetske sisteme ili manipulacije podacima mogu imati ozbiljne posljedice, ne samo za pojedine organizacije već i za čitave ekonomske sektore. Širenje digitalnih tehnologija donosi i nova pitanja u vezi sa sigurnošću podataka o potrošnji energije i održivosti, privatnošću ličnih i industrijskih informacija i kibernetičkom bezbjednošću kritične infrastrukture (npr. pametnih mreža).

Efikasna digitalna zelena tranzicija zahtijeva usklađene politike koje simultano adresiraju pitanja digitalizacije, energetske održivosti, društvene pravde i ekonomskog razvoja. Fragmentirani pristupi mogu dovesti do neefikasne upotrebe resursa, produženja postojećih nejednakosti i slabe otpornosti na buduće krize. Zbog toga je od ključne važnosti da nacionalne i međunarodne politike budu integrisane, koordinirane i

zasnovane na principima održivosti i inkluzivnosti. Digitalne tehnologije imaju potencijal da postanu motor zelene tranzicije, posebno ako se njihova primjena usmjeri ka globalnim ciljevima održivog razvoja. Međunarodna saradnja, uključivanje svih aktera i fokus na jednakost pristupa ostaju presudni za ostvarenje tog cilja. Potrebno je usklađeno djelovanje politika, tehnologije i ekonomskih instrumenata kako bi se izgradila inkluzivna, zelena i digitalna budućnost. Digitalna rješenja, poput vještačke inteligencije i IoT-a, mogu transformisati industrijske procese u ekološki prihvatljivije. Neke od najznačajnijih preporuka za sve zemlje su: unaprijediti digitalnu infrastrukturu, posebno u ruralnim i nerazvijenim regijama, ulagati u digitalno obrazovanje i reskilling za zelene poslove, poticati partnerstva između javnog i privatnog sektora u razvoju i implementaciji zelenih tehnologija, jačati međunarodne mehanizme finansiranja zelene digitalne tranzicije, uspostaviti regulatorni okvir koji štiti prava korisnika i podstiče inovacije. Digitalne tehnologije imaju ključnu ulogu u transformaciji globalne ekonomije ka održivom i ekološki odgovornom razvoju (ITU, 2024). Međunarodne inicijative i politike moraju osigurati da se tehnološki napredak koristi inkluzivno i odgovorno uz obezbjeđenje podrške zemljama u razvoju u pristupu digitalnoj infrastrukturi.

## 6. Zaključak

Obrađena tema izuzetno je važna jer povezuje dvije ključne sile savremenog razvoja - digitalizaciju i održivost. Klimatske promjene zahtijevaju hitne mjere, a digitalne tehnologije nude konkretna rješenja za smanjenje emisija i efikasnije korištenje resursa. Digitalne tehnologije predstavljaju snažan pokretač zelene tranzicije nudeći inovativna rješenja za unapređenje energetske efikasnosti, smanjenje emisija štetnih gasova i optimizaciju upotrebe resursa. Primjeri dobre prakse pokazuju da integracija digitalnih inovacija i ekoloških ciljeva može donijeti konkretne rezultate u borbi protiv klimatskih promjena. Međutim, digitalna zelena tranzicija nije bez izazova. Digitalni jaz između razvijenih i zemalja u razvoju, rastući energetska opterećenja digitalne infrastrukture, ekološki i društveni troškovi proizvodnje digitalnih uređaja, kao i pitanja sigurnosti i privatnosti, ukazuju na potrebu za pažljivim i sveobuhvatnim pristupom. Za uspješan proces transformacije potrebno je ulagati u zelene digitalne tehnologije i energetska efikasnost IT sektora, promovisati pravednu tranziciju koja uključuje sve zemlje i sve slojeve društva, razvijati strategije za održivo upravljanje resursima i elektronskim otpadom, jačati međunarodnu saradnju u razmjeni tehnologija, znanja i finansijskih sredstava, osigurati zaštitu podataka i sigurnost kritične infrastrukture u digitalno povezanom svijetu. Tema je značajna za kreiranje međunarodnih politika koje povezuju tehnološki razvoj s ciljevima održivog razvoja. Važna je i za zemlje u razvoju jer omogućava pristup čistim tehnologijama i smanjuje energetska opterećenja. Također, otvara nova radna mjesta i potiče inovacije u zelenim sektorima. Na kraju, ova tema oblikuje budućnost globalne ekonomije u pravcu otpornosti, pravednosti i dugoročne održivosti. Samo integrisanim, inkluzivnim i održivim pristupom moguće je u potpunosti iskoristiti potencijal digitalnih tehnologija kao pokretača zelene tranzicije i ostvariti ciljeve održivog razvoja u međunarodnoj ekonomiji. Neke od preporuka za buduća istraživanja vezano za temu digitalnih tehnologija i zelene tranzicije su komparativna analiza utjecaja digitalnih tehnologija u različitim sektorima ili procjena eventualnih troškova i koristi digitalno-zelenih investicija.

## **DIGITAL TECHNOLOGIES AS A DRIVER OF GREEN TRANSITION: AN INTERNATIONAL ECONOMIC PERSPECTIVE ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT**

**Summary:** In the context of increasingly pronounced global challenges related to climate change and the increasingly emphasized need for sustainable development, the green transition is becoming an imperative of international economic policy. Digital technologies in the modern age represent a key tool for achieving the goals of sustainable development and a very important mechanism for accelerating the green transition of countries. Climate change requires urgent measures, and digital technologies offer concrete solutions for reducing emissions and using resources more efficiently. Through the application of advanced digital solutions such as the Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI), blockchain and big data analytics, countries around the world strive to optimize the use of resources, reduce carbon emissions, transform industrial processes into more environmentally friendly ones and encourage a circular economy. The aim of the work is to investigate how digitization contributes to the green transition from an international economic perspective, analyzing strategies, policies and challenges faced by developed and developing countries, i.e. this work seeks to investigate the role of digital technologies as a key driver of the green transition from an international economic perspective. Through the theoretical framework, programs and examples of good practice from developed countries, developing countries and the private sector, it is shown how digital innovations contribute to energy efficiency, optimization of resources and reduction of harmful gas emissions. A special emphasis is placed on challenges such as the digital divide, the energy footprint of digital infrastructure and the sustainability of the production of digital devices. Studying the mentioned topic can help in the creation of international policies that connect technological development with the goals of sustainable development. In addition, a better understanding of the aforementioned issue is important for both developed and developing countries, as it enables them to access clean technologies and reduces energy poverty. It is concluded that for a successful digital green transition, an integrated policy that connects technological progress, ecological sustainability and social inclusiveness is necessary. Digital technologies, if properly channeled, have the potential to become one of the main pillars of a sustainable international economy.

**Keywords:** digital technologies, green transition, sustainable development, international economy, climate change, energy efficiency

### **Literatura**

1. Amsterdam Smart City (2021), 2021 Impact Report <https://amsterdamsmartcity.com/updates/news/metabolic-2021-impact-report> (02.05.2025.)
2. BMWK (2021), Industrie 4.0 <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Dossier/industrie-40.html> (03.05.2025.)
3. European Commission (2020), A European Green Deal - Striving to be the first climate-neutral continent <https://ec.europa.eu/newsroom/know4pol/items/664852> (02.05.2025.)
4. European Commission (2021), Digitalisation of the energy system [https://energy.ec.europa.eu/topics/eus-energy-system/digitalisation-energy-system\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/eus-energy-system/digitalisation-energy-system_en) (03.05.2025.)
5. European Commission (2022), Shaping Europe's digital future <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en> (25.04.2025.)

6. Google Sustainability Report (2022), Environmental Report 2022 <https://sustainability.google/reports/google-2022-environmental-report/> (15.04.2025.)
7. International Energy Agency – IEA, (2024), World Energy Outlook <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024> (02.05.2025.)
8. International Energy Agency - IEA, (2023), Digitalization and Energy <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy> (20.04.2025.)
9. International Telecommunication Union - ITU (2024), Greening Digital Companies: Monitoring Emissions and Climate Commitments <https://assets.worldbenchmarkingalliance.org/app/uploads/2024/09/Greening-Digital-Companies-Report-2024.pdf> (25.4.2025.)
10. McKinsey & Company (2022), The net-zero transition: What it would cost, what it could bring <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/the-net-zero-transition-what-it-would-cost-what-it-could-bring> (03.05.2025.)
11. National Renewable Energy Laboratory - NREL (2021), Environmental Performance Report 2021 <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-08/2021%20NREL%20Environmental%20Performance%20Report.pdf> (25.4.2025.)
12. OECD (2019), Going Digital: Shaping Policies, Improving Lives, OECD Publishing, Paris, [https://www.oecd.org/en/publications/going-digital-shaping-policies-improving-lives\\_s\\_9789264312012-en.html](https://www.oecd.org/en/publications/going-digital-shaping-policies-improving-lives_s_9789264312012-en.html) (03.05.2025.)
13. OECD (2020), Digitalisation and the environment, Paris: OECD Publishing <https://www.oecd.org/en/topics/digitalisation-and-the-environment.html> (03.05.2025.)
14. UNCTAD (2021), Technology and Innovation Report 2021, Catching Technological Waves, Geneva: United Nations <https://unctad.org/publication/technology-and-innovation-report-2021> (15.04.2025.)
15. UNFCCC (2022), United nations climate change annual report 2022 [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/UNClimateChange\\_AnnualReport\\_2022.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/UNClimateChange_AnnualReport_2022.pdf) (02.05.2025.)
16. United Nations (2015), Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development <https://sdgs.un.org/2030agenda> (20.04.2025.)
17. World Bank. (2021). Using Blockchain to Enable Cleaner, Modern Energy Systems in Emerging Markets <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/276911547847581837/using-blockchain-to-enable-cleaner-modern-energy-systems-in-emerging-markets> (03.05.2025.)
18. World Economic Forum. (2018). Fourth Industrial Revolution for the Earth <https://www.pwc.com/gx/en/sustainability/assets/ai-for-the-earth-jan-2018.pdf> (02.05.2025.)
19. World Economic Forum (2021), Harnessing Technology for the Global Goals: A framework for government action [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Harnessing\\_Technology\\_for\\_the\\_Global\\_Goals\\_2021.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Harnessing_Technology_for_the_Global_Goals_2021.pdf) (25.04.2025.)
20. WTO (2021), World Trade Report 2021: Economic resilience and trade [https://www.wto.org/english/res\\_e/booksp\\_e/wtr21\\_e/00\\_wtr21\\_e.pdf](https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/wtr21_e/00_wtr21_e.pdf) (18.04.2025.)

# **BIM U GRAĐEVINARSTVU**

**dipl. ing. građ. Mirza Alendar**

Građevinski fakultet, Univerzitet "Džemal Bijedić" u Mostaru

**Sažetak:** Građevinska industrija je jedna od finansijski najsnažnijih u privrednom sektoru svake zemlje. Ista je također jedan od glavnih krivaca za globalno zatopljenje. Samo industrija proizvodnje cementa je odgovorna za 8% od ukupne emisije CO<sub>2</sub> na planeti. Naravno da BIM ne može riješiti sve ove probleme, ali može pomoći da se isti reduciraju, ili čak u potpunosti spriječe u početnim stadijima projekta. BIM (skraćeno od Building Information Modelling) je zapravo u svojoj osnovi informacija, te je od vitalne važnosti za svijet u kojem živimo i stvaramo da se ta informacija formira, tretira i dijeli na pravi način kako bismo bili na strani održivosti i korektno pristupili ovom vidu digitalizacije u zelenoj ekonomiji.

**Ključne riječi:** građevinarstvo, BIM, ekologija, informacija, održivost

## **Uvod**

Građevinska industrija je jedna od finansijski najsnažnijih u privrednom sektoru svake zemlje. Ona je, u isto vrijeme, jedan od glavnih krivaca za globalno zatopljenje. Samo industrija proizvodnje cementa je odgovorna za 8% ukupne emisije CO<sub>2</sub> na planeti. Naravno da BIM ne može riješiti sve ove probleme, ali može pomoći da se isti reduciraju ili, čak, u potpunosti spriječe u početnim stadijima projekta. BIM (skraćeno od Building Information Modelling) je u svojoj osnovi informacija, te je od vitalne važnosti za svijet u kojem živimo i stvaramo da se ta informacija formira, tretira i dijeli na pravi način kako bismo bili na strani održivosti i korektno pristupili ovom vidu digitalizacije u zelenoj ekonomiji. BIM je kao princip i pristup moguće primijeniti ne samo u građevinarstvu, nego i kroz rad unutar drugih industrija. Princip se svodi na kreiranje centralizirane baze podataka koja će biti lako dostupna svim učesnicima u projektu, a pristup olakšan i omogućen onim bez čega je danas nemoguće zamisliti bilo kakav vid digitalizacije, a to je pristup stabilnoj internet konekciji.

## **Razvoj BIM-a**

Danas imamo moćne programe koje koriste digitalne informacije i BIM tehnologiju za optimizaciju buduće građevine, ali i kompletnog procesa, sve od faze projektovanja do eksploatacije objekta. BIM je skraćenica za Building Information Modeling, s tim da postoje i alternativna značenja koja su u osnovi slična, ali ne i potpuno ista kao ovo koje ćemo sada ukratko pojasniti. Najtačniji prevod Building Information Modeling na naš jezik bio bi informacijski model građevine, te ćemo u ovom poglavlju dati kratak presjek spominjanja pojma kroz historiju, a u narednim poglavljima ćemo obraditi svojstva i primjene. BIM je svoj razvojni put započeo 1970-ih godina, a pojam je prvi put spomenuo Robert Aish u dokumentu iz 1986. godine. Naredni put kada je BIM spomenut je bilo 1992. godine u članku van Nederveen i Tolman (Jurčević, Pavlović i Šolman, 2017). Iako BIM kao pristup postoji već više od dva desetljeća, tek u posljednjih nekoliko godina je građevinska industrija postala svjesna potentnosti, elitnog potencijala i mnogostrukih mogućnosti koje posjeduje. BIM pristup, iako nije novina, ipak je tek danas jedna od čestih tema u akademskim i stručnim krugovima, najviše u smislu

balansiranja rada i optimizacije učinkovitosti kompletne građevinske industrije.

| Povijest pojma BIM                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>BDS</b> - eng. <i>Building Description Systems</i><br>Aplikacije za projektiranje<br><br><b>GLIDE</b> - eng. <i>Graphical Language for Interactive Design</i><br>Aplikacije za projektiranje i procjenu troškova | <b>BPM</b> - eng. <i>Building Product Model</i><br>Aplikacije za projektiranje<br>Procjena troškova<br>Građenje<br>Uključivanje projektnih suradnika | <b>GBM</b> - eng. <i>Generic Building Model</i><br>Koncepti, tehnologije, standardi<br>Građenje i organizacija građenja<br>Korporativne i građevinske aktivnosti<br>Informacije o fizičkim elementima i arhitekturi | <b>BIM</b> - eng. <i>Building Information Modeling</i><br>Životni vijek građevine<br>Korištenje računalnih rješenja<br>Alati za kontrolu projekta<br>Metodologija interaktivnih projekata<br>Korištenje tehnologije<br>Povećanje učinkovitosti i efikasnosti<br>Simulacije projekata pomoću 3D modela<br>Tehnologija modeliranja |         |
| 1970-te                                                                                                                                                                                                             | 1980-te                                                                                                                                              | 1990-te                                                                                                                                                                                                             | 2000-te                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 2010-te |

Slika 1 - Vremenska linija historijskog razvoja pojma BIM (Izvor: Opće smjernice za BIM u graditeljstvu, Jurčević, Pavlović i Šolman, 2017)

Jedan od neizbježnih utjecaja BIM-a na građevinsku industriju je pomak prema potpunoj i jasnoj kolaboraciji s tačno definiranim ključnim tačkama i ciljevima – u ovom procesu i sa aspekta BIM-a, oni su definirani kao BIM razvojni nivoi (engl. Levels). BIM, kao i svaki drugi alat i inteligencija, treba proći svoj razvojni put, od dojenčeta do potpuno razvijenog zrelog bića. Postoje četiri razvojna nivoa (Levels 0, 1, 2, 3) od kojih svaki za cilj ima definiciju standarda, ali i prepoznavanje potreba i ciljeva koji svaki od nivoa treba da ispuni. Navest ćemo četiri razvojna nivoa BIM-a:

- Nivo BIM 0: Ovo je povratak korijenima – prijašnji način rada u sklopu kojega su se projekti i kompletna dokumentacija prikazivali u 2D sistemu, a komunikacija je zasnovana na “papirnom tragu” - informacijama na papiru ili elektronskim putem, tj. kombinacijom oba načina. Ovaj nivo donosi i najveći negativni utjecaj na okoliš.
- Nivo BIM 1: Na ovom nivou se kombinuje 3D CAD kao konceptualni prikaz rada i 2D koji se koristi za izradu projekta i tehničke dokumentacije tokom procesa izdavanja dozvola. Komunikacija i dijeljenje podataka provodi se elektronskim putem u tzv. “baze-ne” za razmjenu podataka (Common Data Environment, CDE). Upravo na ovom nivou se trenutno nalazi većina organizacija i kompanija, s tim da vrijedi napomenuti kako još uvijek nije dostignut multidisciplinarni nivo saradnje između različitih projektnih faza.
- Nivo BIM 2: Stepenica na kojoj se provodi BIM saradnja, i to stepenica koja je teško dostižna kompanijama i organizacijama s naših prostora. Svi sudionici projekta koriste vlastite 3D modele i ne rade nužno na istom, zajedničkom modelu. Komunikacija i kolaboracija među disciplinama ostvaruje se preko zajedničkog, univerzalnog formata datoteke, te je taj aspekt saradnje ključan za ovaj nivo. Svaka organizacija koja primjenjuje takav format i način saradnje u mogućnosti je kombinirati te podatke s vlastitima u cilju objedinjenja BIM modela te na taj način omogućiti provjere modela.
- Nivo BIM 3: Ovaj nivo se još uvijek ne primjenjuje u svijetu i trenutačno se smatra kao vizionarski, postoji samo kao ideja i želja za budućnost. Ideja ovog nivoa jest da prezentira kompletnu saradnju svih struka uključenih u projekat uz pomoć zajedničkog modela projekta koji se nalazi na centralizovanom digitalnom repozitoriju (veliki središnji mozak ili baza podataka). Cilj ovog sistema je da sve strane mogu pristupiti modelu i uređivati ga, a kao prednost se ističe redukcija (ili, prema nekim projekcijama, potpuno anuliranje) određenog rizika da bi moglo doći do konflikta informacija i samim tim do greške u modelu (ili čak prezasićenja modela). Ovaj nivo je također poznat pod nazivom



Open BIM (Jurčević, Pavlović i Šolman, 2017).

### Šta je BIM danas i za šta se koristi?

Kako smo i spomenuli u prethodnom poglavlju, BIM (Building Information Modelling) ili informacijski model građevine je upravo ono što naziv govori. Kompletan način djelovanja ovog digitalnog alata je zasnovan na kreiranju pametnih podataka koji se mogu koristiti i dijeliti za vrijeme projektovanja određenog objekta, ali i poslije, tokom eksploatacije i za optimizaciju održavanja građevine. Postoje i alternativna značenja skraćenice BIM, no fokus će biti na ovu glavnu i osnovnu – Building Information Modelling. U susjednoj Hrvatskoj je Komora inženjera građevinarstva 2017. godine objavila “Opće smjernice za BIM pristup graditeljstvu” kao svojevrsni vodič kako pristupiti BIM-u, ali i kako ga ispravno koristiti. Navodimo citat predsjednika Hrvatske komore inženjera građevinarstva iz uvoda navedenog djela: “BIM pristup može se prikazati u dva smjera: kao tehnologija i kao metodologija. Kao tehnologija BIM je digitalna reprezentacija fizičkih i funkcijskih karakteristika građevine, a kao metodologija omogućuje suradnju različitih sudionika u različitim fazama životnog vijeka građevine – od projektiranja i građenja do puštanja u pogon te cjeloživotnog upravljanja i održavanja.” (Jurčević, Pavlović i Šolman, 2017). BIM je kroz pristup primjenjiv tokom svih faza životnog vijeka projekta: planiranju, projektiranju, izvođenju, upravljanju i održavanju građevine.

### Kako i kojim sredstima koristiti BIM

BIM softveri (programi) trebaju posjedovati mogućnost prezentacije fizičkih i funkcionalnih svojstava građevine kao kompletnog modela ili objekta na koji će se “nakačiti” baza podataka. Svi korisnici BIM softvera (dakle, svi učesnici u projektu) moraju imati mogućnost pregleda, ali i interakcije s modelom u 2D i 3D prikazu (osnove, presjeci, fasade). Ono što je zadatak BIM softvera je da omogući razvoj modela, te da nacrti budu uklopljeni na način da odgovaraju potrebama i namjeni projekta, kao i budućim korisnicima.

Postoje određeni kriteriji koji BIM programski alati trebaju zadovoljiti kako bi isporučili integrisani model, a to su:

- Pristupačnost.
- Primjenjivost.
- Prostornost.
- Dopušten uvoz i izvoz fajlova/modela.
- Spremanje modela u “oblaku” – online, umjesto na fizičkom mediju.
- Opremljenost alatima koji omogućavaju izradu i prikaz kompleksnih modela.

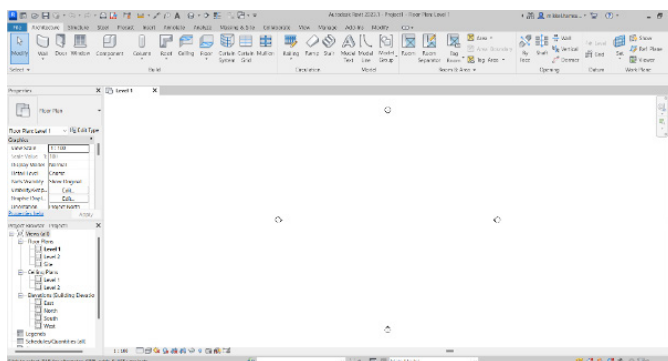
Postoji nekoliko dostupnih programa koji koriste BIM digitalne podatke tokom izrade projekta, te ćemo navesti najpoznatije od njih:

- ArhiCAD,
- Graphisoft,
- Autodesk Revit.

Upravo posljednji navedeni program je i najpoznatiji svim učesnicima u izradi projekta, inženjerima raznih profila: građevinski, mašinski, elektro, ali i arhitektima koji kreiraju početnu ideju i dizajn. Standardna 2D izrada tehničkih nacrti je već odavno



prevaziđena. Putem BIM-a nam je omogućeno pretvaranje stvarnih, fizičkih i funkcionalnih karakteristika okoliša i/ili materijala u digitalni oblik. Putem digitalizacije određenih objekata (ili dijelova objekta i okoliša) oni postaju mnogo lakši za uređivanje, pregled, vizualizaciju i dijeljenje. BIM modeli su digitalne datoteke koje su izrađene putem BIM programa, te se iz njih mogu dobiti informacije o određenom modelu. Digitalna forma olakšava dijeljenje i povezivanje svih učesnika u projektu kroz sve faze projektiranja. Najveća moć BIM digitalne tehnologije je upravo to što nadrađa tradicionalne 2D alate za izradu tehničkih nacrti, i to za čak dvije dimenzije: vrijeme (4D) i novac/trošak (5D), obje od izuzetne važnosti za investitora, projektanta, ali i izvođača radova kao i za buduće korisnike objekata. BIM je također moćan na polju geometrije, gdje, osim što pruža 3D prikaz u prostoru kroz dužinu, širinu i dubinu objekta, također pruža uvid u određena svojstva objekta i pokriva komunikacije između prostora, osvjetljenje, informacije na osnovu geografske lokacije, ali i svojstva i osobine određenih građevinskih materijala, komponenti i spojeva. (Online članak BIM, BIM Hrvatska, pristupljeno 26. 11. 2024.)<sup>1</sup>



Slika 2 - Prikaz osnovnog korisničkog sučelja u Revit programu, verzija 2023 (iz privatne arhive autora). Autodesk Revit je najpoznatiji program za BIM operacije.

## BIM u građevinarstvu

Ujedinjene nacije su posljednjih desetak godina (ili čak od početka 2000-ih) veoma aktivne na polju kreiranja projekcija za društvo i za broj ljudi na planeti. Jedno od tih predviđanja indicira da će do 2050. godine na Zemlji biti čak 9,7 milijardi ljudi. Odgovornost našeg društva, a pogotovo građevinskog sektora predvođenog inženjerima, mora biti stvaranje pametnije, održivije i ekonomičnije gradnje. BIM podaci pružaju uvid u sve karakteristike i dimenzije u svim fazama života jednog projekta, te su kao takvi već danas veoma primjenjivi za bolje sutra. Već odavno je poznato da je građevinski sektor jedan od najvećih u globalnoj ekonomiji, s 10 biliona američkih dolara utrošenih u građevinske usluge i proizvode.

Sve ove informacije ukazuju da je potrebno prilagoditi pristup građenju, te da više pažnje trebamo posvetiti optimizaciji i održavanju građevina nakon početka eksploatacije. Troškovi koji su vezani uz održavanje građevina veoma se rijetko pravilno projektuju i računaju, pogotovo kod nas u Bosni i Hercegovini, što je veoma loša praksa ako uzmemo u obzir činjenicu da su upravo ovi troškovi dosta veći od ostalih troškova u

<sup>1</sup> <https://bim-hrvatska.hr/bim-building-information-modeling/>

životnom vijeku građevine. Ovisno o vrsti građevine, troškovi održavanja iznose 60% od ukupnih troškova njenog životnog vijeka (Cerić et al, 2019). Upravo s te strane se kroz rad A. Cerića i saradnika fokus stavlja na predlaganje načina integracije održavanja građevina i BIM-a, sve u svrhu učinkovitijeg upravljanja održavanjem građevina. Ključ uspješnog upravljanja održavanjem građevina leži u komunikaciji i saradnji svih učesnika projekta - od projekatanta, izvođača, inženjera raznih profila pa sve do eksperata za održavanje građevine. "Lakšu interoperabilnost i suradnju svih sudionika omogućava novi trend u građevinskoj industriji – BIM (eng. Building Information Modeling). BIM podrazumijeva izradu višedimenzionalnog informacijskog modela građevine koji uz 3D geometriju sadrži i bitne informacije o elementima građevine, te obuhvaća sve sudionike u procesu građenja. Spajanje 3D modela građevina s pripadajućim relevantnim informacijama potrebnim za kvalitetno održavanje građevina omogućava smanjenje troškova i vremena utrošenog na održavanje, te njihove administracije i iznalaženja optimalnih rješenja u održavanju." (Cerić et al. 2019.)

U nastavku ćemo navesti neke od praktičnih primjena BIM-a u građevinarstvu.

Faza planiranje:

- Analize prostora na mogućim lokacijama građevine (engl. Site Analysis).
- Analiza prostorne interpolacije građevine (engl. Programming).
- Modeliranje ili kreiranje digitalnog okruženja postojećeg stanja (engl. Existing Conditions Modeling).

Faza projektiranja:

- Analiza sistema građenja (engl. Building System Analysis).
- Projektiranje i dizajn (engl. Design Authoring).
- Inženjerske analize (engl. Engineering Analysis) i to: analiza energetske učinkovitosti (engl. Energy Analysis), statička analiza (engl. Structural Analysis) te ostale analize.
- 3D koordinacija (engl. 3D Coordination) i provjera usklađenosti s propisima i regulacijama (engl. Code Validation).
- Procjene za održivu gradnju (engl. Sustainability Evaluation) i provjera uspješnosti projektnog rješenja (engl. Design Reviews)
- Peta dimenzija količine materijala i procjene troškova (engl. Cost Estimation - 5D Modeling).

Faza građenja, tj. izvođenja radova:

- Četvrta dimenzija vrijeme/trajanje, planiranje po fazama (engl. Phase Planning - 4D Modeling).
- Planiranje i organizacija gradilišta (engl. Site Utilization Planning).
- Dizajniranje sistema građenja (engl. Construction System Design).
- Digitalna kontrola proizvodnje (engl. Digital Fabrication).
- Geodetsko 3D upravljanje i planiranje (engl. 3D Control and Planning) i snimanje izvedenog stanja (engl. Record Modeling).

Faza eksploatacije i upravljanja građevinom:

- Planiranje preventivnog održavanja (engl. Building Preventative Maintenance Scheduling).
- Upravljanje imovinom (engl. Asset Management).
- Monitoring i upravljanje prostorom (engl. Space Management and Tracking).
- Planiranje izvanrednih događaja ili nesreća (engl. Disaster Planning) (Jurčević, Pavlović i Šolman, 2017).

## BIM kao informacija

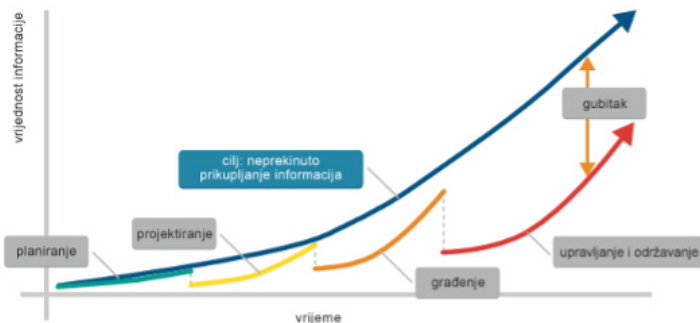
BIM je u svojoj osnovi, ali i prema genezi, informacija, i kao takav ima svoj životni ciklus. Preko svih nas svakodnevno pređe bezbroj informacija kojima nas okolina bombarduje, i to često potpuno bespotrebno. Neke od tih informacija ostaju s nama dugo vremena, druge čuvamo samo dok ih ne podijelimo (pa ih odmah potom zaboravimo), a neke uopće i ne upamtimo. Ako probamo definirati informaciju, naći ćemo da je to zapravo podatak u određenom obliku kojeg je moguće dijeliti – samim tim, podatak koji se može koristiti za komunikaciju. Ovdje dolazimo do još jedne moćne karakteristike BIM-a, i to one koja najviše dolazi do izražaja upravo u fazi održavanje građevine, a to je informacija. BIM modeli pružaju informacije o sebi svim učesnicima projekta u fazi izrade samog projekta, nastavljaju da informišu tokom izvođenja, a onda tokom eksploatacije nastavljaju biti korisni upravo zbog toga što sadrže detaljne podatke o sebi. Primjer za ovo bi bile instalacije koje su ugrađene u zid. Prilikom sanacije ili ispravljanja grešaka prije faze eksploatacije, korisno bi bilo znati tačnu lokaciju instalacija koje BIM model može pružiti. Ovo u konačnici može spriječiti nastanak štete, ali i unaprijediti sami proces održavanja građevina.

| Učesnici u projektu               | Planiranje i projektovanje | Građenje | Upravljanje i održavanje | Ukupno  |
|-----------------------------------|----------------------------|----------|--------------------------|---------|
| Arhitekti i građevinski inženjeri | 1007,20                    | 147      | 15,70                    | 1169,80 |
| Izvođači                          | 485,90                     | 1265,30  | 50,40                    | 1801,60 |
| Dobavljači                        | 442,40                     | 1762,20  | -                        | 2204,60 |
| Vlasnici objekata i upravitelji   | 722,80                     | 898      | 9027,20                  | 10648   |
| Ukupno                            | 2658,30                    | 4072,40  | 9093,30                  | 15824   |

Tabela 1 - Raspodjela ukupnih troškova objekta po fazama i grupama učesnika u projektu u milionima američkih dolara (Jurčević, Pavlović i Šolman, 2017)

Iz Tabele 1 je vidljivo da je faza upravljanja i održavanje građevine najskuplja u cijelom životnom vijeku jednog projekta. Jedan od ciljeva predmeta Optimizacija građevine je taj da pokušamo naći načine (ili barem dati prijedloge) kako sniziti trošak upravljanja. Na Slici 4. je prikazan graf na kojem je vidljiv gubitak informacija u svakoj od faza: planiranje, projektovanje, izgradnja te upravljanje i održavanje. Jasno je vidljivo da je upravo u posljednjoj fazi upravljanja i održavanja građevine gubitak informacija najveći. Taj "gap" je također primjetan sve od faze projektiranja, dok je u fazi planiranja gotovo neprimjetan. Tokom faze građenja dolazi do značajnijeg gubitka informacija.

Jedan od prijedloga rješenja za gubitak informacija tokom trajanja životnog vijeka građevine je u formiranju neutralne, lako dostupne i interoperabile platforme kojoj će biti omogućen pristup s drugih softverskih platformi različitih proizvođača.



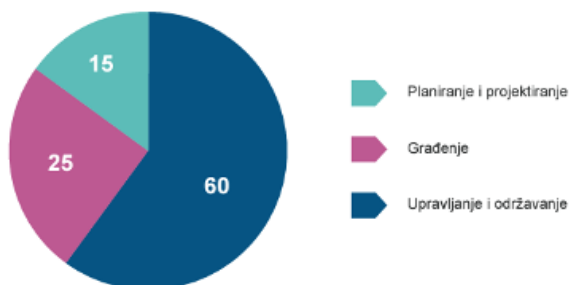
Slika 3 - Prikaz vrijednosti informacija i njihov gubitak kroz vrijeme – BIM ciklus (označen plavom bojom) predstavlja idealnu vrijednost kojoj treba stremiti u svakoj fazi projekta (Jurčević, Pavlović i Šolman, 2017)



Slika 4 - Odnos grafičkih prikaza i atributa u određenim fazama projekta (Jurčević, Pavlović i Šolman, 2017)

## BIM u održavanju građevina

Upravitelj građevinama treba razumjeti koja je vrsta i namjena građevine kojom upravlja, koji sistemi su ugrađeni, koje su komponente i gdje se nalaze, mora poznavati instrukcije i priručnike, garancije i sl., ali isto tako mora poznavati i korisnike građevine te koji je (ili koji će biti) njihov utjecaj na građevinu. Već je sada jasno da ovdje možemo govoriti o masivnoj količini informacija, tako da je podjednako važno da je osoba koja upravlja građevinom u stanju izvršiti filtriranje informacija, te na taj način odrediti koje od njih nisu potrebne za uspješno upravljanje građevinom. Jasno definiranje i detaljna analiza svih informacija koje trebaju biti obuhvaćene u fazi projektiranja i građenja bi trebali biti preduslov i standard za svaki projekat (Jurčević, Pavlović i Šolman, 2017).



Slika 6 - Troškovi faza životnog vijeka građevine (Jurčević, Pavlović i Šolman, 2017)Šolman, 2017)

## Prednosti i mane BIM-a

Tabela 2 prikazuje prednosti i mane BIM-a.

| Prednosti                              | Mane                                    |
|----------------------------------------|-----------------------------------------|
| Mogućnost dijeljenja informacija       | Troškovi programa za rad s BIM-om       |
| Ažurnost modela                        | Mala potražnja od strane klijenata      |
| Optimizirana efikasnost u radu         | Nedovoljan nivo stručnosti i spremnosti |
| 3D simulacije                          | Nejasno definirane uloge u projektu     |
| Mogućnost predikcije objekta na okoliš | Nedovoljna interoperabilnost            |
| Projekcija troškova i vremena trajanja | Tvrđoglavost građevinske industrije     |
| Laka dostupnost                        | Gubitak informacija u fazi održavanja   |

Tabela 2 - Prednosti i mane BIM-a (dio preuzet od Cerić et al, 2019)

## Zaključak

BIM podaci pružaju uvid u sve karakteristike i dimenzije u svim fazama života jednog projekta, te su kao takvi već danas veoma primjenjivi za bolje sutra. Nažalost, nedostatak volje građevinske industrije da prihvati ovu neminovnu promjenu u kombinaciji s nedovoljnom stručnom spremom i nezainteresiranošću većine građevinske struke, dovodi nas u situaciju gdje BIM modeli i softveri nisu zastupljeni u onolikoj mjeri koliko bi trebali biti.

Upotrebom ovih modernih tehnologija projektovanja, građenja i upravljanja građevinom, možemo se nadati da ćemo barem malo usporiti oštećenje koje izazivamo na našoj planeti svojim ignorantskim mega antropološkim djelovanjem.

Primjene i mogućnosti BIM-a su zaista potente i mnogostruke te ukoliko nastavimo razvijati danas dostupne moderne alate za digitalnu vizualizaciju i primijenimo ih u kombinaciji s BIM tehnologijom, onda veoma brzo u skoroj budućnosti možemo stvoriti samoodržive objekte koji će nam sami ukazati na to kada je vrijeme za sanaciju, ili ako je došlo do greške prilikom same ugradnje određenih sistema ili instalacija, ili, pak, da je došlo do greške prilikom izgradnje konstrukcije, odnosno u fazi izvođenja radova - građenja. Moderni softveri se mogu povezati s bazama podataka BIM modela i integrisati sa svim komponentama konstrukcije, te na taj način stvoriti moderan objekt koji će ići u korak s vremenom. Za ovaj korak bi nam bili neophodni i GIS podaci, ali njih možemo nadoknaditi za pojedine građevine putem snimanja i formiranja "oblaka od tačaka" koji kasnije možemo prevesti u BIM softver, te od tih tačaka formirati funkcionalni BIM model, a sve u svrhu ostvarivanja održive gradnje.

## **BIM in construction industry**

**Summary:** The construction industry is one of the biggest factors in every country's economy, but it's also one of the main contributors to the global warming with an example of cement industry being responsible for 8% of the total CO2 emission on the planet. Of course, it's not expected that BIM solves all of these problems, but it can help reduce them in the initial stages of the project. BIM (Building Information Modelling) is in its core – an information. Therefore, it is vital for our world's sake that the information (BIM) is formed, treated and shared in a right way so that we can be on the sustainability side of things and leading a correct approach to this form of digitalization in green economy.

**Keywords:** construction industry, BIM, ecology, information, sustainability

### **Literatura**

1. Cerić et al, naučni rad Implementacija BIM-a u održavanju građevina objavljen u časopisu Građevinar, Zagreb, 2019.
2. Jurčević, Pavlović i Šolman, Opće smjernice za BIM pristup u graditeljstvu, Hrvatska komora inženjera graditeljstva, Zagreb, 2017.
3. <https://aabh.ba/sta-je-building-information-modeling-bim/>
4. <https://bim-hrvatska.hr/bim-building-information-modeling/>
5. <https://www.promat.com/hr-hr/graditeljstvo/alati-i-usluge/bim-informacijsko-modeliranje-građevina/sto-je-bim/>
6. <http://virtualna.nsk.hr/povijest-tehnickog-dokumentiranja/razvoj-cad-programa/>
7. Preuzeto iz Virtualne izložbe naziva „Povijest tehničkog dokumentiranja u strojarstvu – od crtanja rukom do računalne izrade nacrtā“, Tehnička škola za mehatroniku i strojarstvo Split, 2021. sa <http://virtualna.nsk.hr/povijest-tehnickog-dokumentiranja/razvoj-cad-programa/> (pristupljeno 25.11.2024.)
8. [2] <https://bim-hrvatska.hr/bim-building-information-modeling/>

# FUZIJA UMJETNE INTELIGENCIJE I MODELA ZA OPTIMIZACIJU ZA POBOLJŠANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI U PAMETNIM FABRIKAMA

doc. dr. Tarik Hubana

ARTI Analytics, Maršala Tita 6, 71000 Sarajevo

prof. dr. Migdat Hodžić

ARTI Analytics, Maršala Tita 6, 71000 Sarajevo

**Sažetak:** Rastuća potražnja za održivim industrijskim praksama uparena s visokim troškovima energije potaknula je proizvođače da traže inovativna rješenja za optimizaciju potrošnje energije bez ugrožavanja produktivnosti. Ovaj rad predstavlja integrirani pristup koji kombinira umjetnu inteligenciju (UI) i matematičke optimizacijske tehnike kako bi se poboljšala energetska efikasnost u pametnim fabrikama. Pametne fabrike nude jedinstvenu priliku za korištenje podataka u stvarnom vremenu, povezanih uređaja i inteligentnih algoritama za dinamičko upravljanje i smanjenje potrošnje energije u različitim proizvodnim procesima. Predložena metodologija uključuje korištenje UI modela, posebno modela mašinskog učenja, za tačno predviđanje potražnje za energijom, proizvodnog opterećenja i procjene nedostajućih podataka. Ovi prediktivni uvidi služe kao ulazni podaci za miješani cjelobrojni optimizacijski model (MILP) koji generira energetske efikasne operativne rasporede, planove raspodjele mašina i strategije uravnoteženja opterećenja. Integracijom predviđanja vođenog UI s optimizacijom temeljenom na ograničenjima, sistem je sposoban donositi automatizirane odluke vođene podacima koje minimiziraju rasipanje energije i vršnu potražnju ili optimiziraju ugljične kredite. Rezultati pokazuju značajna poboljšanja, uključujući smanjenje troškova energije 15-30% za srednje velike pametne fabrike. Ovaj rad doprinosi rastućoj bazi znanja o digitalnom upravljanju energijom u industrijskim okruženjima ilustrirajući prednosti koje donosi kombinacija UI i optimizacijskih okvira.

**Ključne riječi:** optimizacija, umjetna inteligencija, energija, digitalizacija, pametne fabrike, tranzicija

## 1. Uvod

Industrijski sektor spada među najveće potrošače energije i izvore emisija na globalnom nivou. Naprimjer, proizvodne industrije troše oko četvrtinu ukupne svjetske energije i generiraju približno 23% emisija stakleničkih gasova (Yu, Zhang, Yan, & Li, 2025). Visoka potrošnja energije u fabrikama dovodi do značajnih troškova, utjecaja na životnu sredinu i izazova u ispunjenju ciljeva održivosti. Prema tome, poboljšanje energetske efikasnosti u proizvodnim procesima postalo je prioritetno područje istraživanja i razvoja. Razvoj koncepata pametnih fabrika otvorio je nove mogućnosti za unapređenje upravljanja energijom u industriji. Digitalizacija i umreženost proizvodnih sistema omogućavaju prikupljanje velikih količina podataka u realnom vremenu, što stvara osnovu za primjenu naprednih analitičkih alata. Prema nedavnim studijama, integracija novih tehnologija znatno osnažuje prakse energetske održivog upravljanja proizvodnjom. Naprimjer, Internet stvari (IoT) uređaji omogućavaju praćenje potrošnje energije u realnom vremenu, dok vještačka inteligencija (AI) i analitika velikih podataka pružaju prediktivne mogućnosti za optimizaciju potrošnje i sprečavanje neučinkovitosti (Cagno, i dr., 2025). Istovremeno, simulacioni alati i digitalni blizanci pomažu u



vizualizaciji procesa i optimizaciji dizajna, a napredna robotika povećava fleksibilnost i smanjuje gubitke u proizvodnji (Cagno, i dr., 2025).

Umjetna inteligencija se posebno ističe kao ključna komponenta pametnih fabrika u kontekstu energetske efikasnosti. AI sistemi mogu analizirati kompleksne skupove industrijskih podataka i prepoznati obrasce potrošnje energije koji nisu očigledni tradicionalnim metodama. Mašinsko učenje (ML) omogućava precizno modeliranje odnosa između proizvodnih parametara i potrošnje energije, čime se stvara osnova za prediktivno upravljanje energijom. Također, AI alati mogu predvidjeti buduće energetske potrebe i predložiti strategije za smanjenje rasipanja energije (Asmae, Pranita, Hugo, Joao, & Kailash, 2024). Ovakve sposobnosti AI tehnologija već pronalaze primjenu u praksi – naprimjer, implementacija AI modela za predviđanje potrošnje i optimizaciju u jednoj studiji rezultirala je uspješnim prognoziranjem ciljne varijable potrošnje energije i doprinijela održivijoj proizvodnji (Asmae, Pranita, Hugo, Joao, & Kailash, 2024). Navedeni rezultati potvrđuju stvarni potencijal AI alata u unapređenju energetske održivosti proizvodnih pogona. Pored AI tehnika, u industriji se tradicionalno koriste optimizacijski modeli za racionalizaciju potrošnje resursa. Klasični problemi planiranja i zakazivanja proizvodnje često se formuliraju kao optimizacijski zadaci s ciljem minimizacije vremena, troškova ili potrošnje energije uz ispunjenje proizvodnih ograničenja. Razvojem računarske inteligencije, ovi modeli su postali sofisticiraniji i sposobni rješavati složene, višekriterijske probleme. Višeciljne optimizacije omogućuju istovremeno uzimanje u obzir više parametara (npr. proizvodni učinak i utrošak energije). Naprimjer, Rubio i saradnici (2021) pokazali su da se putem višekriterijske optimizacije mogu istovremeno poboljšati produktivnost i smanjiti potrošnja energije u autonomnim proizvodnim procesima (Rubio, Carlos, & Francisco, 2021). U njihovom pristupu, algoritam optimizacije integriše raspored rada industrijskih robota i autonomnih transportnih vozila s energetskim ograničenjima, maksimizirajući profit uz minimizaciju potrošnje energije i vremena ciklusa (Rubio, Carlos, & Francisco, 2021). Ovi nalazi ilustriraju potencijal optimizacionih metoda da doprinesu održivom rastu kroz povećanje energetske efikasnosti.

Sintezom naprednih AI tehnika i optimizacionih modela otvara se nova dimenzija za unapređenje energetske efikasnosti. Tradicionalni optimizacijski pristupi oslanjaju se na pojednostavljene pretpostavke ili statičke modele potrošnje energije, dok AI može obezbijediti dinamičke, adaptivne uvide zasnovane na stvarnim podacima. Tako fuzija AI i optimizacije podrazumijeva korištenje AI modela (npr. mašinsko učenje za predikciju potrošnje ili kvaliteta proizvodnje) unutar optimizacionog okvira koji traži najbolje odluke za uštedu energije. Ovakav integrisani pristup obećava bolje rezultate od pojedinačnih metoda, jer kombinuje sposobnost AI da uči kompleksne odnose sa snagom optimizacionih algoritama da pronalaze globalno najbolje rješenje u zadatom prostoru rješenja. U svjetlu navedenog, cilj ovog rada je predstaviti i eksperimentalno evaluirati integrisani pristup koji kombinuje AI modele i optimizacione algoritme za unapređenje energetske efikasnosti u pametnoj fabrici. U nastavku rada daje se pregled relevantne literature, zatim se opisuje metodologija predloženog rješenja, uključujući razvijeni AI model i optimizacioni algoritam. Nakon toga slijedi prikaz implementacije i eksperimentalnih rezultata na odabranom proizvodnom slučaju, uz diskusiju postignutih poboljšanja i praktičnih implikacija. Na kraju, u zaključku se rezimiraju glavni doprinosi te daju upute za buduće istraživanje.

## 2. Pregled literature

Dosadašnja literatura bilježi brojne primjere primjene ovakvih hibridnih pristupa. Pregledni rad Narciso i Martins (2020) analizirao je 42 publikacije i uočio nagli porast interesovanja za upotrebu industrijskih podataka i mašinskog učenja u cilju energetske efikasnosti (Narciso & Martins, 2020). Utvrđeno je da su najčešće obrađivani izazovi bile predikcije potrošnje energije, analize energetske efikasnosti te optimizacija energetskih tokova. Pritom je većina ranih istraživanja bila fokusirana na procesnu industriju (npr. petrohemijski sektor), dok su primjene u diskretnoj proizvodnji još uvijek bile ograničene do 2020. godine (Narciso & Martins, 2020). U međuvremenu, noviji radovi pokazuju širenje ovih metoda na širi spektar proizvodnih sistema i tehnologija. Abadi i saradnici (2025) sprovedli su sveobuhvatnu analizu literature u protekloj deceniji i identifikovali ključne tematske cjeline gdje se AI primjenjuje za poboljšanje energetske efikasnosti: nadgledanje i predviđanje potrošnje, upravljanje u realnom vremenu, optimizacija rasporeda proizvodnje i optimizacija procesa podešavanjem parametara (Abadi, Liu, Zhang, Hu, & Xu, 2025)]. U okviru pregledanih 67 radova, najčešće korištene AI metode bile su mašinsko učenje, duboko učenje i ojačano učenje, primijenjene samostalno ili u kombinaciji s drugim tehnikama. Na osnovu uvida iz literature, Abadi i saradnici predlažu koncept energetske efikasne digitalne blizance (EE-DT) koji objedinjuje digitalnu repliku proizvodnog sistema s AI alatima, omogućavajući simulacije i optimizacije energetske potrošnje u proizvodnim procesima. Ovaj konceptualni okvir predstavlja ilustraciju kako se AI može integrisati u industrijske softverske sisteme radi kontinuiranog poboljšanja efikasnosti.

Konkretnije, brojni istraživači demonstrirali su korist pojedinačnih AI tehnika u domenu energetske efikasnosti proizvodnje. Također, višestruki slučajevi primjene višestrukih agenata i ojačanog učenja (RL) prikazani su za koordinaciju rada fleksibilnih proizvodnih ćelija i energetskih mikromreža, čime se postiže optimizacija potrošnje u realnom vremenu (npr. adaptivno isključivanje ili smanjenje potrošnje mašina u periodima vršne potrošnje (Hubana, 2020). Pored toga, empirijske studije na nivou preduzeća potvrđuju pozitivan utjecaj AI tehnologija na energetske efikasnost, prvenstveno donoseći dobre procjene potrošnje (Hubana, Semic, & Lakovic, 2021) Ovi nalazi sugeriraju da digitalna transformacija, potpomognuta AI tehnologijama, doprinosi ne samo produktivnosti nego i održivijem korištenju energije u industriji.

## 3. Metodologija

U ovom radu razvijen je integrirani metodološki okvir koji kombinuje prediktivne sposobnosti umjetne inteligencije s optimizacionim modeliranjem, s ciljem smanjenja potrošnje energije u pametnoj fabrici. Metodologija se sastoji od nekoliko faza koje obuhvataju prikupljanje i obradu podataka, izgradnju AI modela za predviđanje energetske potrošnje, formulaciju optimizacionog problema te spregu AI i optimizacije za pronalaženje optimalnih rješenja. Cjelokupan pristup koncipiran je tako da radi u realnom vremenu ili u near-real-time režimu, omogućavajući njegovu primjenu u dinamičnom proizvodnom okruženju pametne fabrike. Implementacija može ovisiti od stepena automatizacije fabrike, pri čemu automatizovana okruženja mogu imati veći benefit uslijed real-time djelovanja (npr. preko SCADA uređaja ili PLC sistema), a manje automatizovana okruženja mogu koristiti operatere koje na osnovu preporuke sistema

mogu vršiti ručne manipulacije. Za potrebe ove analize korišten je primjer jedne pametne fabrike s potrošačima prikazanim u Tabeli 1.

| Naziv potrošača               | Snaga   | Upravljiv (DA/NE) |
|-------------------------------|---------|-------------------|
| Grijanje/hlađenje             | 40 kW   | DA                |
| Industrijski proces 1         | 50 kW   | DA                |
| Industrijski proces 2         | 60 kW   | DA                |
| Punjač električnih viljuškara | 75 kW   | DA                |
| Ostala potrošnja              | 1-10 kW | NE                |
| Solarna elektrana             | 0-15 kW | NE                |

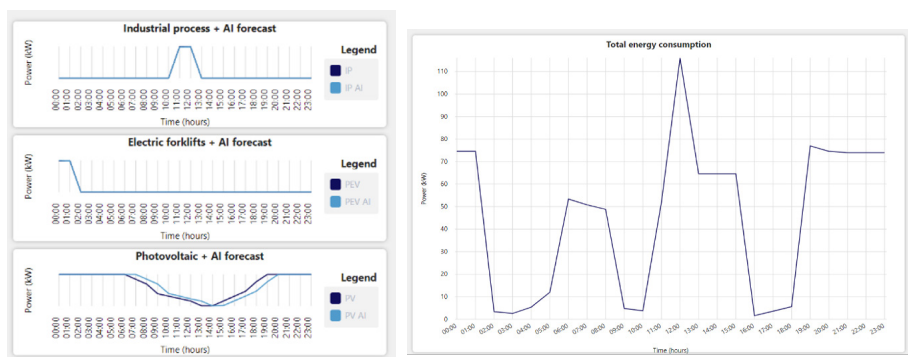
Tabela 1 - Lista upravljivih i neupravljivih potrošača i proizvođača u pametnoj fabrici

Primjer korišten u ovom radu je razvijen u .NET okruženju (pozadinske funkcije i proračuni), dok je prikaz i grafički interfejs razvijen u Angularu. Za sve potrošače su podešeni intervali u kojima potrošači mogu biti preraspoređeni i intervali u kojima moraju biti na raspolaganju. Ova postavka se uzima u obzir kao ograničenje optimizacije jer određeni procesi se ne smiju premještati tokom rada u fabrici. Primjer postavke za nekoliko potrošača je prikazan na Slici 1.



Slika 1 - Podešavanje ograničenja na grafičkom interfejsu (lijevo) i kumulativna ograničenja

Druga faza predstavlja razvoj AI modela za predikciju potrošnje energije. Na osnovu prikupljenih i sintetičkih podataka, treniran je prediktivni model zasnovan na metodomama mašinskog učenja. Izbor metode izvršen je eksperimentalno poređenjem nekoliko kandidata (višeslojni neuronski model, model zasnovan na XGBoost algoritmu, nasumične šume, i sl.). Kao najbolji pokazao se model nasumične šume iz ML.NET paketa, treniran da predviđa potrošnju energije u određenom vremenskom intervalu (15-min mjerenje) na osnovu ulaznih varijabli koje opisuju stanje proizvodnje. Model je treniran na 80% skupa podataka, dok je 20% podataka ostavljeno za validaciju. Nakon treniranja, izabrani model postiže visoku tačnost predviđanja (npr.  $R^2 > 0,98$  na validacionom skupu), što se poklapa sa sličnim studijama prediktivnog modeliranja u potrošnji i proizvodnji. Tako osposobljen AI model koristi se za dvije svrhe: za popunjavanje nedostajućih podataka u slučaju prekida u komunikaciji ili lošeg mjerenja i za procjenu potrošnje i proizvodnje u budućnosti da bi se mogli praviti rasporedi koristeći optimizacijski algoritam.



Slika 2 - Procjena potrošnje i proizvodnje koristeći AI za pojedinačne potrošače/proizvođače (lijevo) i ukupna procjena potrošnje (desno) (desno)

Treća faza je formulacija optimizacionog modela. U ovoj fazi problem energetske efikasnosti u proizvodnom procesu formulisan je kao optimizacioni zadatak u kojem se nastoji pronaći najbolji način izvođenja proizvodnje uz minimalnu potrošnju energije, što bi kao rezultat trebalo imati smanjenje cijene računa električne energije. Osnovni cilj modela jeste da se smanji ukupna potrošnja električne energije tokom jednog proizvodnog ciklusa, kao što je smjena ili cijeli radni dan, uz istovremeno poštivanje svih operativnih i tehnoloških ograničenja pogona. U okviru modela se razmatraju različite odluke koje uključuju raspored radnih naloga na mašinama, sekvencu izvođenja operacija, trajanje ciklusa rada, cijene varijabilne tarife energije tokom dana, te eventualna podešavanja režima rada mašina. Za rješavanje ovog višekriterijskog problema korišten je pristup miješanog cjelobrojnog linearnog programiranja (MILP). Ova metoda omogućava modeliranje problema gdje su neke odluke diskretne (npr. uključivanje mašine ili izbor operacije), dok su druge kontinuirane (npr. trajanje aktivnosti ili nivo opterećenja). MILP pristup se pokazao prikladnim jer omogućava formalizaciju različitih ograničenja proizvodnog procesa, a istovremeno omogućava uključivanje više ciljeva optimizacije.

## 4. Rezultati i diskusija

Na osnovu prethodno opisanog metodološkog okvira, sistem je implementiran u demonstracionom okruženju pametne fabrike s ciljem testiranja efekata integrisane AI-optimizacione strategije na ukupnu potrošnju i troškove energije. Sistem omogućava vizuelizaciju ograničenja i preporuka u realnom vremenu, te prikaz energetske potrošnje u scenarijima “bez optimizacije” i “sa optimizacijom”. Na Slici 3 prikazani su rezultati eksperimenta.



Slika 3 - Raspodjela opterećenja u uobičajenom (lijevo) i optimizovanom (desno) načinu rada

Na lijevom dijelu slike vidi se raspodjela opterećenja prema tipu potrošača u scenariju koji predstavlja uobičajeni način rada (engl. Business as usual), dok desni dio slike prikazuje stanje nakon primjene optimizacije. Jasno se može primijetiti da je u scenariju bez optimizacije koncentracija opterećenja najveća u jutarnjim i prijedpodnevnim satima, što rezultira visokim vršnim opterećenjem, posebno zbog istovremenog rada više energetski intenzivnih potrošača kao što su punjači električnih viljuškara i industrijski procesi. Ovakva konfiguracija ne samo da rezultira visokim trenutnim snagama, nego i povećava ukupni trošak energije zbog tarifa koje su vezane za potrošnju u vršnim satima. Nakon optimizacije, model miješanog cjelobrojnog linearnog programiranja (MILP) predložio je nove termine za izvođenje ključnih potrošača u skladu s ograničenjima dostupnosti mašina i tarifnim strukturama. Naprimjer, punjenje električnih viljuškara je premješteno u intervale s nižom cijenom energije, dok su industrijski procesi 1 i 2 također redistribuirani u kasnije sate. HVAC sistem (grijanje i hlađenje) je također djelimično pomjeren iz vršnih u rane jutarnje i večernje sate. Ove promjene rezultirale su ravnomjernijom raspodjelom opterećenja, čime je postignuto smanjenje vršne potrošnje i poboljšana energetska efikasnost. Ključni kvantitativni rezultat jeste značajno smanjenje ukupnog troška energije koji se nakon optimizacije smanjenje približno 27,5%. Ovakav rezultat potvrđuje da optimizacija, iako ne smanjuje ukupnu količinu potrebne energije za proizvodnju, omogućava pametniji izbor trenutaka potrošnje u skladu s tarifnim i tehničkim ograničenjima, pa time rezultira manjim troškom za električnu energiju.

Dobiveni rezultati ukazuju na nekoliko važnih zaključaka. Optimizovani raspored je formiran unutar realnih operativnih ograničenja (vremenska dostupnost, nužna paralelizacija procesa), što potvrđuje praktičnu upotrebljivost pristupa u stvarnim industrijskim okruženjima. Korištenje AI za predikciju i MILP modela za optimizaciju omogućilo je smanjenje potrošnje u vršnim periodima i smanjenje ukupnih troškova bez dodatnih ulaganja u infrastrukturu. Zahvaljujući grafičkom korisničkom interfejsu, sistem se može koristiti kako u potpuno automatizovanim fabrikama (gdje preporuke izvršava SCADA/PLC sistem), tako i u ručno nadziranim pogonima gdje operateri mogu donositi odluke na osnovu preporuka. Ovi nalazi se uklapaju u postojeću literaturu koja ističe potencijal kombinacije AI-a i optimizacionih modela za poboljšanje energetske efikasnosti (Rubio, Llopis-Albert, & Valero, 2021; Cagno et al., 2025). Primjera radi, Lee i Lin (2024) su kroz deset različitih studija slučaja AI primjene u fabrikama izvijestili o tipičnim uštedama energije u rasponu od 10% do 30%, zavisno od inicijalne efikasnosti i prirode procesa. Također, Rubio et al. (2021) su pokazali da optimizacija rasporeda može dovesti do sličnih redova veličine poboljšanja efikasnosti, uz istovremeno povećanje profita.

Pri tumačenju ovih rezultata, važno je uočiti i određena ograničenja. Prvo, kvalitet i dostupnost podataka su kritični – ako senzori ne pružaju dovoljno precizne ili pravovremene podatke, AI model može biti slabije tačan, što bi narušilo čitav optimizacioni ciklus. U eksperimentu pokazanom u ovom radu korišteni su pouzdani sintetički podaci, ali u drugim okruženjima to može biti izazov. Drugo, razvijeni AI model je specifičan za posmatrani proces i njegovu tačnost van tog domena treba pažljivo provjeriti. Prije prelaska na potpuno autonomno upravljanje stvarnim pogonom, bilo je neophodno provesti opsežna testiranja kako bi se osiguralo da preporuke neće dovesti do neželjenih posljedica (npr. uska grla ili smanjenje kvaliteta).

## Zaključak

Ovo istraživanje pokazalo je novi integrirani pristup koji kombinira umjetnu inteligenciju i modele optimizacije kako bi se poboljšala energetska učinkovitost u pametnim tvornicama. Razvijen je model strojnog učenja za točno predviđanje potrošnje energije u proizvodnim procesima, a ta prediktivna sposobnost ugrađena je u optimizacijski okvir usmjeren na minimiziranje potrošnje energije bez ugrožavanja proizvodnog protoka. Predložena fuzija umjetne inteligencije i optimizacije pokazala se učinkovitom u stvarnoj studiji slučaja proizvodnje, rezultirajući smanjenjem ukupnih troškova energije od približno 27,5% uz održavanje potrebnog proizvodnog učinka. Ovaj rezultat potvrđuje potencijal inteligentnih sustava vođenih podacima u identificiranju i iskorištavanju prilika za uštedu energije koje nisu vidljive tradicionalnim metodama. Optimizacija, vođena modelom umjetne inteligencije, učinkovito je reprogramirala proizvodne operacije i prilagodila načine rada stroja kako bi se uklonilo nepotrebno rasipanje energije (poput preklapajućih vršnih opterećenja i rada u praznom hodu), čime se izravnila potražnja za energijom i poboljšala ukupna učinkovitost. U usporedbi s osnovnim operacijama, optimizirani plan ne samo da je smanjio potrošnju energije po jedinici proizvoda, već je i smanjio vršnu potražnju za energijom, doprinoseći stabilnijem i potencijalno isplativijem energetskom profilu. Ova poboljšanja postignuta su uz minimalan utjecaj na vrijeme proizvodnje, što naglašava da se značajna povećanja učinkovitosti mogu postići bez žrtvovanja operativnih performansi. Nalazi su u skladu s drugim naprednim implementacijama proizvodnje, gdje su rješenja temeljena na umjetnoj inteligenciji dovela do dvoznamenkastog postotnog smanjenja potrošnje energije. Uspjeh ovog pristupa naglašava važnost integracije umjetne inteligencije u strategije upravljanja energijom u industriji. Korištenjem prediktivne analitike i inteligentne optimizacije, proizvođači mogu prijeći na održivije poslovanje. Pristup pruža sustavan način uključivanja složenih čimbenika iz stvarnog svijeta u donošenje odluka – nešto što bi klasična optimizacija ili samo ljudsko planiranje mogli previdjeti. Nadalje, modularna priroda metodologije znači da se može proširiti i prilagoditi drugim tvorničkim postavkama i ciljevima. Na primjer, uključivanje tokova podataka u stvarnom vremenu moglo bi omogućiti kontinuirano adaptivno upravljanje. Zaključno, fuzija umjetne inteligencije i modela optimizacije nudi snažan skup alata za poboljšanje energetske učinkovitosti u pametnim tvornicama. Doprinosi uštedi troškova i ekološkim koristima, usklađujući proizvodne prakse s ciljevima održivog razvoja. Budući rad istražiti će skaliranje ovog pristupa na složenije proizvodne sustave i njegovu integraciju u svakodnevno tvorničko poslovanje, prelazeći s pilot studija na potpuno autonomnu energetske svjesnu proizvodnju. Rezultati ovog istraživanja pružaju uvjerljiv argument industrijskim stručnjacima za ulaganje u optimizacijske tehnologije temeljene na umjetnoj inteligenciji kao put do pametnijih i zelenijih tvornica.

# FUSION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND OPTIMIZATION MODELS FOR ENHANCING ENERGY EFFICIENCY IN SMART FACTORIES

**Summary:** The increasing demand for sustainable industrial practices paired with high energy costs has prompted manufacturers to seek innovative solutions for optimizing energy consumption without compromising productivity. This paper presents an integrated approach combining artificial intelligence (AI) and mathematical optimization techniques to enhance energy efficiency in smart factory environments. Smart factories offer a unique opportunity to leverage real-time data, connected devices, and intelligent algorithms to dynamically manage and reduce energy usage across various production processes. The proposed methodology involves the use of AI models, particularly machine learning models, for accurate prediction of energy demand, production load, and missing data estimation. These predictive insights serve as inputs to mixed integer optimization model (MILP) that generates energy-efficient operational schedules, machine allocation plans, and load-balancing strategies. By integrating AI-driven forecasting with constraint-based optimization, the system is capable of making automated, data-driven decisions that minimize energy waste and peak demand or optimize carbon credits. Results demonstrate notable improvements, including a 15–30% reduction in energy costs for medium sized smart factory. This work contributes to the growing body of knowledge on digital energy management in industrial settings by illustrating the benefits that combination of AI and optimization frameworks bring.

**Keywords:** optimisation, artificial intelligence, energy, digitalization, smart factories, transition

## Literatura

1. Abadi, M., Liu, C., Zhang, M., Hu, Y., & Xu, Y. (2025). Leveraging AI for energy-efficient manufacturing systems: Review and future perspectives. *Journal of Manufacturing Systems*, 153-177.
2. Asmae, L., Pranita, S., Hugo, P., Joao, N. C., & Kailash, H. (2024). Advancing Manufacturing Energy Efficiency: The Role of AI and Web-Based Tools. 2024 International Conference on Emerging Smart Computing and Informatics (ESCI). Pune: IEEE.
3. Cagno, E., Accordini, D., Thollander, P., Andrei, M., Hasan, A., Pessina, S., & Trianni, A. (2025). Energy management and industry 4.0: Analysis of the enabling effects of digitalization on the implementation of energy management practices. *Applied Energy*.
4. Hubana, T. (2020). Artificial Intelligence based Station Protection Concept for Medium Voltage Microgrids. 2020 19th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH). East Sarajevo: IEEE.
5. Hubana, T., Semic, E., & Lakovic, N. (2021). Machine Learning Based Electrical Load Forecasting Using Decision Tree Algorithms. In S. V. Avdaković, *Advanced Technologies, Systems, and Applications V. IAT 2020. Lecture Notes in Networks and Systems*. Cham: Springer.
6. Narciso, D., & Martins, F. (2020). Application of machine learning tools for energy efficiency in industry: A review. *Energy reports*.
7. Rubio, F., Carlos, L.-A., & Francisco, V. (2021). Multi-objective optimization of costs and energy efficiency associated with autonomous industrial processes for sustainable growth. *Technological Forecasting and Social Change*.
8. Yu, J., Zhang, Y., Yan, Z., & Li, Z. (2025). Novel AI-Driven Multi-objective Optimization Approach for Energy System Design in Industrial Zone. CDRF 2024. *Computational Design and Robotic Fabrication*. . Singapore: Springer



# PRIMJENA VELIKIH JEZIČNIH MODELA U UPRAVLJANJU PAMETNIM GRADOVIMA

dr. sc. Alen Bernardić

Elektroprijenos BiH/FSRE SUM Mostar

**Sažetak:** Generativna umjetna inteligencija (UI) i veliki jezični modeli (Large Language Models, LLM) donose revoluciju u upravljanje pametnim gradovima, omogućavajući naprednu digitalizaciju i održiva rješenja unutar zelene ekonomije. LLM modeli koriste podatke iz različitih izvora – senzora, prijava građana i povijesnih obrazaca – za generiranje prediktivnih i personaliziranih rješenja. Integracijom IoT senzora u spremnike za otpad omogućuje se praćenje razine napunjenosti u stvarnom vremenu, dok LLM analizira prikupljene podatke i predlaže optimalne rute za prikupljanje otpada. Time se smanjuje potrošnja goriva, emisija CO<sub>2</sub> i operativni troškovi. Uz optimizaciju logistike, LLM modeli omogućuju izravnu komunikaciju s građanima putem chatbotova, pružajući personalizirane savjete o recikliranju, edukaciju i brzu reakciju na prijavljene probleme. Ovakav pristup potiče veće sudjelovanje građana i razvoj ekološke svijesti. Implementacija ovih tehnologija zahtijeva pažljivo planiranje, uključujući zaštitu privatnosti, transparentnost algoritama te usklađivanje s lokalnim zakonodavstvom. Primjeri iz gradova poput Barcelone, Singapura i Helsinkija, pokazuju da primjena generativne UI i LLM modela može značajno unaprijediti održivost i kvalitetu života u urbanim sredinama. Bosna i Hercegovina implementacijom ovakvih rješenja ima priliku postati značajnom u digitalizaciji i zelenoj tranziciji. Ključ uspjeha leži u suradnji lokalne uprave, građana i međunarodnih partnera, uz kontinuirano praćenje i prilagodbu sustava novim izazovima i tehnološkim mogućnostima. Generativna UI i LLM modeli predstavljaju temelj za pametnije, učinkovitije i održivije gradove budućnosti. U kontekstu Mostara, predložen je primjer upotrebe LLM modela u vidu ogledne aplikacije za upravljanje otpadom koja se temelji na LLM-u i pokazuje potencijal za optimizaciju procesa, smanjenje troškova, veliku preglednost podataka i uvid u trenutno stanje te povećanje ekološke učinkovitosti.

**Ključne riječi:** umjetna inteligencija, veliki jezični modeli, upravljanje otpadom

## 1. Uvod

Pametni gradovi pojavljuju se kao predvodnici urbanog razvoja, organizirajući učinkovitu urbanizaciju, zaštitu okoliša, unapređenje životnog standarda te iskorištavanje moći naprednih komunikacijskih tehnologija, kako je opisano u Amin Ullah, Guilin Qi, Irfan Ullah, Zafar Ali: The Role of LLMs in Sustainable Smart Cities: Applications, Challenges and Future Directions. Privlačnost urbanih mogućnosti potaknula je migraciju ruralnog stanovništva prema gradovima – trend koji se i dalje nastavlja. Prema podacima Ujedinjenih naroda, do 2050. godine 86 % stanovništva razvijenih i 64 % stanovništva zemalja u razvoju živjet će u urbanim područjima. Globalno, oko 66 % svjetske populacije očekuje se da će tada živjeti u gradovima. Po definiciji - pametni grad je urbanizirano područje koje koristi digitalne tehnologije i inovativna rješenja za poboljšanje kvalitete života građana, učinkovitije upravljanje resursima i održivi razvoj. To uključuje integraciju informacijsko-komunikacijskih tehnologija (ICT), umjetne inteligencije (AI), Interneta stvari (IoT), analize velikih podataka (BD) i drugih naprednih tehnologija u svakodnevne funkcije grada – poput prometa, energije, sigurnosti, upravljanja otpadom i javnih usluga – s ciljem stvaranja učinkovitijeg, održivijeg i



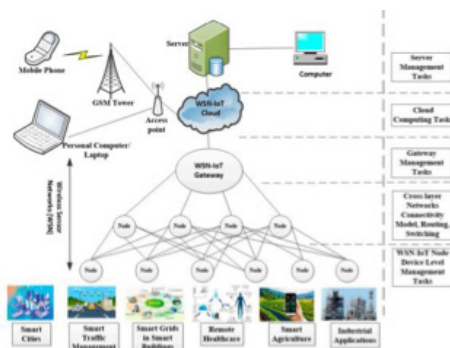
inkluzivnijeg urbanog okruženja.

Ključne značajke pametnog grada:

- Pametna infrastruktura i promet,
- Energetska učinkovitost i održivost,
- Digitalna uprava i otvoreni podaci,
- Sudjelovanje građana i transparentnost,
- Sigurnost i otpornost na krize,
- Personalizirane javne usluge.

Pametni gradovi predstavljaju ključne komponente u stalnim nastojanjima za poboljšanjem životnog standarda u urbanim sredinama, omogućavajući brzo širenje gradova uz učinkovito upravljanje resursima kroz održive i skalabilne inovacije. U tom kontekstu, kako tehnologije u nastajanju poput umjetne inteligencije (AI), Interneta stvari (IoT), analitike velikih podataka, postaju sve prisutnije, primjene u pametnim gradovima suočavaju se s brojnim izazovima – uključujući rizik neovlaštenog otkrivanja povjerljivih i osjetljivih podataka. Integracija novih tehnologija ima ključnu ulogu u održavanju dinamičnog razvoja pametnih gradova. Ovaj rad istražuje značajan potencijal i primjene velikih jezičnih modela (LLM-ova) u optimizaciji procesa u pametnim gradovima. Cilj je istaknuti golemi potencijal ovih tehnologija kao temelja koji tehnički osnažuju realizaciju i napredak pametnih gradova, naglašavajući njihovu važnost u poticanju inovacija unutar ovog transformacijskog urbanog okruženja.

Brzorastući sektor informacijsko-komunikacijske tehnologije (ICT) predstavlja temelj održive budućnosti pametnih gradova. ICT ima potencijal transformirati razna područja – od unapređenja zdravstvene skrbi, optimizacije upravljanja vodom i energijom, modernizacije javnog prijevoza, poboljšanja turističkog doživljaja, pa sve do učinkovitijeg obrazovanja i distribucije hrane. Kao što prikazuje Slika 1, ICT ima ključnu ulogu u razvoju pametnih gradova. Ovo se temelji na pretpostavci da pametni gradovi ovise o ICT infrastrukturi za prikupljanje, obradu i razmjenu podataka. Ipak, sve veća ovisnost o ICT-u i IoT uređajima otvara prostor za sigurnosne prijetnje. IoT uređaji koji djeluju autonomno prikupljaju, obrađuju i razmjenjuju podatke s drugim uređajima, što ih čini ranjivima na kibernetičke prijetnje. Također, suočeni su s problemima poput ubacivanja lažnih podataka i rizicima od prekida rada zbog oslanjanja na oblak (cloud).



Slika 1 - Tehnološka infrastruktura pametnih gradova

Zbog toga su tehnologije poput umjetne inteligencije (AI), strojnog učenja (ML), dubokog učenja (DL), IoT-a, blockchaina, NLP-a i LLM-ova postale ključni alati za standardiziran i učinkovit rad pametnih gradova. AI koristi napredne algoritme koji omogućuju strojevima da oponašaju ljudsku inteligenciju – uče iz podataka, prepoznaju obrasce i donose odluke. Strojno učenje omogućava sustavima da sami uče bez eksplicitnog programiranja. DL koristi višeslojne neuronske mreže za prepoznavanje govora, slike i kompleksnih uzoraka. FL omogućuje treniranje modela na decentraliziranim podacima bez njihove razmjene, čime se osigurava privatnost. NLP omogućava računalima da razumiju, interpretiraju i generiraju ljudski jezik. Uz ove tehnologije, gradski službenici i planeri mogu donositi pravovremene i precizne odluke koje poboljšavaju kvalitetu života građana. Sinergija između tehnologije i urbane uprave stvara učinkovitije, prilagodljivije i na građane usmjerene urbane sustave, gdje AI, LLM-ovi i ostale napredne tehnologije igraju ključne uloge u oblikovanju pametnih gradova budućnosti. Unutar domene pametnih gradova, tehnološki napredak donosi mogućnosti razvoja, ali i izazove.

## **2. Veliki jezični modeli u upravljanju pametnih gradova**

Zbog složenosti AI tehnologija potrebna je sveobuhvatna analiza koja prepoznaje ključne primjene, analizira izazove i predlaže smjerove razvoja. Ovaj pregledni rad ima za cilj pružiti cjelovit uvid u prilike i prepreke vezane uz primjenu velikih jezičnih modela (Large Language Models, LLM) u kontekstu održivih pametnih gradova i umjetne inteligencije te ponuditi putokaz za inovativna rješenja. Također i naglasiti potrebu za iskorištavanjem snage AI-ja i LLM-a kako bi se optimizirale gradske operacije, poboljšala učinkovitost resursa i unaprijedila kvaliteta života u gradovima. Praktična aplikacija sačinjena uz pomoć LLM-a koju pokreće open-source LLM pokazni je primjer mogućnosti tehnologije velikih jezičnih modela. Zahvaljujući ovakvoj integraciji, pametni grad postaje dinamičan ekosustav u kojem se tehnologija i ljudski fokus spajaju, najavljujući budućnost u kojoj su urbani prostori ne samo “pametni” već i usklađeni s potrebama svojih stanovnika. Veliki jezični modeli (LLM-ovi) široko se koriste za poboljšanje kvalitete donošenja odluka u raznim područjima (Eigner, E.; Händler, T. Determinants of LLM-assisted decision-making). Primjenjuju se u zdravstvu, arhitekturi, logistici (Xu, Z.; Guo, L.; Zhou, S.; Song, R.; Niu, K. Enterprise supply chain risk management and decision support driven by large language models) i drugim sektorima. Postoje znanstveni radovi koji tvrde kako su sustavi temeljeni na LLM-ovima učinkovitiji od “klasičnih” alata za podršku odlučivanju (Handler, A.; Larsen, K.R.; Hackathorn, R. Large language models present new questions for decision support).

### **2.1. Što je veliki jezični model LLM?**

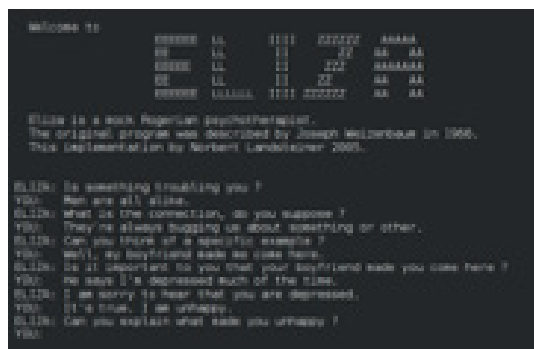
Veliki jezični model LLM je AI algoritam koji je treniran na opsežnim skupovima podataka kako bi predvidio sljedeće riječi i rečenice na temelju prethodnog konteksta. Model uči obrasce u podacima i s vremenom postaje bolji u razumijevanju i generiranju jezika. LLM-ovi se treniraju pomoću tehnika dubokog učenja, što im omogućuje prepoznavanje složenih obrazaca u jeziku. Što više podataka model koristi za treniranje, to postaje precizniji (Pere Matra: Large Language Models Projects: Apply and Implement Strategies for Large Language Models).

## 2.2. Kako funkcioniraju Veliki jezični modeli (LLM)?

Veliki jezični modeli (LLM) su napredni AI sustavi koji se treniraju na ogromnim količinama tekstualnih podataka kako bi razumjeli, generirali i predviđali novi sadržaj. Ovi modeli temelje se na dubokom učenju i imaju sposobnost davanja odgovora nalik ljudskim. Rad LLM-ova možemo podijeliti u nekoliko ključnih komponenti: veliki skupovi podataka za trening: LLM-ovi zahtijevaju ogromne tekstualne korpuse za treniranje. To može biti od stotina gigabajta do terabajta teksta koji dolazi iz izvora poput Common Crawl, Wikipedije, novinskih članaka, knjiga i internetskih sadržaja. Arhitektura neuronskih mreža: model je pokretan neuronskim mrežama, koje imaju više slojeva koji mapiraju složene odnose između riječi, omogućavajući modelu da nauči duboke veze između elemenata jezika. Samostalno učenje: LLM-ovi se treniraju pomoću samostalnog učenja, gdje model predviđa nedostajuće ili zamaskirane riječi unutar trening podataka. Ovo omogućava modelu da nauči jezične obrasce bez potrebe za ljudski označenim podacima.

## 2.3. Primjene LLM-ova

Jedna od najčešćih primjena LLM-ova je u AI chatovima koji mogu generirati tekst nalik ljudskom. Kako tehnologija napreduje, pojavljuju se sve više aplikacija, uključujući automatsko generiranje sadržaja, jezično prevođenje pa čak i personalizirana korisnička podrška. Preko API-ja (Application Programming Interface, API) integriraju se u aplikacije različitog spektra čija se primjena svakodnevno povećava. LLM-ovi su sofisticirani AI sustavi koji uče iz ogromnih količina tekstualnih podataka. Kroz neuronske mreže, samostalno učenje i prijenosno učenje, mogu generirati kontekstualno



Slika 2 - Prvi jezični model ELIZA

S vremenom, trenirani na velikim setovima podataka, veliki jezični modeli počeli su ne samo spoznavati jezične obrasce već i temeljnu strukturu znanja različitih oblasti (Alen Bernadić: Leveraging Large Language Models for Analysis and Control of Power Transmission Networks), što ih čini odličnim za primjenu u sustavima za pomoć pri odlučivanju (enhance of decision-making) u raznim kritičnim infrastrukturnim aplikacijama, jasno i unutar pametnih gradova.

## 2.4. Primjene velikih jezičnih modela u pametnim gradovima

Poznati su pilot projekti i praktična primjene LLM-ova u upravljanju pametnim gradovima (AI-Powered Smart Cities: Transforming Urban Living with LLM (web), Smart Cities and AI: Shaping the Future of Urban Living (web), AI in Smart Cities: Building

Intelligent and Connected Urban Environments (web)). Neke od primjena su:

- Urbanističko planiranje: LLM može analizirati povijesne podatke o populaciji, prometu, potrebama za medicinskom skrbi i drugim faktorima, omogućavajući preciznije planiranje i predviđanje trendova.
- Upravljanje industrijskim parkovima: LLM može analizirati podatke o poduzećima, industrijskim trendovima, broju zaposlenih i drugim parametrima, što omogućuje predviđanje energetske potrebe, broja vozila i drugih kritičnih faktora za bolje upravljanje.
- Energetska učinkovitost: korištenjem LLM-a i paralelnog računarstva moguće je optimizirati energetske sustave, uzimajući u obzir faktore poput vremenskih uvjeta i industrijskih trendova, čime se povećava točnost i učinkovitost.
- Urbanistički dizajn: LLM može pomoći dizajnerima u stvaranju novih ideja za gradsku infrastrukturu, dok napredna grafička renderiranja omogućuju brže i realističnije dizajniranje.
- Pametne usluge za građane: roboti obučeni s LLM-ovima mogu pružiti bolje korisničke usluge u gradskoj upravi, povećavajući zadovoljstvo korisnika kroz točniji odgovor na njihove potrebe.
- Urbana sigurnost: LLM arhitekture omogućuju dublju analizu povijesnih i okolišnih podataka, bržu i precizniju predikciju sigurnosnih incidenata te analizu videonadzora za bolju zaštitu građana.
- Transport: LLM-ovi mogu pomoći u preciznijem planiranju prometa, optimizaciji ruta i upravljanju semaforima za smanjenje gužvi, uštede vremena i povećanje zadovoljstva građana.
- Zdravlje i okoliš: korištenjem LLM-a moguće je poboljšati prognoze klimatskih uvjeta, emisija ugljikovog dioksida i drugih okolišnih faktora, što doprinosi zdravijem životnom okruženju.

## 2.5. Izazovi u primjeni LLM-ova u infrastrukturnim aplikacijama

Implementacija LLM-a u pametnim gradovima suočava se s izazovima poput potrebnih računalnih resursa, energetske potrošnje, pristupa velikim količinama podataka, točnosti podataka i sigurnosti. Računalni resursi, osobito oni s niskom potrošnjom energije i visokom učinkovitošću, postat će ključni za napredak u ovoj oblasti. Međutim, postoje ograničenja koja smanjuju praktičnu primjenjivost LLM-ova. Značajan problem predstavljaju halucinacije (Perković, G.; Drobnjak, A.; Botički, I. Hallucinations in LLMs: Understanding and Addressing Challenges), koje izgledaju uvjerljivo, ali često dovode do netočnih odluka. Također, u većini slučajeva LLM-ovi bi trebali surađivati s postojećim bazama znanja i alatima kako bi dali točne odgovore. To se može postići dokumentno utemeljenom Retrieval Augmentation Generation (RAG) metodom (Liu, J.; Lin, J.; Liu, Y. How Much Can RAG Help the Reasoning of LLM?). Koncept RAG sustava je dinamičko uključivanje dodatnog konteksta prilikom odgovora na korisnički upit, prilagođeno specifičnom sadržaju korisničke poruke ili pitanja.

## 3. Primjer LLM aplikacije - pametno upravljanje otpadom grada Mostara

Upravljanje otpadom jedna je od interesantnih oblasti u kojoj se mogu koristiti LLM modeli (How AI Is Improving Waste Management, web) i temelj samoodrživog razvoja suvremenog društva koje u naravi stvara velike količine raznog otpada (Pandey, Singh Suthar, Kassian, Amesho: Solid Waste Management: A Roadmap for Sustainable Environmental Practices and Circular Economy). Kombinacijom više jezičnih modela po

specijalizacijama sačinjena je pokazna aplikacija Pametno upravljanje otpadom grada Mostara.

### 3.1. Odabir i implementacija LLM-a (Velikog jezičnog modela)

Razvoj aplikacija korištenjem umjetne inteligencije (AI) i velikih jezičnih modela (LLM-ova) postao je uobičajen u znanstvenoj zajednici. Aplikacija je sačinjena Gemini 2.5 (Google) modelom dok je implementirani model u izvršenju koda Llama3, vrhunski jezični model koji je razvila tvrtka Meta AI. Llama3 model nudi izvrsnu ravnotežu između performansi i učinkovitosti, što ga čini vrlo pogodnim za primjenu u upravljanju infrastrukturnim sustavima općenito. Za lokalno pokretanje odabranog modela na osobnom računalu koristi se Ollama, open-source alat za lokalno izvođenje Llama3 modela, koji pruža fleksibilnost i kontrolu nad implementacijom modela. Ollama je platforma osmišljena kako bi pojednostavila proces lokalnog pokretanja i implementacije velikih jezičnih modela (LLM-ova). Korisnicima omogućuje preuzimanje i izvođenje različitih open-source LLM modela na vlastitim računalima, pružajući fleksibilnije i sigurnije okruženje za interakciju s AI modelima. Glavni fokus Ollame je omogućavanje korištenja AI modela izravno na osobnim ili korporativnim sustavima, bez potrebe za stalnom povezanošću s oblakom ili internetom općenito, što je kvaliteta u kritičnim infrastrukturnim primjenama. Ključne značajke Ollame uključuju:

- Lokalno izvođenje modela: jedna od osnovnih značajki Ollame je mogućnost lokalnog izvođenja AI modela na korisničkim uređajima.

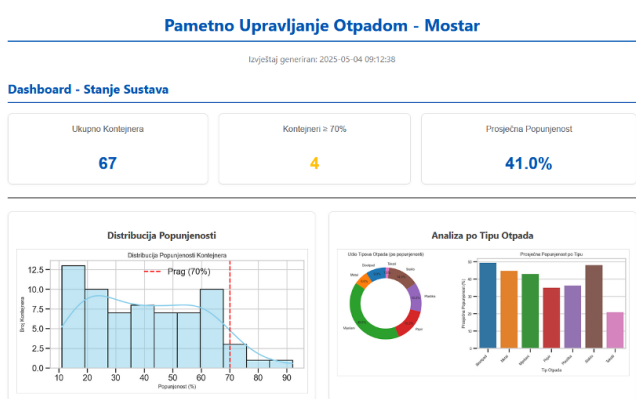
- Podrška za više modela: Ollama podržava razne vrste velikih jezičnih modela (LLM-ova) koji mogu izvršavati zadatke poput generiranja teksta, sažimanja i slično. Njena fleksibilna arhitektura omogućuje korisnicima jednostavnu integraciju i prebacivanje između različitih modela.

- Isplativost: lokalno izvođenje LLM modela može dovesti do značajnih ušteda u usporedbi s rješenjima temeljenima na oblaku ili komercijalnim rješenjima koja često uključuju visoke troškove za računalne resurse i pohranu.

- Mogućnost rada bez interneta: za primjene u kojima internetska povezanost nije jamčena, kao što su udaljena područja ili visoko sigurnosna okruženja (što je često slučaj kod velikih elektrana), sposobnost Ollame da radi offline izuzetno je vrijedna. Temeljna inovacija u ovom radu je integracija LLaMA-3 modela putem lokalnog Ollama poslužitelja za AI pokretane preporuke u optimizaciji upravljanja otpadom. Ollama je lokalni AI poslužitelj (koji se izvršava na adresi <http://localhost:11434>) koji je host velikim jezičnim modelima lokalno na PC računalu. U ovoj implementaciji koristi se LLaMA-3 model – open-source LLM tvrtke Meta, posebno prilagođen za tehnička područja. Poslužitelj djeluje kao AI “suvozač” za operatore komunalnih službi, obrađujući podatke u stvarnom vremenu putem svog API krajnje točke (/api/generate).

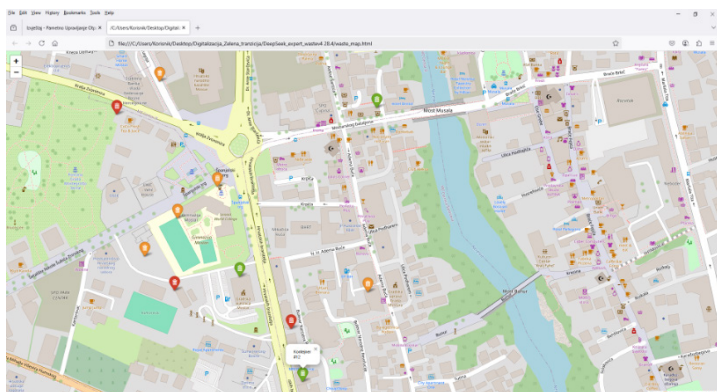
### 3.2. Opis aplikacije

Aplikacija optimizira upravljanje otpadom uz (simulirano) očitavanje senzora i uređaja IoT koji za svaki kontejner ili vozilo prenose real-time podatke u aplikaciju. Nakon generiranja podataka o sensorima i IoT podataka s terena, model formira web-stranicu upravljačke ploče s generiranim izvješćima, statistikama, interaktivnom mapom, prijedlogom optimalnog odvoza i drugim preporukama generiranim od strane LLM agenta. Na Slici 3 prikazan je izgled pregledne ploče aplikacije (dashboard).



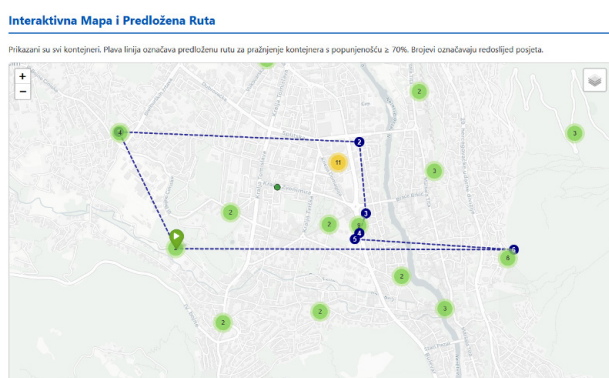
Slika 3 - Pregledna ploča (dashboard) aplikacije

Na mapi grada Mostara (koja je također kreirana LLM-om!), Python skripta vizualizira raspored kontejnera za čvrsti otpad s prikazom trenutnog stanja (popunjenost kontejnera, komentar korisnika, servisne informacije senzora, Slika 4).



Slika 4 - Generirana mapa grada Mostara s ucrtanim pozicijama kontejnera

Stanja kontejnera se svakim izvođenjem mijenjaju kako bi se testirao Llama3 AI agent koji radi dispečing raspoloživih vozila i optimizira putanju za skupljanje otpada, čime se ostvaruju značajne uštede (Slika 5).



Slika 5 - Prijedlog optimalne putanje skupljanja otpada

Llama3 agent na ekranu (dashboard) web-aplikacije kreirane iznad Python skripta daje upute za optimiziranje ostalih segmenata upravljanja otpadom skupa sa statističkim podacima i analitikom (Slika 6).

### AI Analiza i Preporuke (Llama3)

**\*\*Operativni izvještaj\*\***

**\*\*Sažetak trenutnog stanja:\*\***

Aktualno se nalazimo u kritičnom stanju s 4 kontejnera za pražnjenje ( $\geq 70\%$ ), što čini 6% ukupne količine kontejnera. Prosječna popunjenost svih kontejnera iznosi 41,0%.

**\*\*Kratki komentar o hitnosti i efikasnosti predložene rute:\*\***

Predložena ruta za pražnjenje pokriva 4 kritične kontejnera s udaljenošću od 4,49 km, što je relativno brzo i učinkovito rješenje. Međutim, istraživanje dodatnih ruta bi moglo povećati efikasnost brane upravljanja otpadom u daljnjem razvoju.

**\*\*Operativne preporuke za današnji dan:\*\***

1. **\*\*Prioritetno vozilo:\*\*** Vozilo 101, opremljeno kontejnerima za pražnjenje, treba poslati na rute s najvećom potrebom za pražnjenjem.
2. **\*\*Pazljivo provođenje inspekcije:\*\*** Provjeriti problematične lokacije C046, C022 i C004 u skladu s predloženom rutom, kako bi se osigurao efektni prijevoz otpada.

Slika 6 - Preporučene akcije LLM agenta nakon očitavanja senzora trenutnog stanja sustava

Predočena aplikacija pokaznog je karaktera urađena na simuliranim i sintetiziranim podacima. Ono što je potrebno potcrtati je velika efikasnost velikih jezičnih modela koji, ispravno korišteni, mogu višestruko povećati efikasnost upravljačkih ali i operativnih struktura u velikom spektru poslova. Velike količine podataka sa senzora, IoT, nadzornih kamera grada, LLM modeli mogu obrađivati s ciljem povećanja efikasnosti rada. Za praktičnu primjenu potrebna je kontekstualizacija i specijalizacija velikih jezičnih modela (fine-tuning, RAG) kako bi se “specijalizirali” po djelatnostima. Već pokazni primjer temeljen na poznatom modelu LLama3 treniranom na višebilionskim tokenima pokazuje koliki su potencijali i efikasnost LLM-a u infrastrukturnim primjenama u funkciji digitalizacije tehnologija koje imaju za cilj povećanje ekološke efikasnosti.

## Zaključak

Pametni gradovi pokretani umjetnom inteligencijom i LLM-ovima predstavljaju budućnost urbanog života – budućnost u kojoj tehnologija nije samo sredstvo praktičnosti, već pokretač odgovornijeg i održivog urbanog sustava. Iskorištavanjem moći LLM-ova, gradovi mogu bolje razumjeti i zadovoljiti potrebe svojih građana, otvarajući put prema pametnijem i povezanijem svijetu. U konačnici, uz kontinuirani razvoj AI-a, pametni gradovi bit će u mogućnosti implementirati još efikasnije i preciznije primjene, što će omogućiti pametniji i održiviji urbani život.



## APPLICATION OF LARGE LANGUAGE MODELS IN SMART CITY MANAGEMENT

**Summary:** Generative Artificial Intelligence (UI) and Large Language Models (LLM) are revolutionizing the management of smart cities, enabling advanced digitization and sustainable solutions within the green economy. LLM models use data from various sources – sensors, citizen reports and historical patterns – to generate predictive and personalized solutions. By integrating IoT sensors into waste containers, it is possible to monitor the filling level in real time, while LLM analyzes the collected data and suggests optimal routes for waste collection. This reduces fuel consumption, CO<sub>2</sub> emissions and operating costs. In addition to optimizing logistics, LLM models enable direct communication with citizens via chatbots, providing personalized recycling advice, education and quick response to reported issues. This approach encourages greater citizen participation and the development of environmental awareness. Implementation of these technologies requires careful planning, including privacy protection, algorithm transparency, and compliance with local legislation. Examples from cities like Barcelona, Singapore and Helsinki show that the application of generative UI and LLM models can significantly improve sustainability and quality of life in urban environments. By implementing such solutions, Bosnia and Herzegovina has the opportunity to become significant in digitalization and green transition. The key to success lies in the cooperation of local government, citizens and international partners, with continuous monitoring and adaptation of the system to new challenges and technological possibilities. Generative AI and LLM models represent the foundation for smarter, more efficient and sustainable cities of the future. In the context of Mostar, an example of the use of the LLM model is presented in the form of a sample application for waste management based on LLM and shows the potential for process optimization, cost reduction, high data transparency and insight into the current situation, and increased environmental efficiency.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Large Language Models (LLM), Waste management upravljanje otpadom

### Literatura

1. Amin Ullah, Guilin Qi, Irfan Ullah, Zafar Ali: The Role of LLMs in Sustainable Smart Cities: Applications, Challenges, and Future Directions; <https://arxiv.org/abs/2402.14596>
2. Pere Matra: Large Language Models Projects: Apply and Implement Strategies for Large Language Models, ISBN: 9798868805158, Apress, 2024.
3. Alen Bernadić: Leveraging Large Language Models for Analysis and Control of Power Transmission Networks: Case Studies with the Llama3 LLM Model and Pandapower, CIGRE South East European Regional Council, 5th Conference 2025 in Sarajevo, Bosnia and Herzegovina.
4. Eigner, E.; Händler, T. Determinants of LLM-assisted decision-making. arXiv 2024, arXiv:2402.17385.
5. Xu, Z.; Guo, L.; Zhou, S.; Song, R.; Niu, K. Enterprise supply chain risk management and decision support driven by large language models. Appl. Sci. Eng. J. Adv. Res. 2024, 3, 1–7.
6. Handler, A.; Larsen, K.R.; Hackathorn, R. Large language models present new questions for decision support. Int. J. Inf. Manag. 2024, 79, 102811.
7. Perković, G.; Drobnjak, A.; Botički, I. Hallucinations in LLMs: Understanding and addressing challenges. In Proceedings of the 2024 47th MIPRO ICT and Electronics Convention (MIPRO), Opatija, Croatia, 20–24 May 2024; pp. 2084–2088.

8. Liu, J.; Lin, J.; Liu, Y. How Much Can RAG Help the Reasoning of LLM? arXiv 2024, arXiv:2410.02338.
9. AI-Powered Smart Cities: Transforming Urban Living with LLM: <https://nonsmartcity.medium.com/ai-powered-smart-cities-transforming-urban-living-with-llm-9230b154b425>
10. Smart Cities and AI: Shaping the Future of Urban Living: [https://medium.com/@marketing\\_75744/smart-cities-and-ai-shaping-the-future-of-urban-living-b5987b323b90](https://medium.com/@marketing_75744/smart-cities-and-ai-shaping-the-future-of-urban-living-b5987b323b90)
11. AI in Smart Cities: Building Intelligent and Connected Urban Environments: <https://medium.com/coinmonks/ai-in-smart-cities-building-intelligent-and-connected-urban-environments-1a041b0d911d>
12. How AI Is Improving Waste Management, <https://vivatechnology.com/news/how-ai-is-improving-waste-management>
13. Pandey, Singh Suthar, Kassian, Amesho: Solid Waste Management: A Roadmap for Sustainable Environmental Practices and Circular Economy, ISBN 978-3-031-78419-4, Springer 2025

# **PRVA ELEKTRIČNA PEĆ S ELEKTRIČNIM SISTEMOM DODATNOG SAGORIJEVANJA U MANN+HUMMEL BA**

**mag. el. Azelma Demirović**  
MANN+HUMMEL BA

**dipl. ing. el. Amir Kurtić**  
MANN+HUMMEL BA

**Sažetak:** Energetska efikasnost u industriji se vrednuje specifičnom potrošnjom energije po jedinici mase proizvoda ili po jedinici mase koja je cilj konkretne tehnološke operacije. Povećanje energetske efikasnosti u industriji dovodi do smanjenja potrošnje energije, a ujedno i do smanjenja negativnog utjecaja tehnoloških i energetskih postrojenja na životnu sredinu. Nizom odgovarajućih mjera, koje uključuju i savremena tehnička rješenja, može se utjecati na ovo smanjenje, a time i poboljšanje energetske efikasnosti. S obzirom na zahtjeve u autoindustriji vezano za CO<sub>2</sub> neutralnost i kontinuiranu primjenu energetski efikasnih mjera, implementacija je neophodna. Definirane mjere i akcioni plan u fabrici filtera MANN+HUMMEL BA će biti predstavljene u ovom radu. Naglasak će biti stavljen na prvu električnu peć s električnim sistemom dodatnog sagorijevanja. Pečenje filter-papira je osnovni proces pri proizvodnji filtera. Prilikom pečenja papira (najčešće celulozni papiri uz velik udio smole i vlage) nastaju produkti sagorijevanja. U ovoj modernoj peći se produkti sagorijevanja dodatno izlažu visokim temperaturama u afterburner sistemu kako bi razina otpadnih/štetnih čestica koja se ispušta u vazduh bila u zakonskim granicama, a sve s ciljem zaštite životne sredine. U radu će biti predstavljeno testiranje procesa pečenja, analize mjerenja ispušnih gasova, kao i sam koncept rada peći. Umjesto klasičnih plinskih gorionika za dodatno sagorijevanje otpadnih čestica, ovdje se koriste električni grijači. Bit će predstavljena uporedna analiza tehnoloških parametara peći i rezultata ispušnih gasova, tipovi uštede električne energije kroz optimizaciju peći, kao i uporedna analiza rada električne i plinske peći.

**Glavne riječi:** energetska efikasnost, filter papir, električna peć, ispušni gasovi, optimizacija

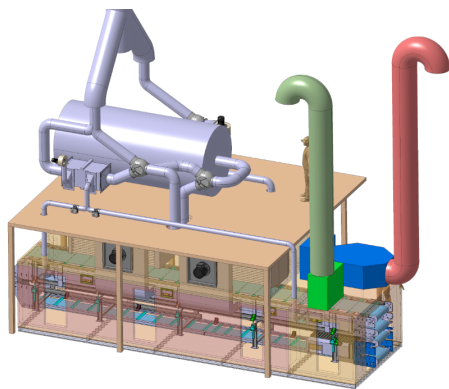
## **1. Uvod**

Energetska efikasnost predstavlja jedan od ključnih faktora u savremenom razvoju automobilske industrije, naročito u kontekstu rastuće potrebe za smanjenjem potrošnje fosilnih goriva i emisije štetnih gasova. Industrijski sektor je jedan od najvećih potrošača energije na globalnom nivou, što ga čini i značajnim izvorom emisija gasova s efektom staklene bašte. Tradicionalni industrijski procesi, iako često dobro razvijeni i stabilni, u mnogim slučajevima ne koriste raspoloživu energiju na optimalan način. Upravo iz tog razloga uvođenje inovacija postaje neophodno kako bi se postigla viša efikasnost, smanjili negativni utjecaji na životnu sredinu i obezbijedila dugoročna održivost proizvodnih sistema. Inovacije omogućavaju razvoj i primjenu novih tehnologija, materijala i metoda koji značajno poboljšavaju iskorištenje energije. Kroz digitalizaciju proizvodnih procesa, korištenje vještačke inteligencije, automatizaciju i Internet stvari (IoT), industrija može preciznije upravljati potrošnjom energije i smanjiti gubitke.

Industrijski sektor je jedan od najvećih potrošača energije, što ga čini ključnim za primjenu mjera energetske efikasnosti. Povećanje efikasnosti ne samo da smanjuje troškove proizvodnje, već i doprinosi smanjenju emisije gasova s efektom staklene bašte i poboljšanju ukupne održivosti poslovanja. Mjere u našoj kompaniji smo podijelili na tehničke, organizacione i strateške. Već u 2011. godini smo počeli s nabavkom opreme koja radi isključivo na električnu energiju. Modernizacija opreme i mašina je bila ključna kroz godine pa sve do danas, te zamjena starih, energetski neefikasnih uređaja novim koji troše manje energije (motori visoke efikasnosti, ugradnja frekventnih pretvarača, LED rasvjeta). Zatim izolacija i toplotna efikasnost, projekti s ugradnjom sistema za iskorištenje otpadne toplote za grijanje ili druge proizvodne procese. Fokus prethodne i tekuće godine je na upravljanju komprimiranim zrakom (nabavka dva nova kompresora, sušača zraka, kao i redovna detekcija curenje zraka). Uvođenje sistema za nadzor i upravljanje potrošnjom energije (EMS – Energy Management Systems) radi optimizacije u realnom vremenu je završeno u 2025. godini, što će u toku rada biti detaljno predstavljeno na sistemu rada električne peći. Pored tehničkih, organizacione mjere su bile: edukacija zaposlenih, obuka radnika za efikasno korištenje opreme i svijest o energetske potrošnji, kao i redovno održavanje opreme, dok su strateške mjere bile: implementacija ISO 50001 standarda, investicije u nove mašine s novom tehnologijom, kao i investicije u obnovljive izvore energije (instalacija solarne elektrane na krovovima kompanije, čiji glavni projekat je završen).

## 2. Peć za pečenje filter medija

U autoindustriji pri proizvodnji filtera peći za pečenje filter-papira igraju ključnu ulogu. One su ujedno i energetski najintenzivniji dio proizvodnje. Tradicionalne peći za pečenje papira često su energetski neefikasne i mogu doprinijeti visokim operativnim troškovima i negativnom utjecaju na životnu sredinu. Uvođenje inovacija i novih tehnologija u peći za pečenje filter-papira ne samo da poboljšavaju energetske efikasnost, već i doprinose održivosti i konkurentnosti industrije.



Slika 1 - Primjer jedne moderne peći

Neophodni zahtjevi da bi ovakva peć prikazana na slici iznad bila dio strategije održivog razvoja su: niska potrošnja energije, zakonski zahtjevi za ispušne gasove, čist zrak u zatvorenom prostoru, nema odavanja toplote u okolni prostor peći, kao i da nema rizika od povreda na vrućim površinama. Za proizvodni proces je veoma bitno da filter-medij bude pečen (potpuno stvrdnjavanje filter-papira), da nema efekata kondenzacije i

adekvatno hlađenje filter-medija pri izlasku iz peći.

Pečen filter-papir je potreban zbog mehaničke stabilizacije samog procesa pregovanja tog papira. Pri pečenju dolazi do stvrdnjavanja polimerizacijom (egzotermna reakcija) te se gasovite komponente oslobađaju iz filter-medija. To su ugljične komponente: formaldehid, fenol, metanol i dušična komponenta - amonijak. Sistemom termičkog prečišćavanja ispušnih gasova, ovi zagađivači se razgrađuju:

1. Ugljična jedinjenja se razgrađuju na vodu ( $H_2O$ ) i ugljični dioksid ( $CO_2$ ).
2. Azotno jedinjenje se razgrađuje na vodu ( $H_2O$ ) i dušik ( $N_2$ ).

Zagađivači nakon prečišćavanja ispušnih gasova (stvarno sagorijevanje):

| Granične vrijednosti ispušnih gasova prema "TA Luft" |                       |    |                 |
|------------------------------------------------------|-----------------------|----|-----------------|
| Totalni C                                            | 20 mg/m <sup>3</sup>  | OK | TAB = 630-655°C |
| NOx                                                  | 250 mg/m <sup>3</sup> | OK | TAB = 655 °C    |
| CO                                                   | 100 mg/m <sup>3</sup> | OK | TAB = 655 °C    |

Tabela 1 - Prikaz graničnih vrijednosti ispušnih gasova

## 2. Prva električna peć s električnim sistemom dodatnog sagorijevanja ispušnih gasova

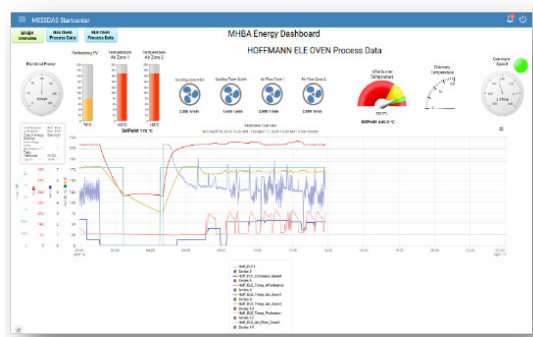
Specifičnost peći s metodom električnog zagrijavanja i sistemom termičkog dodatnog pročišćavanja ispušnih gasova je u tome što se radi o indirektnom zagrijavanju unutrašnjosti peći a time i pečenja filter-medija. Postrojenje peći se sastoji od dvije odvojene, kontrolirane zone zagrijavanja, zone hlađenja i sistema za dodatno sagorijevanje (TAB – Thermal after Burner) koji ima mogućnost za povrat toplote. Vrući zrak (približno 450°C) iz TAB struji kroz snop cijevi za izmjenu toplote s posebnim zaklopcima otpornim na toplotu koji se nalazi unutar izoliranog kućišta peći za pečenje. Cirkulirajući zrak se održava u pokretu snažnim radialnim ventilatorom čija se brzina reguliše frekventnim pretvaračem. Temperatura sušenja-grijanja se može podesiti prema slučaju upotrebe (80°C – 200°C), Temperatura TAB-a je do 700°C, dok je instalisana snaga cijelog sistema 400 kW. Sistem je dizajniran na način da se električni registar grijanja može ukloniti, a plinski gorionik ugraditi na njegovo mjesto. Ovo je prva peć s ovakvim sistemom TAB (električni registar grijanja). Do sada su sve peći rađene s plinskim gorionikom.



Slika 2 - Električna peć (lijevo), TAB s električnim grijačima (desno)

Na Slici 2 lijevo je prikazano postrojenje peći koje se sastoji od predgrijavanje papira, prege (pregovanje papira) i same peći. Peć se sastoji od dvije odvojene, kontrolirane zone zagrijavanja i zone hlađenja, dok je na platformi iznad smješten sistem za dodatno sagorijavanje (TAB – Thermal after Burner) i elektroormar (energetski i upravljački dio). Na Slici 2 desno je dat prikaz električnog registra grijanja TAB sistem (u kojem se nalazi 100 električnih grijača).

U TAB sistemu se odvajaju velike koncentracije produkata sagorijevanja celuloznog filter-papira, gdje se na temperaturama do 700°C znatno smanjuje njihova koncentracija. U Tabeli 1 je dat prikaz graničnih vrijednosti tih produkata sagorijevanja. Pri testiranju rada peći, zavisno od podešenih parametara peći, vrijednosti ispušnih gasova su u granicama, pri različitim temperaturama TAB sistema. Pored temperature pečenja papira, ključni faktor je temperatura TAB, kojom utječemo na koncentraciju ispušnih gasova. Prikaz svih procesnih i parametara potrošnje električne energije je dat u MESSDAS sistemu. Kroz implementaciju EMS-a, moguće je ne samo pratiti potrošnju energije u realnom vremenu, već i donositi informisane odluke za optimizaciju potrošnje i smanjenje negativnog utjecaja na životnu sredinu. Implementacija obuhvata nekoliko ključnih faza uključujući postavljanje odgovarajućih uređaja za prikupljanje podataka, integraciju s odgovarajućim softverskim alatom za analizu i vizuelizaciju podataka, kao i usklađivanje sa strategijama i politikama energetske efikasnosti. Na sljedećoj slici je dat prikaz iz EMS sistema.



Slika 3 -Prikaz iz EMS sistema

Analiza rada peći kroz ovaj sistem je doprinijela rezultatima poboljšanja. Uočeni su nepotrebni gubici toplote, nedovoljno zadržavanje toplog zraka u TAB sistemu, kao i veća potrošnja električne energije. Stoga je odlučeno uraditi tehničku izmjenu na peći kako bi se optimizirao njen rad.

### 3. Optimizacija električne peći

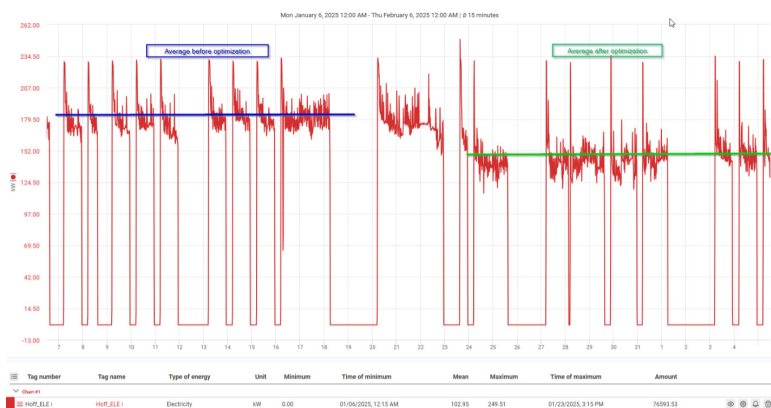
Tehnička izmjena na peći u cilju optimizacije njenog rada je podrazumijevala ugradnju turbulatora u TAB sistem. Turbulatori su mehanički uređaji, obično izrađeni od metala, koji se postavljaju unutar cijevi kroz koje prolaze dimni gasovi u peći ili kotlu. Njihova glavna funkcija je da poremete (turbuliraju) laminarni tok dimnih gasova, povećavajući turbulentnost i time poboljšavajući prenos toplote s vrelih gasova na zidove cijevi. Turbulatori u peći predstavljaju jednostavan, ali efikasan način za povećanje energetske efikasnosti, a ujedno i unapređuju prenos toplote i omogućavaju ravnomjernije zagrijavanje procesa, čime se smanjuje potrošnja goriva i emisija štetnih gasova. [1]

Stoga je izvršena ugradnja 90 komada spiralnih turbulatora, gdje oblik spirale ometa tok kretanja toplog zraka. Pored ugradnje turbulatora, urađene su i modifikacije PLC programa peći. Podešeno je PID upravljanje temperature u TAB sistemu. Na sljedećoj slici je dat prikaz ugrađenih turbulatora.



Slika 4 -Turbulatori (lijevo), ugradnja turbulatora u TAB (desno)

Ovom optimizacijom su ostvareni sljedeći rezultati: ušteda energije, temperatura TAB-a se sada može varijabilno podesiti i preko 700°C, bolje vrijednosti ispušnih gasova, smanjenje površinske temperature grejnih krugova (pozitivan učinak na vijek trajanja), kao i usputni remont TAB sistema, jer se prilikom ugradnje turbulatora pregledao kompletan TAB sistem.



Slika 5 – Potrošnja električne energije peći prije i poslije ugradnje turbulatora

Koristeći EMS sistem urađena je analiza potrošnje električne energije prije i poslije ugradnje turbulatora. Instalacija turbulatora je završena krajem mjeseca januara, stoga se ušteda može pratiti od mjeseca februara. Na Slici 5 se može vidjeti na dijagramu iz EMS sistema da je prosječna potrošnja električne energije prije ugradnje bila 180 kW, dok je prosječna potrošnja električne energije nakon ugradnje 147 kW. Ušteda energije 33 kW uz mjesečno vrijeme rada peći od 310 h, mjesečna ušteda u električnoj energiji iznosi 10.230 kWh.

Mjesec februar, mart, april i maj peć je radila samo u jednoj smjeni, pa ušteda iznosi 40.920 kWh. Mjesec juni, juli, august je planiran rad u dvije smjene, pa ušteda iznosi 59.400 kWh. Mjesec septembar, oktobar, novembar i decembar je planiran rad u dvije smjene i instalacija novog sistema automatskog nastavljanja rolni papira, stoga ušteda



iznosi 120.000 kWh.

Procjenjena ušteda u električnoj energiji na godišnjem nivou iznosi 220.320 kWh.

S obzirom da se ugradnjom turbulatora prenosi toplota na unutrašnje zidove komore, to znači da električni grijači rade kraće ili manjim intenzitetom za postizanje iste temperature – manja ukupna potrošnja električne energije. Dolazi i do smanjenja vremena ciklusa zagrijavanja, kao i bolje iskorištenosti ukupne energije.

#### 4. Poređenje rada električne i plinske peći

S obzirom da su u kompaniji instalirane obje peći od istog proizvođača, poređenje rada jedne i druge je bilo moguće. Izvršeno je poređenje performansi obje peći s istim filter-medijem, kao i s istim parametrima peći u kojima ključnu ulogu imaju temperatura peći i brzina mašine za pregovanje (brzina ulaska pregovanog papira u peć).

| Parametri                             | Plinska peć | Električna peć |
|---------------------------------------|-------------|----------------|
| Vrijeme rada [h]                      | 1h, 15min   | 1h, 15min      |
| Količina medija [kg/h]                | 173,6       | 173,6          |
| Kvalitet medja                        | OK          | OK             |
| CO [mg/Nm3] --- limit vrijednost 100  | 197         | 210            |
| NOx [mg/Nm3] --- limit vrijednost 250 | 111         | 58             |
| TOC [mg/Nm3] --- limit vrijednost 20  | 2,8         | 2              |
| TAB [°C]                              | 710         | 670            |
| Potrošnja el. energije [kWh]          | 207         | 185            |

Tabela 2 – Prikaz rezultata pri poređenju rada peći

Električna peć je radila s nižom temperaturom TAB-a, trošila je manje energije i imala je bolje rezultate sagorijevanja ispušnih gasova. Sva mjerenja su izvršena kada je mašina za pregovanje radila maksimalnom brzinom. Sljedeći korak bi bio pronaći optimalne parametre peći tako da vrijednosti CO budu unutar granica. To bi značilo promjenu parametara peći, što je dozvoljeno, s obzirom da su ovo vrijednosti pri maksimalnoj brzini. Bitno je napomenuti da su ovo rezultati poređenja dva sistema prije ugradnje turbulatora u TAB električne peći. Sljedeći projekat je ugradnja turbulatora u TAB sistem plinske peći, jer će se dobiti odlične uštede u potrošnji plina uz malu investiciju u turbulatore. Strateški cilj za plinsku peć je rekonstrukcija i prelazak na električnu energiju.

#### Zaključak

Na osnovu provedene analize može se zaključiti da moderna prva električna peć s integrisanim električnim sistemom dodatnog sagorijevanja predstavlja značajan tehnološki iskorak u pravcu povećanja energetske efikasnosti i optimizacije industrijskih procesa obrade filter-medija. U ovoj peći se produkti sagorijevanja dodatno izlažu visokim temperaturama u afterburner sistemu kako bi razina otpadnih/štetnih čestica koja se

ispušta u vazduh bila u zakonskim granicama, a sve s ciljem zaštite životne sredine. Koncept rada peći, kao i analize mjerenja ispušnih gasova, su predstavljene. Umjesto klasičnih plinskih gorionika za dodatno sagorijevanje otpadnih čestica, ovdje se koriste električni grijači. Pri testiranju rada peći, zavisno od podešenih parametara peći, vrijednosti ispušnih gasova su u granicama pri različitim temperaturama TAB sistema. Pored temperature pečenja papira, ključni faktor je temperatura TAB, kojom utječemo na koncentraciju ispušnih gasova.

Iako moderna električna peć s dodatnim sagorijevanjem pokazuje brojne prednosti, dalja istraživanja su bila potrebna kako bi se dodatno optimizovali procesi sagorijevanja, smanjile emisije, omogućilo duže zadržavanje toplog zraka u TAB sistemu i kako bi se ostvarile uštede u električnoj energiji. Stoga je izvršena ugradnja turbulatora u TAB sistem električne peći. Rezultati ove optimizacije su prikazani u radu.

Predstavljeno je poređenje rada električne i plinske peći pod istim uslovima. Bolji rezultati su kod električne peći. To su rezultati poređenja dva sistema prije ugradnje turbulatora u TAB električne peći. Sljedeći projekat je ugradnja turbulatora u TAB sistem plinske peći, jer će se dobiti odlične uštede u potrošnji plina uz malu investiciju u turbulatore, dok je strateški cilj za plinsku peć rekonstrukcija i prelazak na električnu energiju.

## **FIRST ELECTRIC FURNACE WITH ELECTRIC ADDITIONAL COMBUSTION SYSTEM AT MANN+HUMMEL BA**

**Summary:** Energy efficiency in industry is evaluated by specific energy consumption per unit mass of the product or per unit mass that is the goal of a specific technological operation. Increasing energy efficiency in industry leads to a reduction in energy consumption, and at the same time to a reduction in the negative impact of technological and energy plants on the environment. A series of appropriate measures, which include modern technical solutions, can influence this reduction, and thereby improve energy efficiency. Considering the requirements in the auto industry regarding CO<sub>2</sub> neutrality and continuous application of energy efficient measures, implementation is necessary. The defined measures and action plan in the MANN+HUMMEL BA filter factory will be presented in this paper. Emphasis will be placed on the first electric furnace with an electric additional combustion system. Filter paper baking is the basic process in the production of filters. When paper is baked (most often cellulose papers with a large proportion of resin and moisture), combustion products are formed. In this modern furnace, combustion products are additionally exposed to high temperatures in the afterburner system so that the level of waste/harmful particles released into the air is within legal limits, all with the aim of protecting the environment. The paper will present tests of the firing process, analyzes of exhaust gas measurements, as well as the very concept of the furnace operation. Instead of classic gas burners for additional combustion of waste particles, electric heaters are used here. A comparative analysis of furnace technological parameters and exhaust gas results, types of electricity savings through furnace optimization, as well as a comparative analysis of electric and gas furnace operation will be presented.

**Keywords:** energy efficiency, filter paper, electric furnace, exhaust gases, optimization

### **Literatura**

1. Milovanović Zdravko: Termoeenergetska postrojenja - Tehnološki sistemi, projektovanje i izgradnja, eksploatacija i održavanje. Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 2001.

# **DIGITALNA PODRŠKA U ZBRINJAVANJU FARMACEUTSKOG OTPADA: RAZVOJ APLIKACIJE ZA EVIDENCIJU I PRAVILNO ODLAGANJE LIJEKOVA IZ KUĆNE APOTEKE**

**prof. dr. Jasmina Ibrahimpašić**  
Biotehnički fakultet, Univerzitet u Bihaću

**prof. dr. Fatka Kulenović**  
Tehnički fakultet, Univerzitet u Bihaću

**prof. dr. Jasna Hamzabegović**  
Tehnički fakultet, Univerzitet u Bihaću

**Sažetak:** Farmaceutski otpad iz kućne apoteke, poput lijekova kojima je istekao rok trajanja, treba se pravilno zbrinuti kako bi se spriječila šteta za okoliš i zdravlje. Prema međunarodnim smjernicama, poput Svjetske zdravstvene organizacije (WHO), pravilno zbrinjavanje farmaceutskog otpada je ključno za zaštitu okoliša i zdravlja. Aktivne supstance iz lijekova mogu dospjeti u tlo, rijeke i jezera, uzrokujući zagađenje i potencijalno stvarajući opasne spojeve. Te tvari mogu ostati u pitkoj vodi i iscuriti u prirodne vodene sisteme utječući na vodene organizme i životinje. Studije su pokazale da farmaceutski agensi mogu imati kumulativne učinke na mikroorganizme u kontaktu sa zagađenom vodom. Nepravilno odlaganje lijekova predstavlja ozbiljan izazov za okoliš i javnu svijest, ali pokretanje edukativne kampanje može biti značajan korak prema rješavanju ovog problema. Istraživanjem je provedena anketa sa 505 ispitanika, a rezultati, između ostalog, potvrđuju da 68,3 % ispitanika takav otpad odlaže u komunalni otpad. U radu se predlaže mobilna aplikacija e-Apoteka kao digitalno rješenje za efikasno upravljanje kućnom apotekom i odlaganje lijekova kojima je istekao rok. Aplikacija nudi unos lijekova putem API integracije, QR kôda, fotografije (OCR) i ručnog unosa, te automatski obavještava korisnika o isteku roka valjanosti lijeka. Uključena je i interaktivna mapa lokacija za sigurno odlaganje farmaceutskog otpada inspirisana aplikacijom GoGreen. Za razvoj aplikacije korištene su moderne tehnologije: React Native, Firebase, OCR biblioteka i Google Maps API.

**Ključne riječi:** zbrinjavanje, farmaceutski otpad, digitalna podrška

## **1. Uvod**

Farmaceutski otpad je medicinski otpad koji obuhvata lijekove, medicinska sredstva, uključujući i njihovu primarnu ambalažu, koji su postali neupotrebljivi zbog isteka roka trajanja, prolijevanja, rasipanja, pripremljeni a neupotrjebljeni ili se ne mogu više koristiti iz drugih razloga [1]. U Bosni i Hercegovini zbrinjavanje lijekova kojima je istekao rok trajanja nije jasno regulisano, tako da mnogi građani lijekove jednostavno bacaju u smeće. Na taj način aktivne supstance iz lijekova mogu dospjeti u tlo i vodu što može imati ozbiljne posljedice po okoliš. Prisustvo takvih spojeva u tlu koji se mogu akumulirati ima negativan utjecaj na mikroorganizme, biljke i životinje. Naravno što takvi toksični spojevi iz lijekova ulaze u prehrambeni lanac, čime posredno mogu ugroziti i ljudsko zdravlje [2,3]. U mnogim zemljama EU postoje organizirane inicijative za prikupljanje neiskorištenih lijekova ili lijekova s isteklim rokom. U nekim državama postoje organizirane kampanje prikupljanja lijekova kojima je istekao rok

trajanja, kako bi se osiguralo njihovo sigurno uništavanje. Naprimjer, u Evropi postoje neprofitne organizacije poput organizacija Cyclamed u Francuskoj i Valormeda u Portugalu koje prikupljanju lijekove putem apoteka. Ovakve inicijative često podržavaju farmaceutski proizvođači, distributeri i apoteke [4]. Dok EU implementira efikasne sisteme za prikupljanje i zbrinjavanje farmaceutskog otpada, Bosna i Hercegovina se suočava s izazovima u ovom području. Neophodno je razviti zakonodavni okvir, uspostaviti infrastrukturu za prikupljanje i zbrinjavanje ovog otpada, te podići svijest građana o važnosti pravilnog odlaganja lijekova, a saradnja s EU u pogledu izvoza farmaceutskog otpada mora biti transparentna i u skladu s međunarodnim standardima zaštite okoliša i zdravlja. Prema smjernicama Svjetske zdravstvene organizacije (engl. World Health Organization, WHO), pravilno zbrinjavanje farmaceutskog otpada ključni je segment strategija za očuvanje javnog zdravlja i zaštitu okoliša. Svjetska zdravstvena organizacija preporučuje sljedeće prakse: uspostavljanje sistema za prikupljanje neiskorištenih lijekova ili lijekova s isteklim rokom trajanja u apotekama, edukaciju građana o opasnostima nepravilnog odlaganja, te termičku obradu (spaljivanje u kontroliranim uslovima) kao metode zbrinjavanja opasnog farmaceutskog otpada [5,6].

## 2. Utjecaj farmaceutskog otpada na okoliš

Farmaceutski otpad, uključujući antibiotike, hormonske preparate i psihotropne lijekove, predstavlja značajan izvor zagađenja voda, što ima ozbiljne posljedice po okoliš i ljudsko zdravlje. Antibiotici prisutni u vodi mogu potaknuti razvoj bakterija otpornih na lijekove i utjecati na antimikrobnu rezistenciju (AMR). Studije su pokazale da su rijeke u nacionalnim parkovima Engleske, poput Peak Districta, zagađene antibioticima, antidepresivima i protuupalnim lijekovima, što prijeti razvoju AMR-a i ugrožava ekosisteme i ljudsko zdravlje [7]. Hormonski preparati, poznati kao endokrini disruptori, mogu remetiti hormonalni sistem vodenih organizama, što dovodi do reproduktivnih poremećaja i utjecaja na smanjenje populacija. Posljedica njihovog prisustva u vodama leži u neadekvatnom tretmanu, odnosno uklanjanju u postrojenjima za prečišćavanje otpadnih voda. Psihotropni lijekovi mogu mijenjati ponašanje vodenih organizama, poput riba i beskičmenjaka, utječući na njihove osnovne životne funkcije. Ovi lijekovi mogu dospjeti u vodu kroz neadekvatno pročišćavanje otpadnih voda i predstavljaju prijetnju za ekosisteme [8,9,10]. Farmaceutski agensi dopijevaju u tlo na različite načine – najčešće putem gnojiva (npr. stajskog gnojiva koje sadrži ostatke lijekova datih životinjama), iz procijednih voda septičkih jama, kao i iz deponija otpada. Prisustvo ovih tvari u tlu ima brojne negativne posljedice, kao što su promjene u sastavu mikroorganizama u tlu, što utječe na prirodnu ravnotežu ekosistema i na kruženje nutrijenata, posljedično smanjujući plodnost tla. Osim toga, istraživanja pokazuju da biljke mogu apsorbirati farmaceutske ostatke, što dovodi do akumulacije štetnih tvari u jestivim dijelovima biljaka. Ove promjene mogu uzrokovati inhibiciju rasta i razvoja biljaka, smanjen prinos i nutritivnu vrijednost, te prenos farmaceutskih ostataka u lanac ishrane, uključujući i čovjeka, koji predstavlja potencijalni rizik za zdravlje ljudi, naročito ako su izloženi dugotrajnoj konzumaciji proizvoda iz zagađenih izvora [11,12]. Cilj ovoga rada je analiza problema nepravilnog zbrinjavanja farmaceutskog otpada iz kućne apoteke. Osim toga, cilj je ponuditi digitalno rješenje u obliku mobilne aplikacije e-Apoteka koja korisnicima omogućava efikasno upravljanje lijekovima i njihovo pravilno odlaganje nakon isteka roka trajanja. Kroz edukaciju korisnika i upotrebu savremenih tehnologija, cilj je da se smanji negativan utjecaj farmaceutskog otpada na okoliš i

i unaprijedi javna svijest o važnosti njegovog pravilnog zbrinjavanja.

### 3. Metode rada

Za potrebe istraživanja o navikama građana u vezi s odlaganjem farmaceutskog otpada provedena je online anketa putem platforme Google Forms. Anketni upitnik sadržavao je niz pitanja zatvorenog i poluotvorenog tipa s ciljem prikupljanja podataka o informiranosti, ponašanju i stavovima ispitanika prema zbrinjavanju lijekova kojima je istekao rok trajanja, kao i ekološkim posljedicama nepravilnog odlaganja, te koje bi mjere pomogle u smanjenju negativnog utjecaja na okoliš. Anketa je distribuirana elektronskim putem, dijeljenjem linka putem društvenih mreža, e-maila i različitih online zajednica. Također, za olakšan pristup upitniku izrađen je QR kod koji je postavljen na digitalne materijale, čime je omogućeno brzo i jednostavno skeniranje putem mobilnih uređaja. Link ankete: <https://forms.gle/APBJz341nGoLtrmd9> Ukupno je prikupljeno 505 ispunjenih upitnika, što predstavlja reprezentativan uzorak za analizu trenutnih obrazaca ponašanja i potreba korisnika u vezi s upravljanjem kućnom apotekom i pravilnim odlaganjem lijekova.

### 4. Rezultati rada

U anketi je postavljeno 12 pitanja s ponuđenim odgovorima, s tim da se u jednom pitanju moglo odabrati više ponuđenih odgovora. Anketni rezultati pokazuju da najveći udio ispitanika (55,6%) pripada srednjoj starosnoj skupini od 36 do 65 godina, dok 38,4% ispitanika čini skupina u dobi od 18 do 35 godina, a preostalih 6% su osobe starije od 65 godina. U anketi su učestvovalе osobe iz različitih dijelova Bosne i Hercegovine: Posavski kanton, Tuzlanski kanton, Zeničko-dobojski kanton, Bosansko-podrinjski kanton, Srednjobosanski kanton, Hercegovačko-neretvanski kanton, Zapadnohercegovački kanton, Unsko-sanski kanton, Republika Srpska i Brčko Distrikt. Pritom, najveći broj ispitanika (77%) je s prostora Unsko-sanskog kantona. Od ispitanih, njih 39% redovno nabavlja lijekove kroz mjesečne terapije, dok 59% nabavlja lijekove kada je bolesno. Rezultati istraživanja su pokazali da, nažalost, 68,3% ispitanika farmaceutski otpad iz kućne apoteke odlaže u komunalni otpad, a 15,4% ispitanika čuva ih kod kuće jer nisu upoznati šta s njima uraditi i vjerovatno nakon određenog vremena će i oni završiti u komunalnom otpadu. Tek 14,9% ispitanika taj otpad odlaže u reciklažno dvorište ili apoteke. Raduje činjenica da je 47,1% ispitanika potpuno svjesno, a 37,8% ispitanika je djelomično svjesno ekoloških posljedica ukoliko taj otpad završi u okolišu. Međutim, 65% njih nije upoznato na koji drugi način bi mogli odložiti farmaceutski otpad iz kućne apoteke. Na pitanje šta bi pomoglo u pravilnom zbrinjavanju lijekova s isteklim rokom trajanja, ispitanici su mogli odabrati više ponuđenih odgovora. Najpopularniji odgovori bili su: "Posebni kontejneri u apotekama", "Besplatno preuzimanje u apotekama", "Veća dostupnost informacija o procesu zbrinjavanja" i "Edukativne kampanje o važnosti pravilnog zbrinjavanja". Istraživanje pokazuje da 53,3% ispitanika redovno provjerava roкове trajanja lijekova u kućnoj apoteci, a 42,8% ispitanika bar jedanput godišnje. Nadalje, 89,3% ispitanika smatra da bi bilo korisno imati više informacija o pravilnom zbrinjavanju lijekova s isteklim rokom trajanja, a 86,5% ispitanika smatra da bi trebalo zakonski regulirati pravilno zbrinjavanje lijekova s isteklim rokom trajanja (farmaceutski otpad). Također, istraživanja su pokazala da bi 56% ispitanika koristilo aplikaciju koja vodi evidenciju o roku valjanosti i pruža informacije o pravilnom odlaganju lijekova s isteklim rokom trajanja, a 35,2% ispitanika "možda", ukoliko

bi im bila funkcionalna. Nepravilno odlaganje neiskorištenih i lijekova kojima je istekao rok trajanja predstavlja ozbiljan ekološki i javno-zdravstveni problem. Provedeno istraživanje je pokazao da većina ispitanika ne posjeduje dovoljno znanja o pravilnim metodama odlaganja lijekova. Najčešći načini zbrinjavanja uključuju bacanje u kućni otpad ili u kanalizaciju, što potencijalno ugrožava zdravlje ljudi, životinja i okoliš.

## 5. Mobilna aplikacija e-Apoteka

Kao odgovor na ovaj izazov predlaže se mobilna aplikacija e-Apoteka koja integrira više funkcionalnosti s ciljem podizanja svijesti, olakšanog vođenja kućne apoteke i pravilnog odlaganja lijekova.

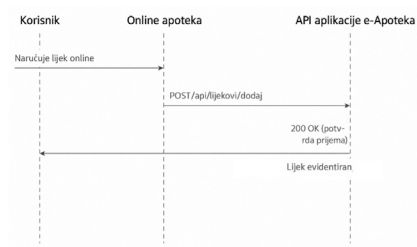
### 5.1. Digitalna evidencija lijekova u aplikaciji e-Apoteka

U cilju efikasnijeg upravljanja farmaceutskim otpadom i sigurnog korištenja lijekova, aplikacija e-Apoteka korisniku nudi više načina za evidentiranje lijekova (Slika 1). Bilo da su lijekovi kupljeni online ili fizički u apoteci, aplikacija omogućava jednostavan unos podataka i automatsko praćenje roka trajanja



Slika 1 – Unos novog lijeka

Kada korisnik kupi lijek putem online apoteke, podaci o lijeku: naziv, datum kupovine i rok trajanja, mogu biti automatski prosljeđeni aplikaciji e-Apoteka putem API-ja. API (engl. Application Programming Interface) je skup definisanih pravila i protokola koji omogućavaju komunikaciju između različitih softverskih aplikacija. API omogućava jednom softverskom sistemu da koristi funkcionalnosti ili podatke drugog sistema, bez potrebe da zna kako je taj sistem interno implementiran [13]. U kontekstu aplikacije e-Apoteka omogućeno je da prilikom izdavanja računa za online kupljeni lijek, aplikacija putem API-ja preuzme osnovne podatke o lijeku – naziv, datum kupovine i rok trajanja. Na taj način, bez dodatnog unosa od strane korisnika, lijek se evidentira u vlastitu digitalnu apoteku, a aplikacija aktivira podsjetnik o isteku roka trajanja i informacije o pravilnom odlaganju. Dijagram na Slici 2 prikazuje komunikaciju između korisnika, online apoteke i aplikacije:



Slika 2 – Sekvencijalni dijagram komunikacije aplikacije e-Apoteka i online apoteke



### *Dodavanje lijeka putem QR kôda*

Kada korisnik fizički kupi lijek u apoteci, može ga evidentirati u vlastitu digitalnu apoteku putem QR kôda na pakovanju. U tom slučaju aplikacija koristi kameru mobilnog uređaja za skeniranje kôda, prepoznaje podatke i automatski ih unosi u korisnikovu digitalnu apoteku s lijekovima.

### *Dodavanje lijeka putem fotografije (OCR prepoznavanje)*

Ako lijek nema QR kôd, aplikacija omogućava korisniku da fotografiše pakovanje lijeka. OCR (engl. Optical Character Recognition) je tehnologija koja omogućava prepoznavanje i konverziju štampanog, skeniranog ili rukom pisanog teksta u mašinski čitljiv digitalni format. OCR softver analizira obrasce slova u slikama i mapira ih u znakove prepoznatljive računaru, što omogućuje uređivanje, pretraživanje, arhiviranje i obradu tekstualnih podataka iz nestrukturiranih izvora poput skeniranih dokumenata ili fotografija [14]. Korištenjem tehnologije optičkog prepoznavanja znakova (OCR), aplikacija e-Apoteka automatski iščitava podatke o nazivu i roku trajanja, te ih evidentira.

### *Ručni unos lijeka*

Aplikacija nudi i mogućnost ručnog unosa lijeka, pri čemu korisnik unosi naziv, datum kupovine i rok trajanja. Uz to, sistem nudi automatske prijedloge na osnovu lokalne baze lijekova, čime se unos dodatno ubrzava i pojednostavljuje.

Raznovrsnost metoda unosa omogućava korisnicima da biraju opciju koja im najviše odgovara, čineći aplikaciju fleksibilnom, dostupnom i korisnom u svakodnevnom životu.

## **5.2. Push notifikacije o isteku roka**

U slučaju približavanja datuma isteka roka trajanja kupljenog lijeka (npr. 30 dana unaprijed), aplikacija šalje obavještenje korisniku. Notifikacija sadrži i uputstvo: “Rok ovog lijeka uskoro ističe. Saznajte gdje ga odložiti.” (Slika 3).



Slika 3 – Notifikacija o približavanju datuma isteka roka

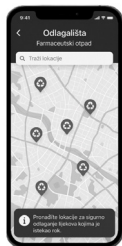
## **5.3. Informacije o mjestima za odlaganje**

Aplikacija uključuje mapu lokacija za sigurno odlaganje lijekova kojima je istekao rok (Slika 4), slično konceptu aplikacije GoGreen. GoGreen je prva mobilna aplikacija u Bosni i Hercegovini koja omogućava korisnicima da:

- lociraju “zelena ostrva” – specijalizovana mjesta za odlaganje reciklažnog otpada poput papira, plastike, stakla i metala;
- prijave ekološke probleme lokalnim vlastima;
- skeniraju otpad kako bi saznali u koju kategoriju spada;
- educiraju se o reciklaži i zaštiti okoliša putem savjeta i edukativnih sadržaja u aplikaciji.

Aplikacija je razvijena kroz hackathon u okviru ReLOaD programa koji finansira Evropska unija, a implementira UNDP [15]. Dostupna je u 14 općina i gradova u BiH. U kontekstu aplikacije e-Apoteka, koncept GoGreen aplikacije poslužio je kao inspiracija jer koristi interaktivnu mapu s lokacijama za odlaganje, omogućava direktnu komunikaciju s

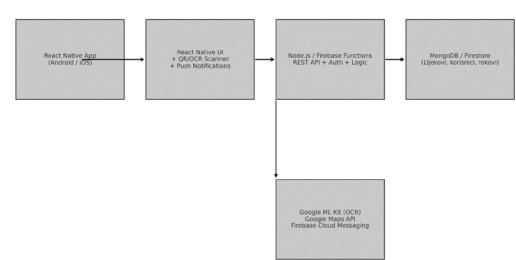
institucijama i koristi mobilne tehnologije za podizanje ekološke svijesti i uključivanje građana u održive prakse.



Slika 4 – Mapa lokacija za sigurno odlaganje lijekova

#### 5.4. Arhitektura aplikacije e-Apoteka

Dijagram na Slici 5 prikazuje softversku arhitekturu aplikacije e-Apoteka, uključujući sve ključne komponente koje komuniciraju međusobno radi podrške funkcionalnostima aplikacije. Aplikacija koristi React Native za razvoj mobilnog korisničkog interfejsa, Node.js ili Firebase za backend logiku i API-je, te MongoDB ili Firestore za pohranu podataka. OCR funkcionalnosti implementiraju se putem Google ML Kit, dok se obavještenja o isteku roka i druge servisne informacije distribuiraju putem Firebase Cloud Messaging infrastrukture. Geolokacijske usluge koje korisniku pružaju informacije o najbližim sabirnim centrima za odlaganje farmaceutskog otpada omogućene su korištenjem Google Maps API.



Slika 5 – Softverska arhitektura aplikacije e-Apoteka

## 6. Zaključak

Nepravilno odlaganje lijekova predstavlja ozbiljan izazov za okoliš i javnu svijest, ali pokretanje edukativne kampanje može biti značajan korak prema rješavanju ovog problema. Predložena aplikacija e-Apoteka može značajno doprinijeti smanjenju nepotrebne kupovine lijekova zbog postojanja valjane evidencije lijekova u kućnoj apoteci, te smanjenju otpada uslijed pravovremenih informacija o isteku roka njihovog trajanja, a što vodi povećanju odgovornosti korisnika lijekova i očuvanju javnog zdravlja i okoliša. Posebna pažnja posvećena je jednostavnosti korištenja aplikacije: interfejs omogućava unos osnovnih informacija o lijeku, ali i jasna uputstva za njegovo sigurno odlaganje nakon isteka roka valjanosti. Aplikacija se može proširiti edukativnim funkcijama i povezivanjem korisnika s centrima za doniranje iskoristivih lijekova, čime bi doprinijela kružnoj upotrebi resursa. U sklopu aplikacije mogu se dodati članci, savjeti i videomaterijali o tome zašto je važno pravilno odlagati lijekove i kako to učiniti. Razvoj ovakvih aplikacija predstavlja važan korak ka digitalnoj transformaciji u oblasti upravljanja farmaceutskim otpadom, a njihova integracija u zdravstvene i obrazovne sisteme može značajno doprinijeti razvoju ekološki odgovorne zajednice.

# **DIGITAL SUPPORT IN PHARMACEUTICAL WASTE MANAGEMENT: DEVELOPMENT OF AN APPLICATION FOR TRACKING AND PROPER DISPOSAL OF MEDICATIONS FROM HOME PHARMACIES**

**Summary:** Pharmaceutical waste from home pharmacies, such as expired medications, should be disposed of properly to prevent harm to the environment and health. According to international guidelines, like those of the World Health Organization (WHO), proper disposal of pharmaceutical waste is essential for environmental and health protection. Active substances from medications can infiltrate soil, rivers, and lakes, leading to pollution and potentially forming hazardous compounds. These substances may linger in drinking water and seep into natural aquatic systems, impacting aquatic organisms and animals. Studies have shown that pharmaceutical agents can have cumulative effects on microorganisms exposed to contaminated water. Improper disposal of medications poses a serious challenge to the environment and public awareness, but launching educational campaigns could be a significant step toward addressing this issue. Research involved a survey with 505 respondents, which revealed that 68.3% of participants dispose of such waste in communal trash. The study proposes developing a mobile application, "e-Apoteka," as a digital solution for efficient home pharmacy management and disposal of expired medications. The app allows medication entry through API integration, QR codes, photographs (OCR), and manual input, and it automatically notifies users about medication expiration dates. Additionally, it includes an interactive map, inspired by the GoGreen application, to show safe pharmaceutical waste disposal locations. The app's development leverages modern technologies such as React Native, Firebase, OCR libraries, and the Google Maps API.

**Keywords:** pharmaceutical waste disposal, digital support

## **Literatura**

1. Pravilnik o zbrinjavanju farmaceutskega otpada, Službeni glasnik BiH, 23/2011
2. Alshehri, D., & Banjar, H. Increasing awareness of proper disposal of unused and expired medication using a knowledge-based disposal management system. *Journal of Environmental and Public Health*, 2022, Article ID 1797440. <https://doi.org/10.1155/2022/1797440>
3. World Health Organization. Guidelines for safe disposal of unwanted pharmaceuticals in and after emergencies: Interagency guidelines, 2009, WHO Press. [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/medicalwaste/unwantpharm.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/medicalwaste/unwantpharm.pdf)
4. ww2.recshqiperi.org "PharmaWipe": Pharmaceutical waste from home to pharmacy. – REC Albania-preuzeto maj,2025
5. <https://pharmaenvironment.org/project/medsdisposal-campaign-> preuzeto maj 2025
6. World Health Organization. Guidelines for Safe Disposal of Unwanted Pharmaceuticals in and after Emergencies. 1999, WHO Guidelines preuzeto maj,2025
7. <https://www.theguardian.com/environment/2024/sep/27/amr-drug-resistance-england-national-parks-hidden-hazards-rivers-pollution-aoe?utm-> preuzeto maj 2025
8. Huerta B, Rodriguez-Mozaz S, Nannou C, Nakis L, Ruhí A, Acuña V, Sabater S, Barcelo D. Determination of a broad spectrum of pharmaceuticals and endocrine disruptors in biofilm from a waste water treatment plant-impacted river. *Sci Total Environ*. 2016, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.049>
9. Hernández F, Calisto-Ulloa N, Gómez-Fuentes C, Gómez M, Ferrer J, González-Rocha G, Bello-Toledo H, Botero-Coy AM, Boix C, Ibáñez M, Montory M. Occurrence of antibiotics and bacterial resistance in wastewater and sea water from the Antarctic. *J Hazard Mater*. 2019, Feb 5;363:447-456. doi: 10.1016/j.jhazmat.

10. Flores-Vargas G, Bergsveinson J, Lawrence JR, Korber DR. Environmental Biofilms as Reservoirs for Antimicrobial Resistance. *Front Microbiol.* 2021, doi: 10.3389/fmicb.2021.766242.
11. Al-Farsi, M. A., Al Rawahi, Z., & Al-Hinai, A. Accumulation of pharmaceuticals in plants grown in manure-amended soils. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(7), 2017, 6677–6686. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8316-1>
12. Alvarez, D. A., Cranor, W. L., Perkins, S. D., Schroeder, V. L., & Smith, S. B. Fate and uptake of pharmaceuticals in soil–plant systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(5), 2016, 1050–1060. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b05112>
13. Fielding, R. T., & Taylor, R. N. Principled design of the modern Web architecture. *ACM Transactions on Internet Technology (TOIT)*, 2(2), 2002, 115–150. <https://doi.org/10.1145/514183.514185>
14. Smith, R. An overview of the Tesseract OCR engine. *Proceedings of the Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2007)*, 2, 2007, 629–633. <https://doi.org/10.1109/ICDAR.2007.4376991>
15. UNDP BiH, Mobilna aplikacija GoGreen: Sarajevski srednjoškolci osmislili prvu mobilnu aplikaciju za selektivno odlaganje otpada, <https://www.undp.org/bs/bosnia-herzegovina/news/mobilna-aplikacija-gogreen-sarajevski-srednjoskolci-osmislili-prvu-mobilnu-aplikaciju-za-selektivno-odlaganje-otpada-2020,-preuzeto-15.4.2025>.

# MATEMATIČKO MODELOVANJE PMSG GENERATORA ZA PRIMJENU U VJETROENERGETSKIM SISTEMIMA

mag. ing. el. Una Drakulić

Tehnički fakultet, Univerzitet u Bihaću

mag. math. Sajra Kasić Kurtagić

Tehnički fakultet, Univerzitet u Bihaću

mag. math. Melisa Haurdić

Tehnički fakultet, Univerzitet u Bihaću

**Sažetak:** U kontekstu globalnog energetskog prelaza prema održivim rješenjima, obnovljivi izvori energije imaju ključnu ulogu u ostvarivanju ciljeva zelene digitalizacije i smanjenju emisije ugljendioksida. Integracija pametnih tehnologija i sistema digitalnog upravljanja s obnovljivim energetskim izvorima kao što je energija vjetra, zahtijeva pouzdane i efikasne modele za pretvaranje energije vjetra u električnu energiju koja se usmjerava potrošačima. U ovom radu je detaljno objašnjen matematički model sinhronog generatora s permanentnim magnetima (PMSG – Permanent Magnet Synchronous Generator), s posebnim fokusom na njegovu primjenu u savremenim vjetroatroenergetskim sistemima. Cilj rada je razvoj preciznog matematičkog modela koji omogućava razumijevanje dinamičkog ponašanja PMSG-a u uslovima promjenjivih ulaznih podataka karakterističnih za energiju vjetra. U radu su razmotrene sve ključne komponente modela, uključujući mehaničke i električne dinamike sistema. Posebna pažnja posvećena je Park i Clark transformacijama koje omogućavaju prelazak iz trofaznog sistema u d-q koordinatni sistem, čime se značajno pojednostavljuje analiza i upravljanje PMSG-om. Korištenjem ovih transformacija, izvedene su matematičke jednačine koje opisuju naponske i strujne odnose u statoru, kao i elektromagnetni momenat. Ovakav matematički model pruža uvid u vezu između promjenjivog mehaničkog ulaza (brzina vjetra) i stabilnog električnog izlaza, što je osnova efikasne integracije u elektroenergetskim mrežama. Predloženi model predstavlja osnovu za dalju simulaciju, analizu stabilnosti i razvoj strategija upravljanja vjetroatroenergetskim sistemima baziranim na PMSG generatorima.

**Ključne riječi:** sinhroni generator s permanentnim magnetima (PMSG), vjetroatroenergetski sistem, matematičko modelovanje, obnovljivi izvori energije, Parkova transformacija, Clarkova transformacija, zelena digitalizacija

## 1. Uvod

U vremenu ubrzane digitalizacije i energetske tranzicije sve više pažnje posvećuje se razvoju tehnologija koje omogućavaju efikasno korištenje obnovljivih izvora energije. Takva tzv. zelena digitalizacija postaje ključni pokretač transformacije tržišta energetike, industrije i transporta. S obzirom na globalne izazove vezane za klimatske promjene i potrebu smanjenja emisije ugljendioksida, razvoj sistema temeljenih na obnovljivim izvorima energije, poput vjetra, sunca i vode, dobija sve veću važnost. Ovi sistemi zahtijevaju pouzdane i efikasne komponente koje mogu osigurati stabilan rad i visoku energetska efikasnost u promjenjivim uslovima rada.

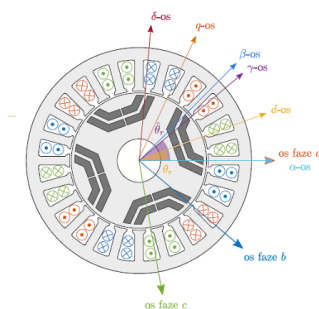
Jedna od ključnih komponenti u savremenim konverzijskim sistemima vjetroatroenergije

jeste permanentno pobuđeni sinhroni generator (engl. Permanent Magnet Synchronous Generator, PMSG). PMSG se ističe po visokoj efikasnosti, kompaktnosti i mogućnosti rada pri niskim brzinama rotacije, što ga čini idealnim za direktno povezivanje s vjetroturbinama bez potrebe za prenosnim mehanizmima. Zbog toga se PMSG sve češće koristi ne samo u sistemima vjetroturbina, već i u hidroelektranama male snage, naprednim sistemima električnih vozila, kao i u raznim aplikacijama pametnih mreža (engl. Smart Grids).

Mnogi naučno-istraživački radovi se bave unapređenjem rada PMSG-a. Tako je npr. u radu [1] koji je objavljen u časopisu *Energies* 2021. godine predstavljena metodologija optimizacije dimenzionisanja PMSG-a za direktno pogonjene vjetroturbine, koja omogućava povećanje efikasnosti za 1,15% i smanjenje težine za 30,79% u poređenju s referentnim generatorom, čime se značajno doprinosi razvoju lakših i efikasnijih sistema za obnovljive izvore energije. U radu [2] autori predložu poboljšani fuzzy logički kontroler za PMSG pod promjenjivim brzinama vjetra, koji efikasno smanjuje momentne oscilacije, čime se poboljšava stabilnost i efikasnost sistema vjetroenergije. Ovaj rad značajno poboljšava rad PMSG-a što mu daje i širu primjenu u osjetljivijim sistemima. Ovi i mnogi drugi naučno-istraživački radovi predstavljaju savremene pravce u razvoju i primjeni permanentno pobuđenih sinhronih generatora (PMSG), fokusirajući se na optimizaciju njihovog dizajna, smanjenje vibracija, unapređenje upravljačkih algoritama i prilagođavanje različitim uslovima rada u sistemima obnovljive energije [1]-[10]. Međutim, za razumijevanje i dalju primjenu ovih dostignuća neophodno je poznavanje osnovnih principa rada, sastava, prednosti i ograničenja samog PMSG-a. Upravo zbog toga, u ovom radu fokus je na detaljnom opisu i analizi matematičkog modela PMSG-a, s posebnim naglaskom na njegov radni princip, topološke izvedbe (SPMSG i IPMSG), prednosti i nedostatke. Cilj je prikazati ulogu koju PMSG ima u savremenim energetske sistemima s posebnim osvrtom na njegovu primjenu u vjetroenergetici. Svrha ovog rada je da omogući dublje razumijevanje utjecaja magnetske nesimetrije i različitih induktiviteta na performanse i dinamiku rada generatora, što je od posebne važnosti za optimizaciju sistema baziranih na obnovljivim izvorima energije.

## 2. Matematičko modelovanje PMSG-a

Na Slici 1 prikazan je stator PMSG-a s osam pojedinih faza s unutrašnjim magnetima.



Slika 1 – Četveropolni PMSG [3]

Kod naprednih upravljačkih sistema, poput vektorske kontrole obrtnog momenta i fluksa, neophodan je matematički model PMSG-a koji precizno opisuje dinamičko

ponašanje sistema. U vjetroturbinama tipa 4, gdje je PMSG priključen na mrežu putem energetske elektroničke konverzije AC-DC-AC (najčešće pomoću dvosmjernog PWM pretvarača i invertera), generator se napaja trofaznim naponom kontrolisane amplitude i frekvencije. Iako se osnovni model može formulisati u trofaznom vremenskom abc koordinatnom sistemu, zbog njegove nelinearnosti i kompleksnosti ovaj model nije pogodan za implementaciju upravljačkih algoritama u realnom vremenu. Kako bi se upravljanje pojednostavilo, koristi se Clark transformacija za prelazak iz abc u stacionarni dvoosni  $\alpha\beta$  koordinatni sistem, gdje  $\alpha$ -osa odgovara fazi a, dok je  $\beta$ -osa ortogonalna na  $\alpha$ . Nakon toga, koristi se Park transformacija za prelazak u rotirajući dq koordinatni sistem čiji je referentni okvir vezan za položaj rotora PMSG-a, d-osa se poravnava sa smjerom magnetskog fluksa permanentnih magneta, dok je q-osa u faznom pomaku od  $\pi/2$  rad. Pored toga, kod sistema bez senzora položaja uvodi se estimirani koordinatni sistem  $\gamma\delta$ , koji rotira s estimiranom brzinom i čiji orijentir ne mora nužno biti usklađen sa stvarnim položajem magneta. Svi navedeni koordinatni sistemi detaljno su prikazani na Slici 1 i čine osnovu za izvedbu matematičkog modela i dizajn upravljačkih strategija PMSG-a u kontekstu konverzije energije vjetra u električnu energiju.

### 2.1.1. Trofazne veličine u prostoru stanja i Park-Clark transformacija

U trofaznim sistemima veličine kao što su napon i struja su periodične, međusobno zavisne i pomjerene za  $120^\circ$ , što prouzrokuje komplikacije u analizi, upravljanju i modeliranju takvih sistema. Zahvaljujući simetričnosti prirode trofaznih veličina, često se koristi transformacija koordinatnog sistema kako bi se dobio jednostavniji model i time olakšala analiza ali i upravljanje trofaznim sistemima. Umjesto rada s tri međusobno zavisne veličine, moguće ih je transformisati u novi skup koordinata gdje je sistem moguće predstaviti pomoću dvije ili, čak, jedne nezavisne komponente. Upravo taj prelazak iz kompleksnog trofaznog sistema u jednostavniji dvodimenzionalni sistem nam omogućuju Clark i Park transformacije.

Clark transformacija omogućuje projiciranje trofaznih veličina na dvodimenzionalni ortogonalni statorski koordinatni sistem. Na ovaj način se originalne trofazne struje ili naponi transformišu u vektorski oblik koji je lakše analizirati i obraditi. Posmatrajmo trofazni sistem dat sa:

$$I_a = I_m \cos(\omega t)$$

$$I_b = I_m \cos(\omega t - 2\pi/3)$$

$$I_c = I_m \cos(\omega t + 2\pi/3), \quad (1)$$

gdje je  $I_m$  maksimalna vrijednost struje i vrijedi da je zbir svih struja jednak nuli, tj.

$$I_a + I_b + I_c = 0 \quad (2)$$

Vektorski izraz ukupne struje se može zapisati kao:

$$\vec{I} = \vec{I}_a + \vec{I}_b + \vec{I}_c \quad (3)$$

Clark transformacija podrazumijeva projekciju na dvodimenzionalni koordinatni sistem ( $\alpha, \beta$ ) na sljedeći način:  $I_a$  leži na osi x, odnosno na  $\alpha$  osi, a  $I_b$  i  $I_c$  su rotirane za  $\pm 120^\circ$ . Da bi se odredila komponenta duž  $\alpha$  ose, vrši se projekcija vektora ukupne struje (3) na realnu osu. Projekcijom na  $\alpha$  osu dobije se:



$$\begin{aligned} I_b &= -1/2 I_{b'}, \\ I_c &= -1/2 I_{c'}, \end{aligned} \quad (4)$$

odnosno slijedi i vrijedi:

$$I_a = I_a - 1/2 I_b - 1/2 I_c, \quad (5)$$

Projekcijom na  $\beta$  osu, koja je okomita na  $\alpha$  osu,  $I_a = 0$ , jer je  $I_a$  na osi  $x$ .  $I_b$  i  $I_c$  su pomjerene za  $120^\circ$ , pa se za projekciju koristi visina iz tih vektora u odnosu na osu  $x$ :

$$\begin{aligned} I_b &= I_b \sin(120^\circ) = \frac{\sqrt{3}}{2} I_b, \\ I_c &= I_c \sin(-120^\circ) = -\frac{\sqrt{3}}{2} I_c, \end{aligned} \quad (6)$$

odnosno:

$$I_\beta = \frac{\sqrt{3}}{2} I_b - \frac{\sqrt{3}}{2} I_c. \quad (7)$$

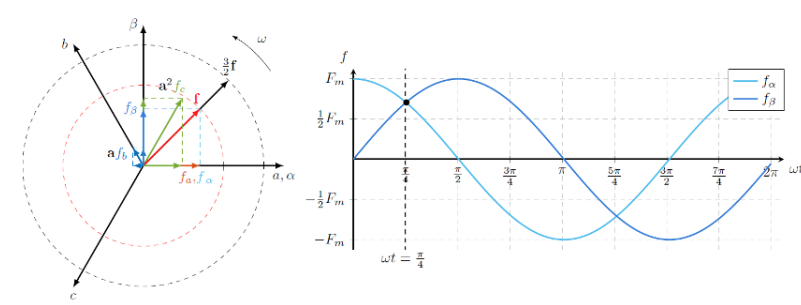
Navedeni postupak predstavlja geometrijsku projekciju koja ne podrazumijeva očuvanje ukupne energije sistema, tj. u novom projiciranom dvodimenzionalnom sistemu ukupna energija neće biti ista kao u originalnom trofaznom sistemu, radi gubitaka. U cilju očuvanja energije, formula (7) se mora skalirati s realnim brojem  $2/3$ , nakon čega se dobija formula za  $I_\beta$ :

$$I_\beta = \frac{2}{3} \cdot \left( \frac{\sqrt{3}}{2} I_b - \frac{\sqrt{3}}{2} I_c \right). \quad (8)$$

Matrični zapis Clark transformacije je:

$$\begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Na Slici 2 je prikazana Clark transformacija.



Slika 2 – Clark transformacija [3]

Park transformacija je matematička transformacija kojom se postiže prikaz određenih veličina u rotirajućem koordinatnom sistemu (dq koordinatni sistem). Cilj je da se sinusoidne veličine, koje se stalno mijenjaju, prevedu u konstantne komponente. Ovim se postiže jednostavnija analiza i upravljanje električnim mašinama. Park transformacija ne ide direktno iz abc sistema. Prvo se trofazne veličine transformišu u Clark  $\alpha\beta$  sistem, a zatim iz tog sistema u rotirajući dq sistem. Nakon dobijenih vrijednosti za  $I_\alpha$  i  $I_\beta$ , Park transformacija ih transformiše na osnovu izraza:

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix}, \quad (10)$$

gdje je  $\theta$  ugao koji opisuje trenutno stanje rotacije sistema.

Za vraćanje veličina iz dq sistema u  $\alpha\beta$  system, koristi se inverzna rotacija:

$$\begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Pod pretpostavkom da je sistem uravnotežen, tj. da je zbir svih struja jednak nuli (2), koristi se inverzna Clark transformacija:

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix}. \quad (12)$$

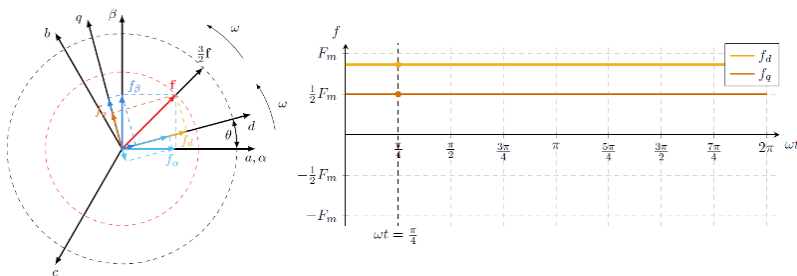
Izraz (12) predstavlja standardnu inverznu Clark transformaciju. Međutim, postoji i proširena inverzna Clark transformacija koja uključuje i nultu komponentu koja predstavlja DC offset ako faze nisu optimalno balansirane. U ovom slučaju, proširena inverzna Clark transformacija je:

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \\ \frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \\ I_0 \end{bmatrix}, \quad (13)$$

gdje vrijedi:

$$I_0 = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c). \quad (14)$$

Na Slici 3 je prikazana Park transformacija.



Slika 3 – Park transformacija [3]

### 3. Naponsko i strujno ograničenje PMSG-a

Naponsko ograničenje predstavlja ključnu karakteristiku PMSG-a, naročito u sistemima s promjenjivim režimima rada kao što su vjetroturbine. Ignorisanje ovog ograničenja može dovesti do zasićenja u upravljačkim strukturama, prenapona, kvarova invertera i termičkog oštećenja statorskih namota. Naponsko ograničenje PMSG-a predstavlja maksimalni dozvoljeni iznos napona koji se može razviti na statorskim krajevima generatora bez narušavanja električne i termičke stabilnosti sistema te bez prekoračenja limita elektroničkog pretvarača (invertera). Ukupni statorski napon u  $dq$  referentnom sistemu je:

$$v_d = R_s i_d - \omega_e L_q i_q, \quad (15)$$

$$v_q = R_s i_q + \omega_e L_d i_d + \omega_e \varphi_f$$

gdje su:  $v_d, v_q$  napon,  $i_d, i_q$  struja,  $R_s$  otpor statora,  $L_d, L_q$  induktivitet,  $\omega_e$  ugaona brzina rotora i  $\varphi_f$  fluks. Naponsko ograničenje je definisano sa:

$$v_s = \sqrt{v_d^2 + v_q^2} \leq V_{max}. \quad (16)$$

Strujno ograničenja PMSG-a se odnosi na maksimalnu dozvoljenu vrijednost struje koja ide kroz namote statora generatora a da ne mijenja njegove termičke, magnetne i električne karakteristike. U  $dq$  koordinatnom sistemu struja statora se definiše kao:

$$i_s = \sqrt{i_d^2 + i_q^2} \leq I_{max} \quad (17)$$

gdje je  $I_{max}$  maksimalna vrijednost efektivne struje. U sistemima u kojima se koristi ograničenje struje vodi se računa da vrijednost struje  $i_d$  bude što manja, ili negativna, kako bi vrijednost struje  $i_q$  bila što veća. Na ovaj način bi se osigurala veća efikasnost generisanja momenta koji je odgovoran za stabilnost i pouzdanost sistema.

### 4. Primjena PMSG-a

Permanentni magnetni sinhroni generatori predstavljaju ključnu komponentu u savremenim elektroenergetskim sistemima kod tranzicije prema obnovljivim izvorima energije u procesu zelene digitalizacije. Njihova primjena postaje sve češća zbog prednosti u odnosu na druge tipove generatora, uključujući visoku energetska efikasnost,

mogućnost rada pri promjenjivim brzinama bez potrebe za dodatnim napajanjem namota, kao i kompaktnu konstrukciju zahvaljujući upotrebi permanentnih magneta. Najznačajnija i najzastupljenija primjena PMSG-a danas je u vjetroagregatima tipa 3 i 4, gdje generator radi u kombinaciji s energetski elektronskim pretvaračima (AC-DC-AC) i omogućava potpunu kontrolu nad naponom i frekvencijom izlazne električne energije. Ova konfiguracija omogućava rad vjetroturbina pri promjenjivim brzinama rotora, čime se povećava iskorištenost dostupne kinetičke energije vjetra i smanjuju mehanička opterećenja sistema. Osim u vjetroenergetici, PMSG se široko koristi u mikrohidroelektranama gdje su male brzine vrtnje i visoka efikasnost od presudnog značaja, kao i u brodskim i ostrvskim energetskim sistemima gdje se cijeni kompaktna i autonomna izvedba sistema. Također, PMSG pronalazi primjenu u transportu, naročito u električnim i hibridnim vozilima, gdje njegova mogućnost direktnog pogona bez transmisije smanjuje gubitke i povećava dinamiku sistema. U industriji, PMSG se koristi u sistemima za regenerativno kočenje, konverziji energije iz plime i oseke, kao i u različitim vrstama kinetičkih i mehaničkih pogona. Zahvaljujući fleksibilnosti u dizajnu i mogućnosti precizne kontrole putem vektorske regulacije u dq koordinatnom sistemu, PMSG se lako integriše s naprednim upravljačkim algoritmima, čime se omogućuje prilagođavanje specifičnim uslovima rada i zahtjevima mreže.

## 5. Analiza i efikasnost rada PMSG

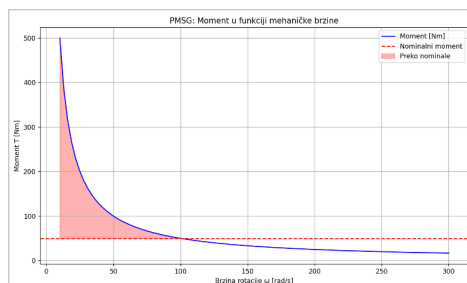
Za testiranje optimalnosti i efikasnost PMSG-a urađene su dvije analize. Prva analiza prikazuje odnos između mehaničkog momenta i brzine rotacije pri konstantnoj mehaničkoj ulaznoj snazi generatora. Za ovu analizu korišten je osnovni odnos izražen sa:

$$P = T \cdot \omega, \text{ odnosno } T = P/\omega \quad (18)$$

gdje je P mehanička snaga, npr. 5000 W,  $\omega$  ugaona brzina rotora (rad/s) i T mehanički moment.

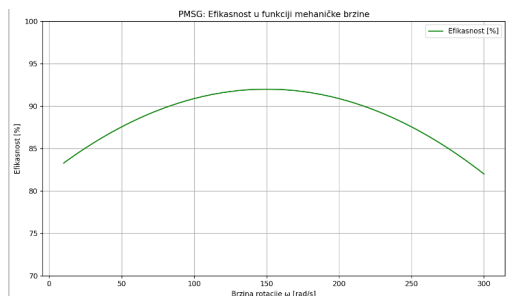
Posmatrajući izraz (18), može se zaključiti da s porastom brzine vrtnje opada mehanički moment, i obratno, smanjenjem brzine vrtnje povećava se mehanički moment. Simulacija ovog odnosa pomaže u dimenzionisanju vjetroturbina u vjetroenergetskim sistemima, jer direktno utječe na konstrukciju lopatica i prenosnika vjetroturbine.

Za analizu su uzeti sljedeći parametri: ulazna mehanička snaga  $P_{in}=5000$  W, mehanička brzina  $\omega(10-300)$  rad/s sa ukupno 100 tačaka, nominalni moment  $T_{nom}=50$  Nm, maksimalna efikasnost  $\eta=96\%$  pri optimalnoj brzini od 150 rad/s i opada simetrično prema izrazu:  $\eta=0.92-0.1((\omega-150)/150)^2$ . Na Slici 4 je prikazan dobijen dijagram za analizu mehaničkog momenta u funkciji brzine rotacije.



Slika 4 – Mehanički moment u funkciji mehaničke brzine

Na Slici 4 plava linija prikazuje kako se mehanički moment smanjuje s povećavanjem brzine za konstantnu ulaznu snagu. Crvena isprekidana linija je nominalni mehanički moment, tj. granica do koje PMSG može kontinuirano raditi bez opterećenja, a osjenčeni dio predstavlja zonu preopterećenja, tj. kada je mehanički moment veći od nominalog. Dugotrajan rad u ovoj zoni može značajno oštetiti PMSG. Na Slici 5 je prikazan dijagram efikasnosti PMSG-a u funkciji mehaničke brzine vrtnje. Efikasnost se modelira kao parabola koja dostiže svoj maksimum pri optimanoj brzini i opada izvan tog dosega.



Slika 5 – Efikasnost PMSG-a u funkciji mehaničke brzine vrtnje

Na Slici 5 se može vidjeti kako efikasnost PMSG-a zavisi od brzine vrtnje, tj. da je PMSG najefikasniji u blizini svoje nominalne brzine, a van tog raspona gubi energiju.

Također je analiziran i utjecaj broja polova rotora na efikasnost rada PMSG-a. Uzima se pretpostavka da porastom broja polova dolazi do većih magnetnih i mehaničkih gubitaka, a to direktno utječe na efikasnost rada PMSG-a. Linearna aproksimacija pada efikasnosti PMSG-a je data sa:

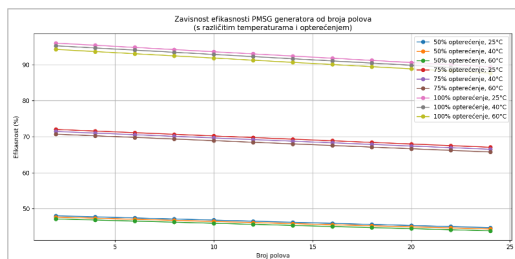
$$\eta(p) = \eta_0 - k(p-2) \quad (19)$$

gdje je  $\eta_0$  referentna efikasnost za minimalan broj polova,  $p$  broj polova i  $k$  faktor smanjenja efikasnosti po paru polova. Za određivanje elektromehaničke frekvencije PMSG-a korišten je izraz:

$$f = \frac{n \cdot p}{120}, \quad (20)$$

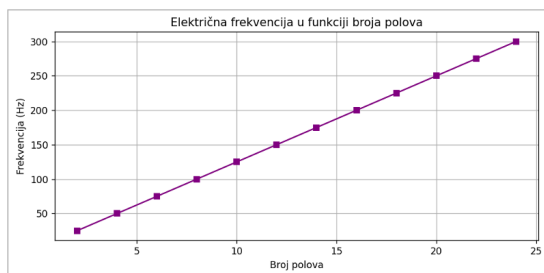
gdje je  $n$  brzina vrtnje (o/min). Za analizu su uzeti sljedeći parametri: broj polova je parni (2 - 24),  $\eta=96\%$ ,  $k=0.3\%$ ,  $T=25^\circ\text{C}, 40^\circ\text{C}$  i  $60^\circ\text{C}$ .

Na Slici 6 je prikazan dijagram zavisnosti efikasnosti PMSG-a od broja polova, s različitim temperaturama i opterećenjem. Dijagram na Slici 6 prikazuje da povećanjem broja polova dolazi do smanjenja efikasnosti rada PMSG-a, uz dodatne gubitke od visoke temperature i niskog opterećenja.



Slika 6 – Mehanički moment u funkciji mehaničke brzine

Na Slici 7 je prikazano kako broj polova direktno utječe na električnu frekvenciju, što je ključno za dizajn pretvarača. Dobijeni rezultati potvrđuju potrebu za optimizacijom broja polova pri dizajnu PMSG-a u zavisnosti od očekivanog režima rada i ciljanog opsega brzine vrtnje. S porastom broja polova dolazi do povećanja gustine magnetskog fluksa i mehaničkih gubitaka (trenje, histereza), što može utjecati na smanjenje ukupne efikasnosti.



Slika 7 – Električna frekvencija u funkciji broja polova

## 6. Zaključak

Matematičko modelovanje permanentno magnetnog sinhronog generatora (PMSG) predstavlja ključni korak u dizajniranju i optimizaciji vjetroenergetskih sistema. Zahvaljujući svojim karakteristikama – visokoj efikasnosti, kompaktnosti i sposobnosti rada bez potrebe za dodatnim sistemima – PMSG je postao preferirani izbor za moderne direktno pogonjene vjetroturbine.

U ovom radu detaljno je opisan matematički model PMSG generatora u d-q koordinatnom sistemu koji omogućava precizno praćenje dinamičkog ponašanja generatora u realnim uslovima rada. Model uključuje elektromehaničke i elektromagnetne jednačine koje opisuju međusobnu interakciju mehaničkog ulaza (vjetra) i električnog izlaza sistema. Poseban fokus stavljen je na modeliranje promjenjive brzine rotora i utjecaj broja polova na efikasnost konverzije energije.

Na osnovu rezultata simulacija i provedene analize može se zaključiti da pravilno matematičko modelovanje omogućava kvalitetniju kontrolu proizvodnje električne energije, povećanje efikasnosti sistema i optimizaciju upravljanja energijom u različitim uslovima vjetra. Osim toga, model PMSG generatora predstavlja osnovu za dalju implementaciju naprednih metoda upravljanja kao što su vektorska kontrola i direktna kontrola obrtnog momenta. Razvoj i validacija preciznog matematičkog modela PMSG generatora značajno doprinose razvoju pouzdanih i efikasnih vjetroenergetskih sistema, a model se može koristiti kao osnova za dizajn kontrolnih strategija, optimizaciju performansi i integraciju u šire energetske mreže.

# MATHEMATICAL MODELING OF PMSG GENERATOR FOR APPLICATION IN WIND ENERGY SYSTEMS

**Summary:** In the context of the global energy transition towards sustainable solutions, renewable energy sources play a key role in achieving the goals of green digitalization and reducing carbon dioxide emissions. The integration of smart technologies and digital control systems with renewable energy sources such as wind power requires reliable and efficient models for converting wind energy into electrical energy that can be delivered to consumers. This paper provides a detailed explanation of the mathematical model of a Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG), with a particular focus on its application in modern wind energy systems. The aim of the study is to develop an accurate mathematical model that enables an understanding of the dynamic behavior of the PMSG under varying input conditions characteristic of wind energy. All key components of the model are considered, including the mechanical and electrical dynamics of the system. Special attention is given to the Park and Clarke transformations, which allow the transition from a three-phase system to the d-q coordinate system, significantly simplifying the analysis and control of the PMSG. Using these transformations, mathematical equations are derived to describe the voltage and current relations in the stator, as well as the electromagnetic torque. This mathematical model provides insight into the relationship between the variable mechanical input (wind speed) and the stable electrical output, which is essential for efficient integration into power grids. The proposed model forms a foundation for further simulation, stability analysis, and the development of control strategies for wind energy systems based on PMSG generators.

**Keywords:** Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG), Wind energy system, Mathematical modeling, Renewable energy sources, Park transformation, Clarke transformation, Green digitalization.

## Literatura

1. Jesus Antonio Enriquez Santiago, Orlando Lastres Danguillecourt, Guillermo Ibanez Duarte, Jorge Evaristo Conde Diaz, Antonio Verde Anorve, Quetzalcoatl Hernandez Escobedo, Joel Pantoja Enriquez, Laura Vereja, Geovanni Hernandez Galvez, Rafael Dorrego Portela and Alberto-Jesus Parea-Moreno. Dimensioning Optimization of the Permanent Magnet Synchronous Generator for Direct Drive Wind Turbines, Special Issue The Sustainable City: Advances in Renewable Energy and Energy Saving Systems, *Energies* 2021, 14(21), 7106; <https://doi.org/10.3390/en14217106>
2. Uossif Mohamed Matoug Masoud, Pratibha Tiwari, Nishu Gupta. Designing of an Enhance Fuzzy Logic Controller of an Interior Permanent Magnet Synchronous Generator under Variable Wind Speed, Special Issue Advanced and Intelligent Interface Circuits for Sensor Systems, *Sensors* 2023, 23(7), 3628; <https://doi.org/10.3390/s23073628>
3. Doctoral Thesis Jukić Filip. Bezsensorsko upravljanje sinkronim vjetrogeneratorom s permanentnim magnetima zasnovano na opserveru u kliznom načinu rada, University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing, FER Repository, 2022
4. A. Kerketta and Manimala, "Modeling and Simulating PMSG based Wind Turbines using a Fuzzy Logic Controlled DC-Link Protection Scheme," 2024 2nd International Conference on Advancements and Key Challenges in Green Energy and Computing (AKGEC), Ghaziabad, India, 2024, pp. 1-8, doi: 10.1109/AKGEC62572.2024.10867874.
5. T. Liu, H. Zhao and P. Wang, "Impedance Model of PMSG-Based Wind Turbine System And Stability Analysis Based on Routh Criterion," 2024 7th International Conference on Energy,



5. Electrical and Power Engineering (CEEPE), Yangzhou, China, 2024, pp. 1345-1350, doi: 10.1109/CEEPE62022.2024.10586494.
6. M. Oukrid, N. Bernard and M. -F. Benkhoris, "Design and Optimization of a Multiphase PMSG for Wind Turbines exploiting different harmonics," 2024 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Phoenix, AZ, USA, 2024, pp. 5309-5315, doi: 10.1109/ECCE55643.2024.10860835.
7. E. Elhaji, S. Liu and H. Chaoui, "Comparative Analysis of Controls in Permanent Magnet Synchronous Generator-Based Wind Turbines," 2024 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), Tianjin, China, 2024, pp. 287-292, doi: 10.1109/ICMA61710.2024.10632967.
8. Sadeq, Safwan & Ovinis, Mark & Karuppanan, Saravanan. (2022). Modeling and Simulation of PMSG Wind Energy Conversion System Using Active Disturbance Rejection Control. *International Journal of Fluid Mechanics & Thermal Sciences*. 92. 105-122. 10.37934/ar-fmts.92.1.105122.
9. Moradi, Yassine & Tahiri, Fatima-Ezzahra & Ouafi, Mariame & Chikh, Khalid. (2024). Modeling and Control of a Standalone PMSG Wind Generation System to Extract the Maximum Power Based on Direct Power Control. 10.1007/978-3-031-49772-8\_16.
10. Haque, M. E.; Negnevitsky, Michael; and Muttaqi, Kashem: A novel control strategy for a variable speed wind turbine with a permanent magnet synchronous generator 2008. <https://ro.uow.edu.au/engpapers/5407>

# **INTEGRACIJA KOMPOZITNOG SIMPSONOVOG PRAVILA ZA PROCJENU MPPT-A U PV SISTEMIMA ZA POTREBE ZELENE TRANZICIJE**

**mag. math. Melisa Haurdić**  
Tehnički fakultet, Univerzitet u Bihaću

**mag. ing. el. Una Drakulić**  
Tehnički fakultet, Univerzitet u Bihaću

**mag. math. Sajra Kasić Kurtagić**  
Tehnički fakultet, Univerzitet u Bihaću

**Sažetak:** Prelaz na održive i zelene energetske sisteme sve više se oslanja na integraciju inteligentnih digitalnih metoda koje povećavaju efikasnost obnovljivih tehnologija. U ovom radu predlaže se digitalni pristup za procjenu tačke maksimalne snage (MPP) fotonaponskih (PV) sistema primjenom kompozitnog Simpsonovog pravila, numeričke metode integracije, pri različitim uslovima sunčeve radijacije, uz održavanje konstantne temperature.

Predložena metoda za procjenu MPPT-a u PV sistemima aproksimira karakterističnu P-V krivu (snaga–napon) solarnog panela i određuje tačku u kojoj se ostvaruje maksimalna snaga. Simuliranjem više scenarija sunčeve radijacije pri fiksnoj temperaturi pokazuje se kako se ova metoda može efikasno primijeniti za podršku MPPT-u bez potrebe za složenim hardverom za rad u stvarnom vremenu. Metoda je implementirana u Pythonu, nudeći jednostavnu, brzu i energetski efikasnu tehniku procjene. Ovaj pristup doprinosi digitalizaciji energetskih sistema i u skladu je s ciljevima zelene tranzicije i održivog razvoja.

**Gljučne riječi:** fotonaponski sistemi, zelena ekonomija, obnovljivi izvori energije, praćenje tačke maksimalne snage (MPPT), kompozitno Simpsonovo pravilo, numerička integracija, optimizacija energije

## **1. Uvod**

Sve izraženija globalna orijentacija prema obnovljivim izvorima energije nameće potrebu za unapređenjem efikasnosti energetskih pretvarača i upravljačkih algoritama u sistemima zasnovanim na tim izvorima. Među obnovljivim izvorima, sunčeva energija zauzima posebno mjesto zbog svoje dostupnosti, predvidljivosti i ekološke prihvatljivosti. Fotonaponski (PV) sistemi predstavljaju ključnu tehnologiju za direktnu konverziju sunčeve energije u električnu, pri čemu je jedan od ključnih izazova osiguranje rada u tački maksimalne snage (engl. Maximum Power Point Tracking – MPPT) u uslovima stalno promjenjivih meteoroloških parametara. Tradicionalni algoritmi za praćenje MPPT-a, poput metode perturbacije i posmatranja (engl. Perturb and Observe – P&O) i metode inkrementalne konduktance (engl. Incremental Conductance), i dalje su najčešće primjenjivani u praksi [3]. Ipak, njihove performanse mogu biti ograničene u pogledu brzine odziva i preciznosti, naročito pri naglim promjenama sunčeve radiancije. U posljednje vrijeme sve više se istražuju i primjenjuju metode vještačke inteligencije (AI) poput neuronskih mreža i adaptivnih neuro-fuzzy sistema, koje takođe daju izuzetno dobre rezultate u određivanju MPPT tačke, što se može vidjeti u radovima [1][4][2]. U savremenom kontekstu digitalizacije i automatizacije energetskih sistema, veliki

značaj se daje numeričkim metodama koje omogućavaju softverski definisane pristupe upravljanju PV sistemima, bez potrebe za dodatnim hardverskim složenostima. Jedan od takvih pristupa predložen je u ovom radu, a ogleda se u primjeni kompozitnog Simpsonovog pravila koje omogućava efikasnu i numerički stabilnu aproksimaciju P-V krive, s ciljem preciznog određivanja tačke maksimalne isporučene snage (tj. ukupne generisane energije). Ovaj pristup ne samo da pojednostavljuje implementaciju MPPT algoritma, već istovremeno otvara prostor za dalje optimizacije kroz povezivanje s metodama numeričke matematike i digitalne kontrole. Kompozitno Simpsonovo pravilo predstavlja numeričku tehniku integracije koja se koristi za aproksimaciju površine ispod krive tako što se kroz podskupove tačaka podataka provlače parabolični segmenti [7][6]. Ova metoda je naročito efikasna kada je funkcija koja se integriše glatka i neprekidna, što je često slučaj s krivom snaga-napon (P-V) kod fotonaponskih sistema. U ovom radu je detaljno opisana predložena metoda određivanja MPPT tačke koja se bazira na kompozitnom Simpsonovom pravilu zbog njegovog balansa između računarske jednostavnosti i visoke tačnosti. Za razliku od složenijih MPPT algoritama koji zahtijevaju mjerenja u realnom vremenu i upravljanje hardverom, kompozitno Simpsonovo pravilo omogućava isključivo softversku procjenu tačke maksimalne snage na osnovu prikupljenih ulaznih podataka. Ovo ga čini posebno pogodnim za digitalne implementacije u energetske efikasnim i ekonomsko povoljnim sistemima.

## 2. Operativne karakteristike PV sistema pod različitim intenzitetima zračenja

Fotonaponski (PV) sistemi pretvaraju solarnu energiju u električnu energiju koristeći fotonaponski efekat. Kada sunčeva svjetlost pogodi PV ćeliju, fotoni iz svjetlosti stupaju u interakciju s poluprovodnim materijalom, najčešće silicijem. Ova interakcija pobuđuje elektrone u materijalu, uzrokujući njihovo kretanje. Kretanje ovih slobodnih elektrona generiše električnu struju. PV ćelija se sastoji od slojeva poluprovodnih materijala, s p-n spojem koji odvaja pozitivna i negativna naelektrisanja. Ovo električno polje na spoju tjera pobuđene elektrone da teku u jednom pravcu, stvarajući jednosmjernu struju (DC). Fotonaponska (PV) karakteristična kriva, kriva struja-napon (I-V) i snaga-napon (P-V), prikazuju električno ponašanje solarne ćelije, odnosno PV modula pod različitim uslovima okoline. Ove krive su ključne za razumijevanje i predviđanje performansi PV sistema.

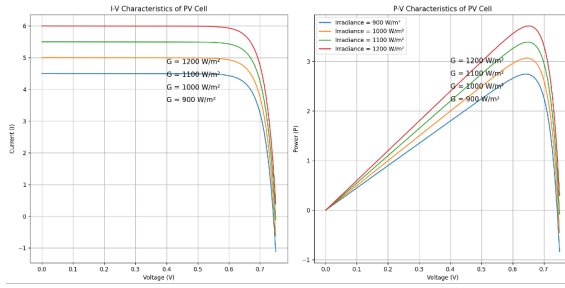
I-V karakteristika PV ćelije opisuje odnos između izlazne struje i napona i izvedena je iz jednadžbe modela s jednim diodom:

$$I = I_L - I_0 \left( e^{\frac{q(V+IR_p)}{n k T}} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (1)$$

P-V karakteristika predstavlja izlaznu snagu PV ćelije kao funkciju napona i računa se kao:

$$P = W \cdot I \quad (2)$$

Slika 1 prikazuje karakteristične krive I-V (struja-napon) i P-V (snaga-napon) jedne fotonaponske (PV) ćelije bazirane na sljedećim standardnim parametrima: struja generisana svjetlom  $I_{L0}=5$  A, struja obrnutog zasićenja  $I_0=1 \cdot 10^{-9}$  A, faktor idealnosti diode  $n=1,3$ , serijski otpor  $R_s=0.1 \Omega$ , paralelni otpor  $R_p=100 \Omega$ , Boltzmannova konstanta  $k=1,38 \cdot 10^{-23}$  J/K, elementarni naboj  $q=1,6 \cdot 10^{-19}$  C i temperatura  $T=298$  K (25°C). Napon na otvorenom krugu pod standardnim testnim uslovima je  $V_{oc\_ref}=0,8$  V.



Slika 1 – Kriva struja–napon (I–V) i snaga–napon (P–V)

Razumijevanje električnog ponašanja jedne PV ćelije kroz njene karakteristične krive omogućava precizno predviđanje performansi većih PV modula ili panela koji se sastoje od više takvih ćelija povezanih serijski i paralelno. Predložena MPPT (praćenje maksimalne tačke snage) metoda, zasnovana na kompozitnom Simpsonovom pravilu, primijenjena je na PV modul koji se sastoji od 25 identičnih PV ćelija, tačnije ćelija karakteriziranih parametrima opisanima u prethodnom dijelu rada i prikazanim na Slici 1. Kao rezultat, ukupni napon na otvorenom krugu PV modula iznosi 20 V.

Kako bismo demonstrirali primjenu kompozitnog Simpsonovog pravila kao numeričke metode za procjenu MPPT-a, koristimo ga za izračun ukupne energije proizvedene od strane PV modula tokom određenog vremenskog perioda:

$$E = \int P(t) dt \quad (3)$$

Sljedeći dio rada opisuje predloženu metodu za određivanje maksimalne tačke snage (MPPT) koristeći kompozitno Simpsonovo pravilo kao numeričku strategiju za procjenu MPPT-a.

### 3. Kompozitno Simpsonovo pravilo kao numerička strategija za procjenu MPPT-a

Kompozitno Simpsonovo pravilo predstavlja numeričku metodu za aproksimaciju određenih integrala, kojom se poboljšava tačnost u odnosu na osnovno Simpsonovo pravilo. Osnovno Simpsonovo pravilo se primjenjuje na samo jedan segment  $[a, b]$  prema formuli [8][9].

$$\int_a^b f(x) dx = \frac{b-a}{6} \left( f(a) + 4f\left(\frac{a+b}{2}\right) + f(b) \right) + R_3(f), \quad (4)$$

gdje je greška data formulom:

$$|R_3(f)| \leq \frac{(b-a)^3 h^3}{12n^2} M_2, \quad M_2 = \max_{x \in [a, b]} |f''(x)|. \quad (5)$$

Kompozitno Simpsonovo pravilo podrazumijeva da se taj segment podijeli na paran broj  $n=2m, m \in \mathbb{N}$  jednakih podsegmata širine  $h=(b-a)/n$ . Na svaki od tih podintervala se zatim zasebno primjenjuje Simpsonovo pravilo, a zatim se svi rezultati sabere. Formula za kompozitno Simpsonovo pravilo glasi:

$$\int_a^b f(x) dx = \frac{h}{3} (f_0 + 4f_1 + 2f_2 + 4f_3 + 2f_4 + \dots + 4f_{n-1} + f_n) + R_n(f), \quad (6)$$

gdje je greška data formulom [5]

$$R_n(f) = \frac{(b-a)^5}{180 n^4} M_4, \quad M_4 = \max_{x \in [a,b]} |f^{(4)}(x)|. \quad (7)$$

gdje je  $n$  – broj podintervala,  $M_4$  – maksimalna apsolutna vrijednost četvrte derivacije.

Budući da nam integrand nije eksplicitno zadan, za određivanje greške kompozitnog Simpsonovog pravila koristimo podijeljene razlike četvrtog reda. Podijeljena razlika reda  $r$  funkcije  $f$  u  $r+1$  različitih tačaka definiše se rekursivno koristeći relaciju [8][9]:

$$[x_0, x_1, \dots, x_r; f] = \frac{[x_1, \dots, x_r; f] - [x_0, \dots, x_{r-1}; f]}{x_r - x_0} \quad (8)$$

### 3.1. Integracija kompozitnog Simpsonovog pravila kao numeričke strategije za procjenu MPPT-a

Za optimalno određivanje MPPT tačke korišteno je kompozitno Simpsonovo pravilo (6) primijenjeno na 17 diskretnih tačaka koje predstavljaju različite vrijednosti sunčeve radijacije u opsegu od 950 do 1200 W/m<sup>2</sup>. Ove vrijednosti sunčeve radijacije odgovaraju realnim vremenskim uslovima za vremenski interval od 11:00h do 13:00h, za jedan prosječan dan mjeseca juna. Za svaku vrijednost sunčeve radijacije najprije je izračunata struja na osnovu:

$$I = I_o \cdot \frac{G}{G_{ref}}, \quad (9)$$

gdje je  $I_o$  struja otvorenog kruga,  $G$  vrijednost mjerene sunčeve radijacije i  $G_{ref}$  referentna vrijednost sunčeve radijacije. Nakon toga računa se napon prema formuli:

$$V = V_{ref} \cdot \left(1 - a \cdot \ln \frac{G_{ref}}{G}\right), \quad (10)$$

gdje je  $V_{ref}$  referentna vrijednost napona, a  $a$  empirijska konstanta za silicijske ćelije.

Vrijednosti korištene za testiranje i analizu su:

$$\begin{aligned} I_o &= 9A \\ G_{ref} &= 1000 \frac{W}{m^2} \\ V_{ref} &= 20V \\ a &= 0,04 \end{aligned}$$

Na osnovu dobijenih vrijednosti struje i napona, određena je i snaga fotonaponskog modula u zavisnosti od intenziteta sunčevog zračenja. Svi relevantni rezultati prikazani su u Tabeli 1 koja pruža uvid u promjene izlazne snage u funkciji varijabilne sunčeve radijacije, te čini osnovu za dalju energetska analizu i optimizaciju rada PV sistema.

| Sunčeva radijacija | Struja   | Napon    | Snaga    |
|--------------------|----------|----------|----------|
| 950                | 8,55     | 19,95897 | 170,6492 |
| 965,625            | 8,690625 | 19,97202 | 173,5693 |
| 981,25             | 8,83125  | 19,98486 | 176,4913 |
| 996,875            | 8,971875 | 19,9975  | 179,415  |
| 1012,5             | 9,1125   | 20,00994 | 182,3406 |
| 1028,125           | 9,253125 | 20,02219 | 185,2678 |
| 1043,75            | 9,39375  | 20,03426 | 188,1968 |
| 1059,375           | 9,534375 | 20,04614 | 191,1274 |
| 1075               | 9,675    | 20,05786 | 194,0598 |
| 1090,625           | 9,815625 | 20,0694  | 196,9937 |
| 1106,25            | 9,95625  | 20,08078 | 199,9293 |
| 1121,875           | 10,09688 | 20,092   | 202,8664 |
| 1137,5             | 10,2375  | 20,10307 | 205,8051 |
| 1153,125           | 10,37813 | 20,11398 | 208,7454 |
| 1168,75            | 10,51875 | 20,12475 | 211,6872 |
| 1184,375           | 10,65938 | 20,13537 | 214,6305 |
| 1200               | 10,8     | 20,14586 | 217,5753 |

Tabela 1 – Vrijednosti snage PV sistema u zavisnosti od promjena sunčeve radijacije

Na osnovu podataka prikazanih u Tabeli 1 može se primijeniti kompozitno Simpsonovo pravilo (6). S obzirom da je korišteno ukupno 16 tačaka, vrijednost koraka je  $h=(1200-950)/16=15,625$ .

Ukupnu energiju prema (3), odnosno vrijednost integrala, na osnovu kompozitnog Simpsonovog pravila računamo kao:

$$E = \frac{h}{3} [P_0 + 4 \cdot (P_1 + P_3 + P_5 + P_7 + P_9 + P_{11} + P_{13} + P_{15}) + 2 \cdot (P_2 + P_4 + P_6 + P_8 + P_{10} + P_{12} + P_{14}) + P_{16}] = \frac{15,625}{3} [170,6492 + 4 \cdot (173,5693 + 179,415 + 185,2678 + 191,1274 + 196,9937 + 202,8664 + 208,7454 + 214,6305) + 2 \cdot (176,4913 + 182,3406 + 188,1968 + 194,0598 + 199,9293 + 205,8051 + 211,6872) + 217,5753] = 48519,31.$$

Energija koju je generisao panel iznosi 48519,31 Wh, odnosno njena približna vrijednost je 48,5KWh. Da bismo odredili grešku kompozitnog Simpsonovog pravila (7), prvo moramo odrediti podijeljene razlike četvrtog reda prema (8), što je prikazano u Tabeli 2.

| Radijacija | Snaga    |           |              |                   |                      |
|------------|----------|-----------|--------------|-------------------|----------------------|
| 950        | 170,6492 | 0,1868864 |              |                   |                      |
| 965,625    | 173,5693 | 0,187008  | 0,0000038912 | -0,0000000873813  |                      |
| 981,25     | 176,4913 | 0,1871168 | 0,0000034816 | 0,00000000873813  | 0,00000000027962     |
| 996,875    | 179,415  | 0,1872384 | 0,0000038912 | -0,0000000131072  | -0,00000000034952528 |
| 1012,5     | 182,3406 | 0,1873408 | 0,0000032768 | 0,00000000873813  | 0,00000000034952528  |
| 1028,125   | 185,2678 | 0,187456  | 0,0000036864 | -0,00000000873813 | -0,00000000027962016 |
| 1043,75    | 188,1968 | 0,1875584 | 0,0000032768 | 0,00000000873813  | 0,00000000027962016  |
| 1059,375   | 191,1274 | 0,1876736 | 0,0000036864 | -0,0000000131072  | -0,00000000034952528 |
| 1075       | 194,0598 | 0,1877696 | 0,000003072  | 0,00000000873813  | 0,00000000034952528  |
| 1090,625   | 196,9937 | 0,1878784 | 0,0000034816 | -0,00000000873813 | -0,00000000027962016 |
| 1106,25    | 199,9293 | 0,1879744 | 0,000003072  | 0,00000000436907  | 0,0000000002097152   |
| 1121,875   | 202,8664 | 0,1880768 | 0,0000032768 | 0                 | -0,0000000006990512  |
| 1137,5     | 205,8051 | 0,1881792 | 0,0000032768 | -0,00000000436907 | -0,0000000000990512  |
| 1153,125   | 208,7454 | 0,1882752 | 0,000003072  | 0                 | 0,0000000006990512   |
| 1168,75    | 211,6872 | 0,1883712 | 0,000003072  | 0                 | 0                    |
| 1184,375   | 214,6305 | 0,1884672 | 0,000003072  |                   |                      |
| 1200       | 217,5753 |           |              |                   |                      |

Tabela 2 – Podijeljene razlike četvrtog reda

Na osnovu rezultata dobivenih u Tabeli 2 je

$$\max_i [x_i, x_{i+1}, x_{i+2}, x_{i+3}, x_{i+4}; f] = 0,00000000034952528,$$

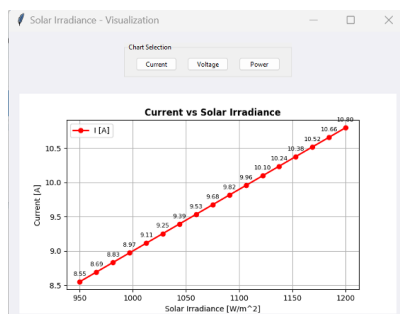
pa je greška kompozitne Simpsonove formule

$$|R_{16}| \leq 0.00002893518.$$

#### 4. Implementacija i vizualizacija predložene metode u Pythonu

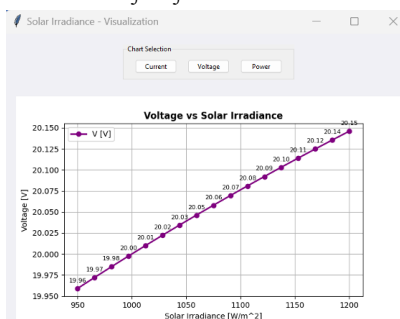
Ovaj dio rada opisuje grafički korisnički interfejs (GUI) razvijen u Python programskom okruženju. GUI je dizajniran da korisnicima pruži jasnu vizualizaciju varijacija napona, struje i snage koje proizvodi fotonaponski (PV) panel tokom analize. Glavni cilj je ocijeniti efikasnost predložene metode za praćenje maksimalne tačke snage (MPPT), koja se zasniva na kompozitnom Simpsonovom pravilu. Analiza se provodi u vremenskom intervalu od 11:00 do 13:00 sati, periodu kada solarna iradijacija obično dostiže najviše vrijednosti, što odgovara uslovima pod kojima PV panel radi najbliže svojoj maksimalnoj tački snage. Specifične vrijednosti iradijacije izmjerene tokom ovog perioda prikazane su u Tabeli 1, u odjeljku 3 ovog rada.

Na Slici 2 prikazan je GUI na kojem se može vidjeti dijagram generisane struje u zavisnosti od promjene sunčeve radijacije u vremenskom intervalu od 2 sata. Na Slici 2 može se vidjeti da struja pokazuje pozitivnu linearnu povezanost s rastućom sunčevom radijacijom. Kako se sunčeva radijacija povećava, više fotona udara u površinu PV ćelije, pobuđujući više elektrona, čime se generiše veća struja. Ovo ponašanje je u skladu sa fotonaponskim principom prema kojem je generisanje struje direktno proporcionalno intenzitetu svjetlosti. Kriva je glatka i konzistentna, što ukazuje na stabilno ponašanje sistema i minimalne gubitke u generisanju struje kako sunčeva radijacija raste.



Slika 2 – Generisana struja u zavisnosti od promjene sunčeve radijacije

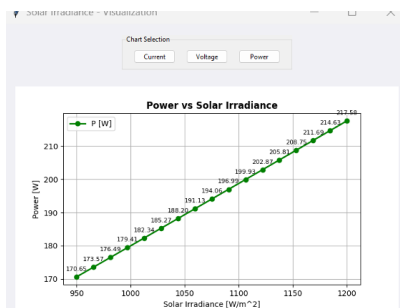
Na Slici 3 prikazan je GUI na kojem se može vidjeti dijagram generisanog napona u zavisnosti od promjene sunčeve radijacije u vremenskom intervalu od 2 sata.



Slika 3 – Generisani napon u zavisnosti od promjene sunčeve radijacije

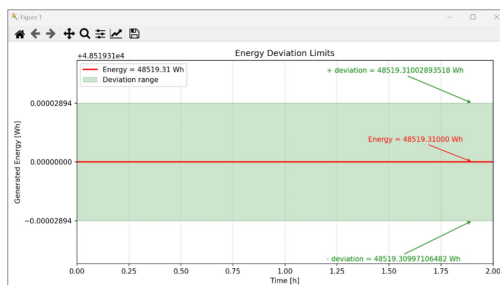
Na Slici 3 može se vidjeti da je napon manje osjetljiv na sunčevu radijaciju u odnosu na struju. Kriva napona pokazuje blagu tendenciju rasta, što je i očekivano. Kako sunčeva radijacija raste, temperatura ćelije može također porasti, što blago smanjuje napon, ali u ovom slučaju efekat povećane sunčeve radijacije prevladava. To znači da se radna tačka nalazi blizu maksimalne tačke snage (MPP) pod svim uslovima sunčeve radijacije, te da PV panel radi optimalno.

Na Slici 4 prikazan je GUI na kojem se može vidjeti dijagram izlazne snage (2) PV panela kao funkcije sunčeve radijacije.





različitim nivoima sunčeve radijacije. Slika 5 prikazuje odstupanje ukupne energije generisane od strane PV panela od  $\pm 0,00002893518$ , što odgovara numeričkoj grešci kompozitnog Simpsonovog pravila (7).



Slika 5 – Greška kompozitnog Simpsonovog pravila

Minimalna greška pokazuje visoku tačnost i efikasnost predložene metode u određivanju maksimalne tačke snage (MPPT), što je ključno za osiguranje optimalne iskoristivosti energije u fotonaponskim sistemima.

## 5. Zaključak

U ovom radu je prikazana detaljna analiza primjene kompozitnog Simpsonovog pravila kao numeričke metode za procjenu maksimalne tačke snage (MPPT) za opisani fotonaponski (PV) modul. Počeli smo matematičkim modeliranjem električnog ponašanja jedne PV ćelije bazirane na modelu s jednim diodom, uzimajući u obzir ključne parametre kao što su struja generisana svjetlom, struja zasićenja diode, serijski i paralelni otpori, temperatura i faktor idealnosti diode. Izvedene su i grafički prikazane I-V i P-V karakteristike standardne PV ćelije, što predstavlja osnovu za razumijevanje performansi korištenog PV modula. Predložena MPPT metoda, zasnovana na kompozitnom Simpsonovom pravilu, primijenjena je zatim na PV modul za izračun ukupne energije proizvedene tokom definisanog vremenskog intervala integracijom izlazne snage u odnosu na vrijeme. Rezultati dobijeni simulacijom pokazali su visok nivo tačnosti u praćenju maksimalne tačke snage i izračunu odgovarajuće generisane energije. Ovi rezultati potvrđuju efikasnost predložene numeričke metode kao jednostavnog i korisnog alata za optimizaciju PV sistema.

Predložena metoda se može koristiti, kako je opisano u radu, ali se također može lako unaprijediti, uključujući njenu integraciju u digitalne upravljačke sisteme u stvarnom vremenu za MPPT u ugrađenim (embedded) okruženjima. Također, ima primjenu u složenijim konfiguracijama PV modula pod djelimičnim zasjenjenjem ili dinamički promjenjivim uslovima okoline. Ovaj rad ne samo da demonstrira integraciju kompozitnog Simpsonovog pravila u fotonaponskim sistemima, već i naglašava njegov potencijal za proširenje na druge sisteme obnovljive energije i različite tehnološke domene. Kompozitno Simpsonovo pravilo ima značajan potencijal za prilagođavanje u drugim aplikacijama obnovljive energije, kao i u širim tehnološkim i računarskim oblastima. Štaviše, može se efikasno koristiti u sistemima gdje je cilj izračunavanje vrijednosti integrala kada funkcija nije eksplicitno definisana, kao i za procjenu pripadajuće greške, što se često koristi za kvantifikaciju odstupanja od referentnih ili očekivanih vrijednosti.

# INTEGRATION OF COMPOSITE SIMPSON'S RULE FOR MPPT ESTIMATION IN PV SYSTEMS FOR GREEN TRANSITION APPLICATION

**Summary:** The transition to sustainable and green energy systems increasingly relies on the integration of intelligent digital methods that increase the efficiency of renewable technologies. In this paper is proposed a digital approach to estimate the maximum power point (MPP) of photovoltaic (PV) systems using composite Simpson's rule, a numerical integration technique, under different irradiance conditions while maintaining a constant temperature.

The proposed method for estimating MPPT in PV systems approximates the power-voltage P-V curve of a PV panel and determines the point at which maximum power is delivered. By simulating multiple sun irradiance scenarios while maintaining a constant temperature, it is demonstrated how the proposed method can be effectively applied to support MPPT without the need for complex real-time hardware. The proposed method is implemented in Python, offering a simple, fast, and energy-efficient estimation technique. This approach contributes to the digitalization of energy systems and aligns with the goals of green transition and sustainable development.

**Keywords:** Photovoltaic systems, Green economy, Renewable Energy Sources, Maximum Power Point Tracking (MPPT), Composite Simpson's rule, Numerical integration, Energy Optimization.

## Literatura

1. Una Drakulić: Application of Fuzzy Logic as one of the AI methodology solutions for optimal efficiency of solar energy system, At Scientific/scientific-professional conference "Artificial intelligence in Bosnia and Herzegovina - research, application and development perspectives", Mostar, 2024.
2. Una Drakulić: Designing a Neural Network for Energy-Efficient Solar System Using Python, Conference: 16th Days of BHAAAS (Bosnian-Herzegovinian American Academy of Arts and Sciences) / the International Symposium on Innovative and Interdisciplinary Applications of Advanced Technologies (IAT 2025), Paper accepted 22. 4. 2025.
3. Una Drakulić and Branko Blanuša: Using a fuzzy logic controller in photovoltaic power systems for maximizing PV array efficiency, In IOP Conference Series Materials Science and Engineering, December, 2023.
4. Una Drakulić, Branko Blanuša: Neural Network-Based MPPT for Solar Photovoltaic Energy Optimization, Conference: 16th Days of BHAAAS (Bosnian-Herzegovinian American Academy of Arts and Sciences) / the International Symposium on Innovative and Interdisciplinary Applications of Advanced Technologies (IAT 2025), Paper accepted 22. 4. 2025.
5. Zlatko Drmač, Vjeran Hari, Miljenko Marušić, Mladen Rogina, Sanja Singer, Saša Singer.: Elektronski udžbenik - Numerička analiza, Sveučilište u Zagrebu, PMF, Zagreb, 2003.
6. Jin Li, Zhaoqing Wang, Simpson's rule to approximate Hilbert integral and its application, Applied Mathematics and Computation, Volume 339, 2018, Pages 398-409, ISSN 0096-3003, <https://doi.org/10.1016/j.amc.2018.07.011>
7. Qian Li, Yongqiang Mou, Junxia Guan, Qinghua Su, Beiping Wu and Haiming Wu, "Composite simpson method based on differential evolution algorithm for numerical integral", 2016 12th International Conference on Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (ICNC-FSKD), Changsha, 2016, pp. 777-781, doi: 10.1109/FSKD.2016.7603274.
8. Vladimir Jovanović: Uvod u matematičku analizu, Univerzitet u Banjoj Luci, Banja Luka, 2015.
9. Endre Sulli, David Mayers.: An Introduction to Numerical Anlysis, Cambridge University Press, 2003.

# **OPTIMIZACIJA UGLA ZAKRETANJA LOPATICA VJETROTURBINE PRIMJENOM NEWTON-RAPHSON METODE**

**mag. math. Sajra Kasić Kurtagić**  
Tehnički fakultet, Univerzitet u Bihaću

**mag. math. Melisa Haurdić**  
Tehnički fakultet, Univerzitet u Bihaću

**mag. ing. el. Una Drakulić**  
Tehnički fakultet, Univerzitet u Bihaću

**Sažetak:** Prelazak na obnovljive izvore energije predstavlja jednu od najvažnijih i najaktivnijih globalnih aktivnosti u cilju smanjenja emisije štetnih gasova, povećanja energetske nezavisnosti i očuvanja životne sredine. Kao rezultat toga, intenzivno se razvijaju nove tehnologije i metode optimizacije energetskih sistema zasnovanih na obnovljivim izvorima. Jedan od ključnih sistema koji se masovno instaliraju u svim regijama svijeta s povoljnim meteorološkim uslovima su vjetroturbine, odnosno energetski sistemi koji koriste energiju vjetra. Fizikalna osnova optimizacije ugla zakretanja lopatica vjetroturbine ogleda se u efikasnoj iskoristivosti kinetičke energije vjetra, čija brzina direktno utječe na snagu koju turbina može generisati, pri čemu se rotacionim kretanjem lopatica kinetička energija pretvara u mehaničku, a zatim u električnu energiju. U ovom radu predstavljena je metoda optimizacije ugla zakretanja lopatica vjetroturbine korištenjem Newton-Raphson numeričkog postupka.

Cilj istraživanja je odrediti optimalni ugao zakretanja (pitch angle) koji omogućava maksimizaciju ili održavanje proizvodnje snage vjetroturbine na nominalnom nivou u zavisnosti od brzine vjetra, brzine rotora i ostalih operativnih parametara. Na osnovu poznatih ulaznih vrijednosti kao što su brzina vjetra, gustoća zraka, prečnik rotora i koeficijent snage, razvijen je matematički model sistema. Newton-Raphson metoda korištena je za brzo i efikasno određivanje ugla zakretanja pri kojem turbina dostiže željeni nivo snage. Navedena numerička metoda je pogodna za ovaj problem jer konvergira za svega nekoliko iteracija pri čemu su i funkcija i njen izvod analitički poznati.

Grafička analiza odnosa između proizvedene snage i ugla zakretanja realizovana je u MATLAB okruženju. Predložena metoda pokazuje visoku efikasnost i preciznost, a može se primijeniti u optimizaciji rada vjetroturbina u realnim uslovima i u dizajnu naprednih kontrolnih algoritama za vjetroat energetske sisteme.

**Ključne riječi:** Pitch angle, ugao zakretanja lopatica, vjetroturbine, obnovljivi izvori energije, energetski sistemi, Newton-Raphson metoda, numerička metoda

## **1. Uvod**

U današnje vrijeme je sve više prisutan globalni prelazak s fosilnih na obnovljive izvore energije. U tom pogledu veliki značaj se ogleda u zelenoj digitalizaciji, tj. paralelnom razvoju tehnologija koje omogućavaju maksimalno iskorištavanje, konverziju energije i njeno usmjeravanje krajnjem potrošaču. Jedan od načina iskoristivosti energije su svakako vjetroturbine koje pretvaraju kinetičku energiju vjetra u mehaničku, a zatim i u električnu energiju. Veliki značaj navedene konverzije je da se odvija bez emisije štetnih gasova ispunjavajući zahtjeve ka održivom razvoju i zelenoj ekonomiji.

Značajan broj naučno-istraživačkih radova fokusiran je na optimizaciju rada vjetroturbina s ciljem povećanja njihove efikasnosti i prilagodljivosti u realnim vremenskim uslovima. Što se tiče vjetroenergetskih sistema, veliki fokus je stavljen na određivanje ugla zakretanja lopatica vjetroturbine (engl. pitch angle) kao i njegov utjecaj na stabilnost cijelog vjetroenergetskog sistema i optimizaciju generisane snage blizu nominalne vrijednosti. Numeričke metode, poput Newton-Raphsonove, posebno su korisne u određivanju optimalnih operativnih tačaka jer omogućavaju brzo i efikasno nalaženje rješenja nelinearnih jednačina uz visoku tačnost i mali broj iteracija, zahvaljujući korištenju informacije o derivaciji funkcije kako bi se ubrzala konvergencija ka željenoj vrijednosti. U radu [1] se opisuje primjena adaptivne kontrole zakretanja ugla lopatica vjetroturbine kako bi se poboljšala stabilnost sistema pri naglim promjenama brzine vjetra. U ovom radu Newton-Raphson metoda je korištena za određivanje tačaka stabilnog rada vjetroenergetskog sistema. Još jedan od mnogih radova, rad [2], istražuje adaptivne strategije kontrole zakretanja lopatica za smanjenje zamora lopatica kod velikih vjetroturbina koristeći optimizacione algoritme za poboljšanje efikasnosti. Također, rad [3], koji je objavljen u časopisu *Frontiers in Energy Research* 2024. godine, istražuje pouzdanost hibridnog obnovljivog energetskog sistema koristeći kombinaciju Monte Carlo simulacija i Newton-Raphson metode. Iako se fokusira na hibridne sisteme, zaključci ovog rada mogu biti relevantni za razumijevanje efikasnosti Newton-Raphson metode u kontekstu optimizacije vjetroenergetskih sistema. Postoji još mnogo sličnih radova koji su izučavani prilikom istraživanja predložene metode od kojih je samo nekoliko navedenih u literaturi, kao što su [4]-[11].

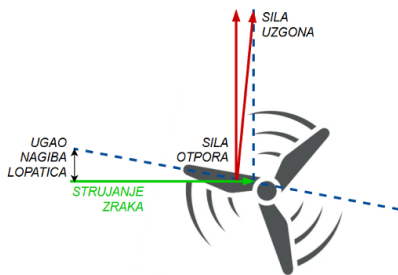
U ovom radu je predstavljen detaljan postupak određivanja optimalnog ugla zakretanja lopatica vjetroturbine primjenom numeričke Newton-Raphson metode. Problem je formulisan kao rješavanje nelinearne jednačine koja povezuje ugao zakretanja (engl. pitch angle) sa proizvedenom električnom snagom vjetroturbine. Ta veza uključuje parametre poput brzine vjetra, koeficijenta snage ( $C_p$ ), rotacione brzine, gustoće zraka i prečnika rotora. Newton-Raphson metoda se koristi za iterativno nalaženje ugla pri kojem vjetroturbina proizvodi snagu što bližu nominalnoj vrijednosti, uz uslov da derivacija funkcije (tj. promjena snage u odnosu na ugao zakretanja) bude poznata i analitički izražena. Ovakav pristup omogućava brzu konvergenciju ka tačnom rješenju s minimalnim brojem iteracija, što je od posebnog značaja za real-time optimizaciju u sistemima upravljanja vjetroturbinama.

Na kraju rada donesen je zaključak o efikasnosti primjene Newton-Raphson metode u optimizaciji ugla zakretanja lopatica vjetroturbine, pri čemu je pokazano da metoda omogućava brzo i precizno određivanje operativne tačke u kojoj turbina dostiže ili održava nominalnu snagu. Provedena analiza koja je opisana u četvrtom dijelu radu je potvrdila da ovaj numerički pristup može imati značajnu primjenu u razvoju naprednih sistema automatskog upravljanja vjetroturbinama, posebno u uslovima promjenjivih brzina vjetra.

## 2. Analiza veze između ugla zakretanja lopatica i generisane električne snage u vjetroenergetskom sistemu

Za postizanje maksimalne proizvodnje električne energije iz vjetroturbine, ključno je izračunavanje optimalnog ugla zakretanja lopatica, što zahtijeva razumijevanje fizikalnih zakona koji upravljaju dinamikom sistema vjetroturbine. Dolaskom zraka na lopatice vjetroturbine dolazi do razlike pritiska između gornje i donje strane vjetroturbine

što za posljedicu ima pojavu sile uzgona. Sporije kretanje zraka na donjoj strani lopatice vjetroturbine rezultira povećanjem zraka u odnosu na gornju stranu lopatice i pojavu sile uzgona koja generiše rotacijski moment na rotoru. Sila uzgona djeluje okomito na pravac strujanja zraka i ključna je za pokretanje rotora. Važno je napomenuti da postoji i trenje između lopatica i čestica zraka koji pružaju otpor smanjujući brzinu rotacije rotora i efikasnost vjetroturbine. Pomenuta sila otpora djeluje paralelno sa smjerom strujanja suprotstavljajući se kretanju lopatice. Ugao zakretanja lopatica (engl. pitch angle) ključan je za efikasno iskorištavanje energije vjetra, što je direktno u vezi sa silom uzgona i otpora.



Slika 1 – Sila uzgona i otpora na lopaticama vjetroturbine

Pravilnim podešavanjem ugla zakretanja lopatica optimizuje se aerodinamičko ponašanje rotora, čime se postiže maksimalan prenos kinetičke energije vjetra u mehaničku energiju rotacije. Optimalan ugao prvenstveno zavisi od brzine vjetra, a njegovo precizno određivanje omogućava stabilan rad vjetroturbine i maksimalnu proizvodnju električne energije. Kinetička energija koja se javlja zbog prolaska čestica zraka kroz rotor vjetroturbine opisana je relacijom:

$$E_K = \frac{mv^2}{2}, \quad (1)$$

gdje je  $m$  masa zraka, a  $v$  brzina strujanja čestica zraka.

Snaga koju vjetroturbina generiše zavisi od sljedećih parametara: brzine vjetra  $v$ , gustine zraka  $\rho$ , površine rotora  $S$  i koeficijenta snage  $C_p$ , koji se optimizira promjenom ugla zakretanja lopatica vjetroturbine, što je dato relacijom:

$$P = \frac{1}{2} \rho S v^3 C_p. \quad (2)$$

Povećanjem ugla zakretanja lopatica vjetroturbina smanjuje se sila uzgona, a povećava otpor, čime se smanjuje mehanička snaga koju rotor može prenijeti na generator. Obrnuto, kod manjeg ugla zakretanja, lopatice vjetroturbine zahvataju više vjetra, ali riziikuju preopterećenje vjetroatrgetskog sistema ako snaga koju vjetroturbina generiše bude veća od nominalne vrijednosti. U cilju regulacije snage i stabilnosti vjetroturbine vrši se podešavanje ugla lopatica vjetroturbine s ciljem da snaga ostane unutar nominalnih granica, posebno pri većim brzinama vjetra. Relacija koja povezuje generisanu snagu i efektivni ugao sile je

$$P(\varphi) = k \cdot \cos \varphi \quad (3)$$

gdje je  $k$  konstanta proporcionalnosti koja zavisi od parametara vjetroturbine kao što su brzina vjetra, površina rotora i gustoća zraka, a  $\varphi$  efektivni ugao između sile vjetra

i pravca sile. Problem optimalnog određivanja ugla zakretanja lopatica vjetroturbine svodi se na rješavanje nelinearne jednačine i određivanja vrijednosti ugla  $\varphi$  za koju snaga turbine dostiže tačno nominalnu vrijednost  $P_{nom}$

$$f(\varphi) = k \cdot \cos \varphi - P_{nom} \quad (4)$$

Za određivanje tog ugla razvijene su različite metode, a u ovom radu predlaže se primjena numeričke Newton-Raphson metode radi efikasnog i tačnog izračuna optimalnog ugla zakretanja  $\varphi$ . Optimizacija navedenih parametara, prvenstveno ugla zakretanja lopatica vjetroturbine, ključno je za postizanje maksimalne efikasnosti i pouzdanosti vjetroenergetskog sistema.

### 3. Newton-Raphson metoda i matematičko modelovanje

Newton-Raphsonova metoda podrazumijeva aproksimaciju neprekidne funkcije  $f$  pomoću njene tangente. Pretpostavimo da je funkcija  $f(x)$  naprekidna na  $[a, b]$ , te da ima prvu i drugu derivaciju na datom segmentu, tj.  $f(x) \in C^2 [a, b]$ . Ako vrijedi da je  $f(a) \cdot f(b) < 0$ , to znači da  $f(x)$  ima nultačku na  $[a, b]$ . Neka je  $x_0 \in [a, b]$  početna aproksimacija. Geometrijski, navedena numerička metoda podrazumijeva konstrukciju tangente u tački  $(x_0, f(x_0))$ , čiji presjek s osom  $x$  daje novu aproksimaciju [14].

Razvojem funkcije  $f(x)$  u Taylorov red u okolini tačke  $x_0$ , funkcija  $f(x)$  se aproksimira linearnom funkcijom

$$g(x) = f(x_0) - (x - x_0)f'(x_0) \quad (5)$$

Umjesto rješavanja jednačine

$$f(x) = 0, \quad (6)$$

rješava se jednačina

$$g(x) = 0, \quad (7)$$

odnosno

$$f(x_0) - (x - x_0)f'(x_0) = 0 \quad (8)$$

Sređivanjem izraza (8) dobije se

$$x = x_0 - \frac{f(x_0)}{f'(x_0)}. \quad (9)$$

Označi li s  $x_1$  rješenje jednačine (7), odnosno (8), onda se dobije

$$x_1 = x_0 - \frac{f(x_0)}{f'(x_0)}. \quad (10)$$

Ponavljajući navedeni postupak dobija se niz aproksimacija oblika

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}. \quad (11)$$

*Teorem 1.* Neka funkcija  $f: I \rightarrow \mathbb{R}$  ima neprekidnu drugu derivaciju na segmentu  $I = [a, b]$ . Neka je nadalje  $f(a) \cdot f(b) < 0$ , a prva i druga derivacija funkcije  $f$  na intervalu  $I$  imaju stalni predznak. Tada, ako je  $x_0 \in I$  izabran tako da je

$$f(x_0) \cdot f''(x_0) > 0, \quad (12)$$

niz definisan s (11), gdje je  $n=0, 1, \dots$  konvergira prema jedinstvenom rješenju  $\xi$  jednačine (6).

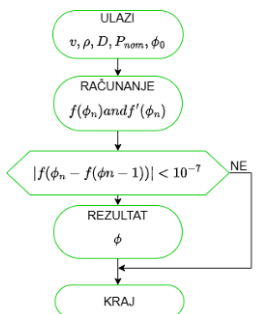
### 3.1. Primjena Newton-Raphson metode za optimizaciju ugla zakretanja lopatica vjetroturbine

Newton-Raphsonova metoda ima kvadratnu brzinu konvergencije kada se početna tačka nalazi dovoljno blizu rješenja, što znači da se tačno rješenje može postići u vrlo malom broju iteracija. To je jedna od osnovnih prednosti korištenja navedene metode za optimizaciju ugla zakretanja lopatica vjetroturbine. Pored toga, funkcija (4), koja ovisi o uglu zakretanja lopatica, je tipično nelinearna i glatka, što je gotovo idealno za Newton-Raphsonovu metodu, budući da koristi njen prvi izvod

$$f'(\varphi) = k \sin \varphi \quad (12)$$

U nastavku rada analizirana je primjena predložene metode na konkretan vjetroenergetski sistem, pri čemu su korišteni tehnički parametri preuzeti iz standardnog vjetroenergetskog modela zasnovanog na tipu vjetroturbine implementiranom u MATLAB/Simulink okruženju – Wind Turbine Type 4 (PMSG-based). Ovaj tip turbine, koji koristi permanentno pobuđeni sinhroni generator i potpuno upravljani pretvarač između generatora i mreže, odlikuje se visokom efikasnošću i pouzdanošću. Zahvaljujući njegovim naprednim karakteristikama, omogućeno je precizno izvođenje simulacija i eksperimentalna potvrda efikasnosti predložene Newton-Raphson metode. Na Slici 2 je prikazan algoritam iterativnog postupka Newton-Raphsonove metode korištene za izračunavanje optimalnog ugla zakretanja lopatica vjetroturbine gdje su korišteni sljedeći tehnički parametri:

- brzina vjetra  $v=12$  m/s,
- nominalna snaga  $P_{nom}=8,5 \cdot 10^3$  W,
- gustoća zraka  $\rho=1,225$  kg/m<sup>3</sup>,
- poluprečnik rotora  $R=20$  m,
- optimalni koeficijent snage  $C_p=0,45$ .



Slika 2 - Algoritam iterativnog postupka Newton-Raphsonove metode

Za izračunavanje snage koju vjetroturbina može proizvesti prvo je potrebno odrediti površinu presjeka rotora koja se računa prema izrazu

$$S = R^2 \pi \quad (13)$$

Na osnovu zadanih parametara slijedi da je  $S=(20\text{m})^2\pi=1256\text{m}^2$ . Nakon toga, potrebno je izračunati konstantu proporcionalnosti vjetra  $k$  prema formuli

$$k = \frac{1}{2} \rho S C_p v^3, \quad (14)$$

odnosno

$$k = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1256 \text{m}^2 \cdot \left(12 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 = 598207,68.$$

Vrijednost konstante  $k$  koristi se u izrazu za određivanje ugla, odnosno za primjenu Newton-Raphsonove metode, gdje prema (11) slijedi

$$\varphi_{n+1} = \varphi_n - \frac{f(\varphi_n)}{f'(\varphi_n)}. \quad (15)$$

Za početni ugao uzimamo  $\varphi_0 = \pi/3 = 1,0471975512$  rad, te prema (15) slijedi:

$$\varphi_1 = 1,0471975512 - \frac{598207,68 \cdot \cos(1,0471975512) - 8,5 \cdot 10^3}{-598207,68 \cdot \sin(1,0471975512)} = 1,6081406$$

Kao rezultat prve iteracije dobijen je ugao  $\varphi_1 = 1,6081406$  rad = 92,139669°.

Slijedi iterativni proces i dobijaju se sljedeće vrijednosti ugla  $\varphi$ .

|   | $\varphi[\text{rad}]$ | $\varphi[^\circ]$ |
|---|-----------------------|-------------------|
| 0 | 1,0471975512          | 60                |
| 1 | 1,6081406             | 92,139669         |
| 2 | 1,5565599             | 89,184313         |
| 3 | 1,5565867             | 89,185848         |
| 4 | 1,5565867             | 89,185848         |

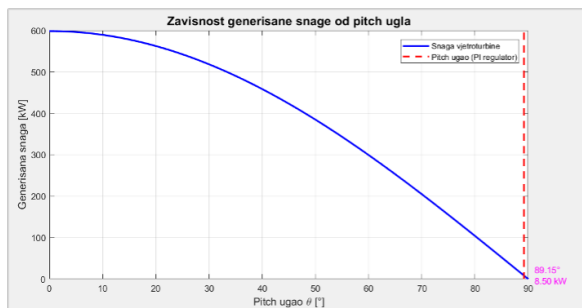
Tabela 1 - Dobijene vrijednosti ugla zakretanja lopatica vjetroturbine primjenom Newton-Raphsonove metode

Iterativni postupak se zaustavlja u trenutku kada su dvije uzastopne vrijednosti ugla identične do tačnosti od  $\varepsilon = 10^{-7}$ , konkretno  $\varphi_3 = \varphi_4 = 1,5565867$  rad = 89,185848°. Na osnovu toga, zaključuje se da je metoda konvergirala i da je dobijeno rješenje dovoljno precizno za dalju primjenu. S obzirom na to da se vrijednosti nisu promijenile do sedme decimalne cifre, može se smatrati da je postignuta numerička stabilnost unutar tolerancije reda veličine  $10^{-7}$ , te ugao zakretanja lopatice treba biti  $\varphi = 1,5565867$  rad = 89,185848° da bi vjetroturbina generisala snagu koja je približna vrijednosti nominalne snagu tj,  $P_{\text{nom}} = 8,5 \cdot 10^3 \text{W}$ .

#### 4. Uporedna analiza Newton-Rapson metode i klasičnog PI regulatora za optimizaciju ugla zakretanja lopatica vjetroturbine

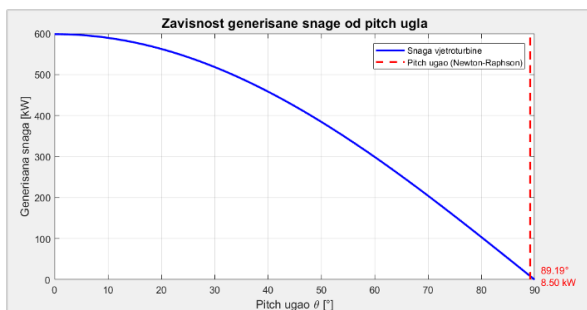
Za razliku od PI regulatora koji zahtijeva precizno podešavanje proporcionalnog (P) i integracionog (I) koeficijenta u skladu s dinamičkim karakteristikama konkretnog sistema, Newton-Raphson metoda koristi matematički model funkcije performansi, najčešće u obliku koeficijenta iskorištenja snage, za direktno određivanje optimalnog ugla zakretanja lopatica. PI regulator funkcioniše na osnovu greške između referentne i stvarne izlazne vrijednosti, te na osnovu te greške generiše upravljački signal. Ovakav pristup često zahtijeva opsežnu eksperimentalnu kalibraciju, osjetljiv je na promjene radnih uslova i ne garantuje konvergenciju prema globalnom optimumu [19]. S druge strane, Newton-Raphson metoda je deterministički numerički algoritam koji, uz poznatu funkciju i njen izvod, omogućava brzo i precizno lociranje stacionarnih tačaka funkcije, odnosno operativnih tačaka gdje turbina generiše maksimalnu ili nominalnu snagu. Ova metoda je posebno pogodna za probleme gdje je funkcionalna zavisnost poznata ili može biti aproksimirana, čime se izbjegava potreba za empirijskim podešavanjem i povećava robusnost sistema.





Slika 3 - Dijagram zavisnosti generisane snage od pitch ugla (PI regulator)

Na Slici 3 prikazan je dijagram zavisnosti generisane snage kada se ugao zakretanja lopatica vjetroturbine određuje primjenom PI regulatora. U ovom slučaju dobijena vrijednost ugla je  $89,15^\circ$ , što znači da će ukupna generisana snaga vjetroturbine biti značajno manja, stvarajući veće gubitke. U poređenju s ovom metodom, na Slici 4 prikazan je dijagram zavisnosti generisane snage kada se ugao zakretanja lopatica vjetroturbine određuje primjenom Newton-Raphson metode. U ovom slučaju dobijena vrijednost ugla je  $89,19^\circ$ . Iako razlika između dobijenih uglova zakretanja iznosi samo  $0,04^\circ$ , u realnim uslovima rada vjetroturbine takvo odstupanje može dovesti do značajnih gubitaka u proizvodnji električne energije. Naime, i najmanja odstupanja od optimalnog ugla zakretanja lopatica direktno utječu na koeficijent iskorištenja energije vjetra, što se, u dugoročnom radu, akumulira u vidu smanjene efikasnosti i povećanih mehaničkih naprezanja sistema. Stoga je precizno određivanje ugla zakretanja od ključne važnosti za maksimiziranje energetskog učinka i dugoročnu pouzdanost vjetroturbine.



Slika 4 - Dijagram zavisnosti generisane snage od pitch ugla (Newton-Raphson metoda)

U poređenju s PI regulatorom, Newton-Raphson pristup pokazuje bržu konvergenciju, manju osjetljivost na promjene ulaznih parametara (npr. brzine vjetra), te veću preciznost u održavanju željenog nivoa generisane snage. U simulacionom okruženju predloženi metod je dao tačne i stabilne rezultate u svega nekoliko iteracija (u četvrtoj iteraciji), dok je PI regulator zahtijevao više pokušaja podešavanja parametara kako bi se postigla slična tačnost.

## 5. Zaključak

U vremenu ubrzanog tehničkog napretka i težnji ka sve većoj iskoristivosti obnovljivih izvora energije, jedan od najvećih potencijala je energija vjetra koja nastaje uslijed kretanja atmosferskih masa. Efikasnost konverzije kinetičke energije vjetra u električnu energiju ovisi od aerodinamičkih parametara poput ugla zakretanja lopatica, brzine vjetra, te kvalitete samog upravljanja vjetroenergetskim sistemom. Jedan od glavnih

faktora koji utječu na generisanu snagu vjetroturbine je optimizacija zakretanja ugla lopatica. Za rješavanje tog problema u radu je predložena numerička Newton-Raphson metoda. Prednost korištenja ove metode ogleda se u njenoj brzini konvergencije, visokoj preciznosti i determinističkoj prirodi koja omogućuje da za isti početni uslov metoda uvijek daje isti rezultat kroz predvidiv niz koraka bez potrebe za empirijskim podešavanjem. Takva stabilnost i pouzdanost algoritma je ključna za maksimiziranje generisane snage vjetroturbine i minimiziranje mehaničkih opterećenja. Rezultati simulacija potvrđuju da se korištenjem Newton-Raphson metode može ostvariti brza adaptacija na promjene brzine i smjera vjetra uz minimalnu stacionarnu grešku, za razliku od PI regulatora, koji kontinuirano prati trenutnu generisanu snagu i poredi je s nominalnom snagom. Iako PI regulator predstavlja jedno od najčešće korištenih metoda za podešavanje ugla zakretanja lopatica, aktivno se radi na istraživanju alternativnih metoda koje bi omogućile postizanje znatno preciznijih rezultata. Jedna od takvih metoda je Newton-Raphson metoda koja direktno rješava nelinearnu jednačinu za optimalni ugao, što omogućava bržu i tačniju konvergenciju ka rješenju kada je poznat matematički model sistema.

## OPTIMIZATION OF WIND TURBINE BLADE ROTATION ANGLE USING THE NEWTON-RAPHSON METHOD

**Summary:** The transition to renewable energy sources is one of the most important and active global activities aimed at reducing the emission of harmful gases, increasing energy independence and preserving the environment. As a result, new technologies and methods of optimization of energy systems based on renewable sources are intensively developed. One of the key systems that are massively installed in all regions of the world with favorable meteorological conditions are wind turbines, i.e. energy systems that use wind energy. The physical basis of optimizing the rotation angle of the wind turbine blades is reflected in the efficient utilization of the kinetic energy of the wind, the speed of which directly affects the power that the turbine can generate, whereby the rotational movement of the blades converts the kinetic energy into mechanical and then into electrical energy. This paper presents a method of optimizing the rotation angle of wind turbine blades using the Newton-Raphson numerical procedure. The goal of the research is to determine the optimal pitch angle, which enables the maximization or maintenance of wind turbine power production at the nominal level depending on wind speed, rotor speed and other operational parameters. Based on known input values such as wind speed, air density, rotor diameter and power coefficient, a mathematical model of the system was developed. The Newton-Raphson method was used to quickly and efficiently determine the pitch angle at which the turbine reaches the desired power level. The numerical method is suitable for this problem because it converges in just a few iterations, with both the function and its derivative being analytically known. A graphical analysis of the relationship between the power produced and the pitch angle was implemented in the MATLAB environment. The proposed method shows high efficiency and precision, and can be applied in the optimization of wind turbine operation in real conditions and in the design of advanced control algorithms for wind energy systems.

**Keywords:** Pitch angle, blade pitch angle, wind turbines, renewable energy sources, energy systems, Newton-Raphson method, numerical method

### Literatura

1. Ahsan, H., Kumar, A.W., Mufti, M.D. (2022). Adaptive Pitch Control of Wind Turbine Generator to Counter Transient Contingencies in a Multi Machine System. In: Kumar, S., Singh, B., Singh, A.K. (eds) Recent Advances in Power Electronics and Drives. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 852. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-9239-0\\_38](https://doi.org/10.1007/978-981-16-9239-0_38)
2. Manuel Lara, Juan Garrido, Mario L.Ruz, Francisco Vasquez. Adaptive Pitch Controller of a Large-Scale Wind Turbine Using Multi-Objective Optimization, Appl. Sci. 2021, 11(6), 2844; <https://doi.org/10.3390/app11062844>
3. Wulfran Fendezi Mbasso, Regan Jean Jacques Molu, Harrison Ambe, Serge Dzone Naoussi, Mohamed Alruwaili, Wael Mobarak, Yasser Aboelmagd. Realibility analysis of grid-connected hybrid renewable energy system using hybrid Monte-Carlo and Newton-Raphson methods, ORIGINAL RESEARCH articleFront. Energy Res., 20 August 2024Sec. Process and Energy Systems EngineeringVolume 12 - 2024 | <https://doi.org/10.3389/fenrg.2024.1435221>
4. Hao, W., Abdi, A., Wang, G., & Wu, F. (2023). Study on the Pitch Angle Effect on the Power Coefficient and Blade Fatigue Load of a Vertical Axis Wind Turbine. Energies, 16(21), 7279. <https://doi.org/10.3390/en16217279>

5. Lara, M., Mulders, S. P., van Wingerden, J.-W., Vázquez, F., & Garrido, J. (2024). Analysis of Adaptive Individual Pitch Control Schemes for Blade Fatigue Load Reduction on a 15 MW Wind Turbine. *Applied Sciences*, 14(1), 183. <https://doi.org/10.3390/app14010183>
6. Wang, W. (2024). Overview of Wind Turbine Pitch Angle Adjustment Model. *Journal of Computing and Electronic Information Management*, 15(3), 8–11. <https://doi.org/10.54097/ev1h2005>
7. S. Abdu Rahman, Mustafa & Hawas, Majli. (2020). Optimal Pitch Angle Control for Wind Turbine Using Intelligent Controller. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 745. 012017. 10.1088/1757-899X/745/1/
8. Ernesto Chavero-Navarrete, Mario Trejo-Perea, Juan Carlos Jáuregui-Correa Roberto Valentín Carrillo-Serrano Guillermo Ronquillo-Lomeli José Gabriel Ríos-Moreno, Pitch Angle Optimization for Small Wind Turbines Based on a Hierarchical Fuzzy-PID Controller and Anticipated Wind Speed Measurement, In *Appl. Sci.* 2021, 11(4), 1683; <https://doi.org/10.3390/app11041683>, Special Issue Wind Turbine Data, Analysis and Models: Volume II
9. MDPI and ACS Style Csurscia, P.Z.; Siddiqui, M.F.; Runacres, M.C.; De Troyer, T. Unsteady Aerodynamic Lift Force on a Pitching Wing: Experimental Measurement and Data Processing. *Vibration* 2023, 6, 29-44. <https://doi.org/10.3390/vibration6010003>
10. Muftah, Abdalsalam. CFD Modeling of Airfoil of wind turbine under different effect of operating conditions. *Sirte University Scientific Journal(Applied Sciences)* Vol.9(1) ,June 2019.
11. Gawade, Shashank. (2024). The Newton-Raphson Method: A Detailed Analysis. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 12. 729-734. 10.22214/ijraset.2024.65147.
12. Kim-Hung Pho, Improvements of the Newton–Raphson method, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, Volume 408, 2022, 114106, ISSN 0377-0427, <https://doi.org/10.1016/j.cam.2022.114106>.
13. S. R. K. Iyengar, R. K. Jain.: *Numerical Methods*, Published by New Age International (P) Ltd, Publishers, 2009.
14. Z. Drmač, V. Hari, M. Marušić, M. Rogina, S. Singer, S. Singer.: *Elektronski udžbenik - Numerička analiza*, Sveučilište u Zagrebu, PMF, Zagreb, 2003.
15. R. Scitovski.: *Numerička matematika*, Izmijenjeno i dopunjeno izdanje, Odjel za matematiku, Sveučilište u Osijeku, Osijek, 2015.
16. Eltamaly, Ali & A. Elghaffar, Amer & Mohamed, Yehia & Ahmed, Abou-Hashema. (2018). Optimum Power Flow Analysis by Newton Raphson Method, A Case Study.
17. Caleb Weinstein-Zenner, ECE '22. Newton-Raphson Method and its Application in Power Systems, ECE Senior Capstone Project, 2022 Tech Notes Sea Green
18. Stanko Janković, Bojan Ivanović, Application of combined Newton–Raphson method to large load flow models, *Electric Power Systems Research*, Volume 127, 2015, Pages 134-140, ISSN 0378-7796, <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2015.05.024>.
19. M. N. Anwar, S. Pan and S. Ghosh, "PI controller design for pitch control of large wind turbine generator," 2015 International Conference on Energy, Power and Environment: Towards Sustainable Growth (ICEPE), Shillong, India, 2015, pp. 1-6, doi: 10.1109/EPETSG.2015.7510104.

# **PRIMJENA MEHATRONIKE U DIZAJNU I IMPLEMENTACIJI SISTEMA ZA NAVODNJAVANJE**

**dr. sc. Almir Osmanović, van. prof**  
Mašinski fakultet, Univerzitet u Tuzli

**dr. sc. Jasmin Halilović, docent**  
Mašinski fakultet, Univerzitet u Tuzli

**Vedad Bešić, bachelor ing. mašinstva**  
Mašinski fakultet, Univerzitet u Tuzli

**Amir Emkić, bachelor ing. mašinstva**  
Mašinski fakultet, Univerzitet u Tuzli

**Sažetak:** Navodnjavanje predstavlja ključni faktor u uspješnom uzgoju poljoprivrednih kultura, pri čemu optimalno doziranje vode zavisi od niza složenih varijabli, uključujući tip kulture, vrstu tla, specifičnosti sistema za navodnjavanje i dostupnost vodnih resursa. Tradicionalni pristupi navodnjavanju često se suočavaju s izazovima u postizanju precizne kontrole i efikasnosti, što naglašava potrebu za integracijom naprednih tehnologija. Ovaj rad predstavlja razvoj automatiziranog sistema za navodnjavanje zasnovanog na mehatroničkim principima, s ciljem optimizacije procesa i povećanja produktivnosti. Osnovu sistema čini programabilni logički kontroler (PLC) koji služi kao centralna upravljačka jedinica. Programabilni logički kontroler u interakciji sa senzori-ma za monitoring uslova okoline donosi odluke o aktiviranju izvršnih uređaja, čime se osigurava precizno i adaptivno navodnjavanje. Implementacija ovakvog sistema omogućava efikasnije korištenje vodnih resursa, smanjenje troškova i poboljšanje prinosa, što ga čini ključnim alatom u savremenim sistemima za navodnjavanje.

**Ključne riječi:** mehatronika, automatika, automatsko navodnjavanje, automatizacija, programabilni logički kontroleri.

## **1. Uvod**

Automatizacija je interdisciplinarna grana tehnike i inženjerska nauka koja obuhvata mjere za automatizaciju mašina i opreme da bi bile u mogućnosti djelovati nezavisno i bez učešća ljudi [1], [2]. Kako svjetska populacija svakim danom raste, tako raste i potreba za intenzivnijom proizvodnjom hrane. Da bi se ovi zahtjevi mogli ispuniti, neophodno je primijeniti savremene sisteme mehanizacije i automatizacije. U ovom radu će biti pojašnjeno kako se sistemi mehanizacije i automatizacije mogu primijeniti u procesu uzgoja jagoda, s fokusom na sistem za navodnjavanje jagoda, na prostoru općine Čelić i okoline. Mještani općine Čelić i okoline se dugi niz godina bave uzgojem jagoda, prvenstveno zbog povoljnih klimatskih uslova i dostupnih vodnih resursa koji su prisutni na ovim prostorima. Kada se govori o stepenu mehanizacije i automatizacije na ovom prostoru, može se reći da je prisutan srednji stepen mehanizacije prilikom izvršavanja radova neophodnih za uzgoj ove vrste voća i veoma nizak ili nikakav stepen automatizacije [3]. Ukoliko poljoprivredni proizvođači s ovih prostora imaju intencije da povećavaju svoje proizvodne kapacitete u narednom periodu, to će biti teško ostvarivo bez sistema napredne automatizacije. Povećanje proizvodnih kapaciteta zahtijeva

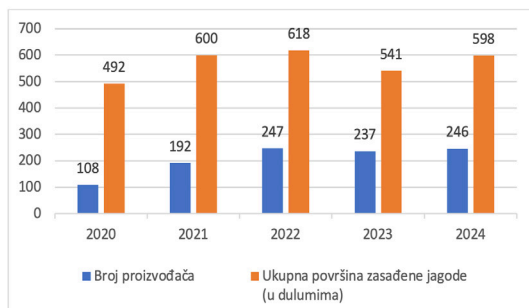
podizanje većih zasada poljoprivredne kulture, a veći zasadi zahtijevaju više rada i bolje upravljanje proizvodnjom. Međutim, svjedoci smo da klimatske promjene koje su evidentne zadnjih godina nikako ne idu u prilog proširivanju proizvodnih kapaciteta, te će biti zanimljivo posmatrati kako će se odvijati procesi uzgoja poljoprivrednih kultura u Bosni i Hercegovini i u svijetu. Godine 2024. jagoda je na prostoru Čeličke općine počela sa zrenjem čak 20 do 30 dana prije uobičajnog. Razlog tome je bila topla zima bez snježnih padavina. Nedostatak padavina je uzrokovao i smanjenje vodnih resursa koji se koriste za navodnjavanje poljoprivrednih zasada. Kada se imaju tako ograničeni resursi, potrebno je izvršiti kvalitetno upravljanje takvim resursima koristeći tehnologije dostupne na tržištu. Jedna od takvih tehnologija je tehnologija automatizacije primijenjena pri postupku navodnjavanja. Početna ulaganja za upotrebu ove tehnologije su visoka, ali njena implementacija je svakako jedno od rješenja koje treba razmotriti u svrhu rješavanja navedenih problema.

## 2. Način uzgoja jagoda na prostoru općine Čelić

Čelić je gradić i općina u sjeveroistočnom dijelu Bosne i Hercegovine na brežuljkastim i blago brdovitim padinama Majevice i dijelovima ravne Bosanske Posavine, nadmorske visine od 140 do 711 metara. Decenijama se mještani ovih krajeva bave uzgojem jagodičastog, bobičastog te drugih vrsta voća. Međutim, jagoda je zaštitno lice ovog podneblja. Zadnjih 15 - 20 godina proizvođači jagodu uzgajaju na foliji zbog niza prednosti koje ovaj način uzgoja nudi za razliku od uzgoja jagoda na zemlji (Slika 1.a). Također, proteklih 5 - 7 godina proizvođači s ovih prostora su se odlučili na proizvodnju jagode pod visokim tunelima (plastenicima), što im obezbjeđuje bolji kvalitet jagode a i brži izlazak na bosanskohercegovačko i strano tržište (Slika 1.b). Broj proizvođača kao i ukupna površina zasada jagoda na prostorima općine Čelić tokom proteklih 5 godina prikazani su na Slici 2. Čak 90 - 95% ovih zasada jagode je pod visokim tunelima (plastenicima).



Slika 1 - Način uzgoja jagoda: a) na foliji, b) visokim tunelima (plastenicima)



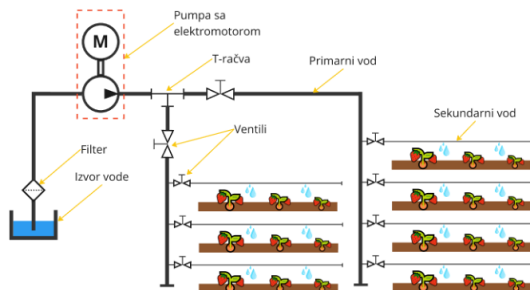
Slika 2 - Broj proizvođača i ukupne površine zasađene jagode na prostoru općine Čelić

### 3. Primjena automatizacije u procesu uzgoja jagoda

Kako su posljednjih godina prisutne klimatske promjene, koje nerijetko znaju izazvati veoma sušne periode u godini, tako se povećavaju potrebe za navodnjavanjem poljoprivrednih kultura vještačkim putem. Pod pojmom vještačkog navodnjavanja se misli na proces transportovanja vode s mjesta gdje je skoncentrisana u velikim količinama do mjesta gdje se uzgaja neka poljoprivredna kultura, a sve s ciljem da se ostvare veliki i stabilni prinosi tokom sušnih perioda u godini. Navedeni proces transporta vode se najčešće izvodi pomoću sistema za navodnjavanje [4], [5], [6]. Za uspješan uzgoj jagode neophodno je imati instaliran sistem za navodnjavanje jagoda koji obezbjeđuje snabdijevanje zasada jagode vodom kada je to neophodno. Prije svega, bitno je naglasiti da postoje dva načina za navodnjavanje jagoda. Najčešće korišteni način za navodnjavanje je lokalizirano navodnjavanje po sistemu “kap po kap”, gdje se voda racionalno iskoristava tako što pumpa transportuje vodu od izvora vode do biljaka kroz odgovarajući sistem crijeva sa probušenim otvorima, kroz koje prolazi voda u obliku kapljica. Na taj se način vodom snabdijeva isključivo korijen biljke. Ova vrsta navodnjavanja je najčešće prisutna kod poljoprivrednih proizvođača sa prostora Čelićke općine i okoline zbog niza prednosti koje ovaj način navodnjavanja sa sobom nosi. Prednosti i nedostaci ovog tipa navodnjavanja su prikazani u Tabeli 1. Drugi način za navodnjavanje je takav da se koriste nadzemne prskalice koje raspršuju vodu u veliki kružni obrazac. Ovaj način je pogodan za zasade jagode na otvorenom. Zbog toga što se na prostorima Čelića i okoline preferira uzgoj jagode u plastenicima, ova vrsta navodnjavanja se i ne koristi. Prednosti i nedostaci ove vrste navodnjavanja su prikazani u Tabeli 2.

Sistem za navodnjavanje po sistemu “kap po kap” je pogodan za proces automatizacije. Bazira se na tome da se konstantno prati nivo vlage u zemljištu na osnovu čega se donosi odluka o trenutku puštanja pumpe za navodnjavanje u rad. Nakon što vlaga u zemljištu dostigne određenu vrijednost, pumpa se isključuje. Proces uključivanja i isključivanja pumpe se izvodi automatski, a može se i zahtijevati od korisnika da izda komandu o puštanju pumpe u rad ili o njenom isključenju. Sistem za navodnjavanje “kap po kap” se sastoji od izvora vode, pumpe, filtera, primarnog crijeva, sekundarnih crijeva i ventila. Pumpa služi za transport vode od izvora vode do zasada jagoda. Voda se od pumpe do zasada jagoda transportuje primarnim crijevom. Na njemu se nalaze otvori koji se koriste za postavljanje ventila, a na koje se nadovezuju sekundarna crijeva koja transportuju vodu do biljaka. Slika 3 prikazuje standardni sistem za navodnjavanje sa svim neophodnim elementima koji ulaze u sastav ovakvog sistema.





Slika 3 - Standardni sistem za navodnjavanje zasada jagoda

| Prednosti                                                                              | Nedostaci                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| U poređenju sa sistemom prskalice koristi dosta manje vode.                            | Zahtijeva vješto upravljanje.                                                                                                   |
| Manja šansa za razvoj bolesti jer listovi i plodovi ostaju suhi.                       | Neophodno filtriranje zbog sprečavanja začepjenja.                                                                              |
| Manja šansa za rast korova jer se voda isporučuje direktno u korijenski sistem jagode. | Oprema nije idealna za višegodišnju upotrebu. Novi zasadi jagode zahtijevaju kupovinu novih trakastih crijeva za navodnjavanje. |
| Omogućeno fino podešavanje režima navodnjavanja.                                       | Ne može se koristiti za zaštitu zasada jagode od mraza (niskih temperatura).                                                    |
| Moguće izvoditi radove na zasadu jagoda tokom procesa navodnjavanja.                   |                                                                                                                                 |

Tabela 1 - Prednosti i nedostaci sistema za navodnjavanje “kap po kap”[13]

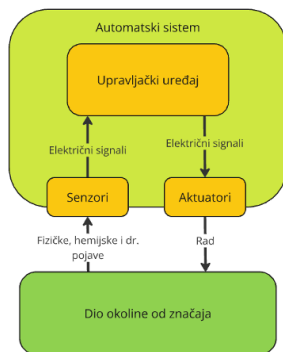
| Prednosti                                                                 | Nedostaci                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Oprema je jednostavna za instalaciju, korištenje i održavanje.            | Velika potrošnja vode.                                                             |
| Većina opreme se može koristiti više godina.                              | Izaziva intenzivan rast korova.                                                    |
| Može se koristiti za zaštitu zasada jagode od mraza (niskih temperatura). | Radovi koji se izvedu u zasadu jagoda se moraju obustaviti prilikom navodnjavanja. |
|                                                                           | Povećana šansa za razvoj bolesti zbog vode na lišću i plodu.                       |
|                                                                           | Manje precizna kontrola potrošnje vode.                                            |

Tabela 2 - Prednosti i nedostaci sistema za navodnjavanje pomoću prskalice

#### 4. Automatizacija sistema za navodnjavanje i komponente sistema

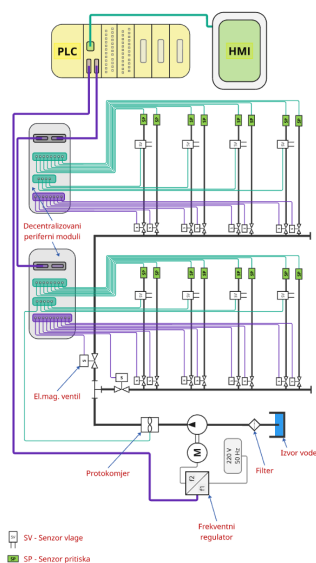
Da bi se automatizirani sistem za navodnjavanje razlikovao od standardnog sistema za navodnjavanje, potrebno je na postojeći standardni sistem integrisati određene komponente koje će učiniti sistem automatskim. Automatski sistemi funkcionišu slično čovjeku na način da se prikupljaju informacije iz okoline, te se informacije obrađuju tako da se na osnovu dobivenih informacija donosi odluka o tome šta je potrebno uraditi, i na kraju se izvršava izvođenje rada. Čovjek informacije iz okoline prikuplja pomoću svojih čula, kod automatskih sistema informacije iz okoline se prikupljaju pomoću senzora. Senzori su električni uređaji koji su u stanju detektovati fizičku, hemijsku ili drugu pojavu u okolini, i na osnovu te pojave generišu odgovarajući električni signal [7]. Kada čovjek svojim čulima istraži dio okoline koji je njemu od interesa, na osnovu dobivenih informacija u mozgu se sprovodi obrada istih, kako bi se tom obradom dobili neki zaključci i donijele neke odluke. Kod sistema koji su automatizirani, obrada informacija se izvodi na računaru ili mikrokontroleru na kome je prethodno instaliran upravljački program specijalno za taj sistem [8], [9]. Upravljački program je niz naredbi koje se izvedu u zavisnosti od toga kakve se informacije dobiju iz okoline od strane senzora. Kao rezultat prolaska informacija, kroz program instaliran na upravljačkom uređaju se dobiva nova informacija koja je odgovorna za aktiviranje radnog elementa sistema, odnosno aktuatora. Na Slici 4 je prikazan automatizirani sistem, njegovi sastavni elementi i veza između elemenata.





Slika 4 - Grafički prikaz automatskog sistema, njegovih elemenata i veza između njih

Na Slici 5 je prikazan automatizirani sistem za navodnjavanje sa svim komponentama. Umjesto ručno aktiviranih ventila, postavljene su elektromagnetni ventili kojima PLC jednostavno upravlja kada je to potrebno. Dva ovakva ventila većih dimenzija su postavljena na dvije grane primarnog voda radi mogućnosti navodnjavanja zasada jagoda po sekcijama, što znači da će uvijek jedan od ventila biti otvoren a drugi zatvoren. Također su postavljene i elektromagnetni ventili manjih dimenzija, a koji upravljaju protokom tečnosti kroz sekundarne vodove sistema za navodnjavanje.

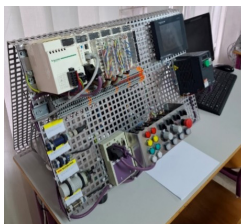
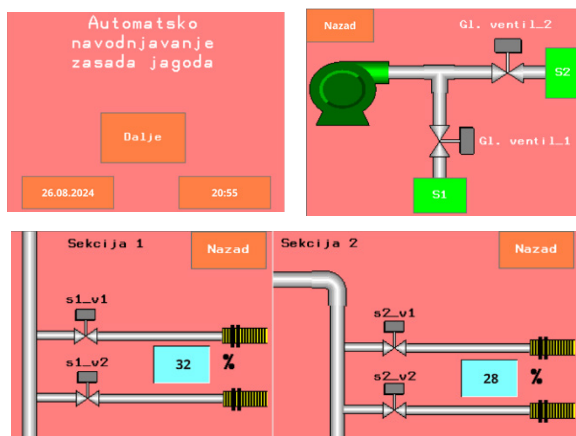


Slika 5 - Shema automatiziranog sistema za navodnjavanje

Na krajevima sekundarnih vodova se nalaze senzori pritiska vode. Njihova uloga je da prate pritisak u sekundarnim crijevima, a sve u svrhu detektovanja eventualnog oštećenja crijeva. Naime, kada se otvori ventil na sekundarnom vodu, potrebno je neko vrijeme da se uspostavi radni pritisak neophodan za pravilno navodnjavanje. Ukoliko je ventil sekundarnog voda otvoren, ukoliko je prošlo vrijeme neophodno za postizanje radnog pritiska i ukoliko senzor pritiska očitava tu vrijednost, može se zaključiti da je dati vod ispravan (neoštećen) i da nema pretjeranog gubitka vode. Ali, ukoliko je

ventil sekundarnog voda otvoren i ukoliko je prošlo vrijeme potrebno za postizanje radnog pritiska, a senzor pritiska ne očitava tu vrijednost, može se zaključiti da je na datom vodu došlo do oštećenja i da se bespotrebno gubi voda iz sistema. Ukoliko do toga dođe, PLC zatvara elektromagnetni ventil za navedeni sekundarni vod i šalje obavijest na HMI o tome kako je došlo do oštećenja jednog od sekundarnih vodova. Sistem također posjeduje senzore vlažnosti zemljišta. Vrijednosti koje oni očitavaju se koriste za prekidanje procesa navodnjavanja ukoliko se dostigne zadovoljavajuća vlaga u zemljištu. Ovim se sprečava prekomjerno navodnjavanje zasada, što svakako ima negativne posljedice za isti. Isto tako je moguće poslati signal korisniku da je nivo vlage u zasadu nezadovoljavajući, te zatražiti od njega dozvolu za pokretanje sistema za navodnjavanje. Na primarnom vodu sistema za navodnjavanje je postavljen uređaj za mjerenje zapreminskog protoka tečnosti, a u svrhu nadgledanja potrošnje vode na dnevnom, sedmičnom ili mjesečnom nivou.

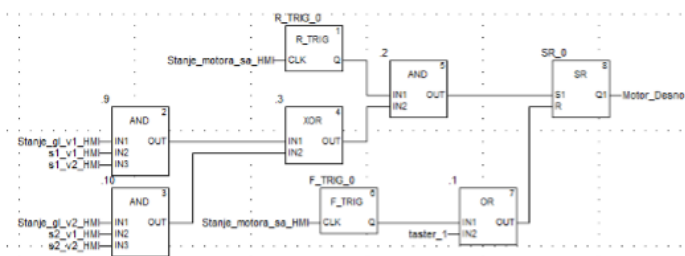
Uređaj za interakciju između čovjeka i sistema/mašine (HMI) se nalazi na pogodnom mjestu dostupnom korisniku zbog jednostavnijeg nadgledanja i postavljanja parametara. Na uređaju su grafičkim simbolima prikazani svi bitni elementi sistema, kao što je prikazano na Slici 6. Prilikom prve interakcije s HMI uređajem prikazan je početni prikaz koji govori o tome o kakvom se sistemu radi. Na prvom panelu postavljeno je vrijeme i datum, kraće informacije o sistemu te tipke koje služe za prebacivanje na sljedeće prikaze.



Slika 6 - Početni prikaz HMI uređaja a) pumpa i glavni ventili, b) ostale komponente, c) i PLC uređaj s HMI

Pokretanje pumpe preko HMI ostvarit će se na sljedeći način. Prije samog pokretanja pumpe potrebno je otvoriti jedan od glavnih ventila na primarnom vodu, zajedno sa nekoliko ventila (u ovom slučaju dva) za sekundarne vodove. Kada ovi ventili budu otvoreni, tek se tada može pokrenuti pumpa. Ponovnim pritiskom na grafički prikaz

pumpe ona se može isključiti. Radi sigurnosti je ostavljena mogućnost da se pumpa može isključiti i s fizičkim tasterom. Naravno, sistem za navodnjavanje je potrebno pokrenuti onda kada se za tim javi potreba, to jeste kada vlažnost u zemljištu padne ispod kritične granice.



Slika 8 - Program za pokretanje pumpe (FBD program za PLC)

Svi prethodno navedeni uređaji su povezani sa PLC-om i odgovarajućim protokolom koji se koristi za komunikaciju između uređaja u sistemu i PLC-a. Uređaji tipa senzora ili elektromagneta u ovom slučaju nisu direktno povezani sa PLC-ovim ulazno/izlaznim modulima, nego preko decentralizovanih perifernih modula koji se nalaze u blizini mjesta na kome su postavljeni senzori i aktuatori.

## 5. Zaključak

Proces navodnjavanja je puno više od pukog puštanja sistema za navodnjavanje u rad kada se primijeti da je zemljište suho. Sistem za navodnjavanje zasada poljoprivredne kulture bi trebali predstavljati cjelinu koja sliči čovjekovom organizmu, gdje se pri pojavi prelaska vitalnih parametara preko određenih vrijednosti izvode procesi koji imaju za cilj dovođenje tih bitnih parametara u normalu. Pravilno praćenje parametara vlažnosti u zemljištu omogućava i blagovremeno djelovanje na radne elemente sistema poput pumpe i ventila, sve sa svrhom pravilnog doziranja količine vode u korijen biljke. Postupak praćenja tih parametara i aktiviranja radnih elemenata je veoma težak, pa skoro i nemoguć za samog čovjeka. Zbog toga se u proces uvode računari koji imaju mogućnosti da veoma brzo snimaju parametre iz okoline, obrađuju ih te na osnovu rezultata izdaju naredbe izvršnim uređajima. Veoma je bitno znati odrediti koji parametri su značajni za praćenje prilikom automatizacije nekog procesa. Kada je agrikultura u pitanju, tu se mora prije svega konsultovati sa stručnim licima poput inženjera agronomije ili drugih lica koja poznaju utjecaj pojedinih parametara na razvoj biljke. Potrebno je znati odrediti gornje i donje vrijednosti između kojih je bitno održavati navedeni parametar, u ovom slučaju vlažnost. Kada su određene vrijednosti koje se moraju održavati u sistemu, onda se pristupa programiranju upravljačkog uređaja. To podrazumijeva sintezu dostupnih komponenti u sistem koji će na izlazu ostvariti željene parametre. Bitne vrijednosti koje korisnik lahko može pročitati mogu biti prikazane na ekranima određenih uređaja, pa se može ostaviti korisniku na izbor želi li pokrenuti sistem za navodnjavanje ili ne. Ovo se također može izvesti automatski a da korisnik o tome ne razmišlja. Prikaz bitnih parametara na ekranu HMI-a ili na mobilnom telefonu korisniku uveliko olakšava donošenje daljih odluka te mu štedi dragocjeno vrijeme time što ne mora biti direktno prisutan na zasadu jagoda.

# APPLICATION OF MECHATRONICS IN THE DESIGN AND IMPLEMENTATION OF IRRIGATION SYSTEMS

**Summary:** Irrigation is a key factor in the successful cultivation of agricultural crops, with optimal water dosage depending on a number of complex variables, including crop type, soil type, irrigation system characteristics, and water resource availability. Traditional irrigation approaches often face challenges in achieving precise control and efficiency, which highlights the need for the integration of advanced technologies. This paper presents the development of an automated irrigation system based on mechatronic principles, with the aim of optimizing processes and increasing productivity. The basis of the system is a programmable logic controller (PLC), which serves as a central control unit. The programmable logic controller, in interaction with sensors for monitoring environmental conditions, makes decisions on activating executive devices, thereby ensuring precise and adaptive irrigation. The implementation of such a system enables more efficient use of water resources, reducing costs and improving yields, making it a key tool in modern irrigation systems.

**Keywords:** Mechatronics, Automation; Automatic irrigation, Automation, Programmable logic controllers.

## Literatura

1. Anil Ç.; Amjed K. (2023). Automated systems in agriculture. In book: Fundamentals in agriculture and food. Publisher: IKSAD Publishing House.
2. Khadijeh B.; Taher D. (2024). Automation's Impact on Agriculture: Opportunities, Challenges, and Economic Effects. *Robotics* 13(2):33. <http://dx.doi.org/10.3390/robotics13020033>
3. Pakeza D.; Terzić A.; Behmen F.; Behmen O. (2016). Agro-pomological evaluation of 'clery' strawberry cultivar in different cultivation systems. Kongres voćara i vinogradara srbije sa međunarodnim učešćem Kragujevac. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.11128.44807>
4. Guitierrez, Joaquin & Villa Medina, Juan & Nieto-Garibay, Alejandra & Porta-Gándara, Miguel. (2014). Automated Irrigation System Using a Wireless Sensor Network and GPRS Module. *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on*. 63. 166-176. <http://dx.doi.org/10.1109/TIM.2013.2276487>
5. Zazueta, Fedro & Smajstrla, A.G. (1992). Microcomputer-based Control of Irrigation Systems. *Applied Engineering in Agriculture*. 8. 593-596. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.26129>
6. Theofilus B. D.; Yaning T. H. (2021). Greenhouse automation: smart watering system for plants in greenhouse using programmable logic control (PLC). *Journal of Physics Conference Series* 1823(1):012014. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1823/1/012014>
7. Trakić E.; Osmanović A.; Šarić B.; Vukosavljević V.; Omerdić S. (2018). Mechatronic principles in greenhouse automation. *TTEM - Journal of society for development of teaching and business processes in new net environment in B&H*. Vol. 13, No. 2, ppt. 63-68.
8. Muñoz-Carpena, R. & Dukes, Michael. (2019). Automatic Irrigation Based on Soil Moisture for Vegetable Crops. *EDIS*. 2005. <http://dx.doi.org/10.32473/edis-ae354-2005>
9. Shemul, K.; Saha, P.; Bala, D. (2022). Design and Implementation of Low Cost Automatic Irrigation System using Microcontroller. *Journal of Applied Information Science*. 10. 01-05.

# VAŽNOST I ULOGA TELEKOM OPERATORA ZA RAZVOJ PROIZVODA I USLUGA PAMETNE AGRIKULTURE

doc. dr. sc. Igor Jurčić  
FSRE, Sveučilište u Mostaru

**Sažetak:** Pametna agrikultura, pametne farme i općenito rješenja iz ovog segmenta su budućnost segmenta poljoprivrednog poslovanja. Internet stvari (Internet of Things, IoT) te ostale napredne tehnologije bit će ključni dio tog cijelog procesa. Pametna poljoprivreda jedan je od TOP 5 poslovnih segmenata za IoT aplikacije zajedno s pametnim gradovima, pametnim domovima, primjenom u industriji i pametnim zdravstvom. Telekom operatori, sistemski integratori, programeri aplikacija kao i mnoge druge tvrtke iz različitih poslovnih segmenata imaju velike mogućnosti za rast poslovanja u eri Četvrte industrijske revolucije. Kreativnost svih ovih tvrtki i partnerstva s poljoprivrednim farmama će omogućiti stvaranje novih prihoda te nove poslovne prilike u tom vrijednosnom lancu. U ovom radu će biti analizirana trenutna stanja u primjeni naprednih tehnologija u pametnoj poljoprivredi u svijetu te će biti dan prikaz potencijalnih mogućnosti uvođenja ovakvih aplikacija i procesa u Bosni i Hercegovini. Naglasak će biti stavljen na telekom operatore i njihovu ulogu u razvitku pametne poljoprivrede u Bosni i Hercegovini.

**Ključne riječi:** pametna poljoprivreda, Internet stvari, rješenja u oblaku, ICT, telekom operatori.

## 1. Uvod

U ovom radu će biti dan prikaz mogućnosti i potencijala koje telekom operatori imaju u područjima pametnih usluga s naglaskom na pametnu agrikulturu. No, prije toga treba navesti koji su uopće glavni pokretači sve intenzivnijeg ulaganja sredstava i znanja u područje pametne poljoprivrede. Tri su glavne stavke koje pokreću omasovljenje primjene modernih tehnologija u agrikulturi:

- klimatske promjene,
- potreba za očuvanjem vode,
- naglasak na povećanju učinkovitosti.

Upravo iz ova tri glavna razloga sve više tvrtki iz ICT segmenta prepoznaje svoju šansu da kroz investiranje u ovaj vid usluga poveća svoje prihode te prisutnost na tržištu. Telekom operatori su svakako tvrtke koje su u svom poslovanju već prepoznale prilike za ulaganje u različite vrste pametnih usluga (pametni domovi, pametni gradovi, pametno zdravstvo...), a tu svakako spadaju i usluge vezane uz pametnu agrikulturu<sup>1</sup>.

## 2. Glavni razlozi za suradnju ICT segmenta i agrikulture te prepreke koje postoje

U uvodu su navedeni glavni pokretači za omasovljenje usluga u pametnoj agrikulturi, a ovdje će biti ukratko analizirani razlozi te prepreke s kojim se investitori susreću. Klimatske promjene će definitivno dovesti do masovnije upotrebe za poticanjem implementacije rješenja temeljenih na Internetu stvari (Internet of Things, IoT) i umjetne inteligencije (Artificial Intelligence, AI). Ovakva rješenja bi svakako morala povećati prinos i poboljšati učinkovitost u agrikulturi. Kada se spominju klimatske promjene,

---

<sup>1</sup>Igor Jurčić: "Forecasting the development of the telecommunication sector until 2050 using the CTE Model", Konferencija CIET 2024, Split, Republika Hrvatska, lipanj 2024.

jedan od primarnih ciljeva je potreba za očuvanjem vode. Prema dostupnim podacima, poljoprivreda troši gotovo 70% slatke vode u svijetu. Aplikacije (rješenja) temeljene na IoT i AI, kao što su sustavi pametnog navodnjavanja, pomoći će u uštedi vode i bit će jako traženi sve više. Iskorištavanje IoT-a za očuvanje vode (učinkovitu potrošnju) će biti jedan od glavnih trendova u budućnosti u poljoprivredi<sup>2</sup>.

Uz to, naglasak mora biti na povećanju učinkovitosti u proizvodnji. Pametna poljoprivredna rješenja moraju omogućiti poljoprivrednicima smanjivanje troškova i napora povezanih s poljoprivrednim aktivnostima. To znači da će se morati optimizirati korištenje različitih poljoprivrednih resursa kao što su rasadno sjeme, gnojiva i pesticidi, ali i smanjiti potrošnju energije i potrošnju goriva. Dakle, cilj je povećati produktivnost usmjeravanjem poljoprivrednika na kvalitetno optimiziranje vremena i resursa u cilju postizanje savršene ravnoteže za optimiziranu proizvodnju<sup>3</sup>.

Glavna ograničenja za ciljeve koji su prethodno navedeni su:

- fragmentiranost poljoprivrednog tržišta i usitnjenost posjeda,
- nedostatak usluga povezivanja za tržište poljoprivrednih proizvoda – slabija pokrivenost ruralnih područja mobilnim signalom,
- visoki zahtjevi za kapitalnim ulaganjima,
- upravljanje podacima za poljoprivredu,
- donošenje odluka.

Fragmentirano poljoprivredno tržište je, generalno širom svijeta, jedan od najvećih problema za primjenu pametnih tehnologija u agrikulturi. Poljoprivredno tržište sastoji se od mnogo malih privatnih ili, čak, i javnih posjeda i segmenata. Problem koji se ovdje javlja jeste kako minimizirati troškove implementacije novih tehnologija i usluga, jer sva ova mala rascjepkana tržišta imaju svoje karakteristike i svojstva. U biti, ovakva rascjepkana poljoprivredna tržišta čine problem za maksimiziranje povrata ulaganja (ROI) u ovom poslovnom segmentu. Nedostatak usluga povezivanja za poljoprivredno tržište je drugi glavni problem koji trenutno postoji u ovom segmentu. Usluge povezivanja u poljoprivredi još nisu dosegle razinu tehničke zrelosti, kao što je primjerice okruženje pametnih gradova. Telekomunikacijski pružatelji usluga (ali ne samo oni) u stalnoj su potrazi za proširenjem usluga za poljoprivredni sektor kroz partnerstva s drugim tvrtkama, s naglaskom na tvrtke iz ICT segmenta, a vremenom se očekuju nova partnerstva u budućnosti koja će pomoći bržem razvoju pametne (precizne) agrikulture<sup>4</sup>.

Visoki zahtjevi za kapitalnim ulaganjima su svakako veliki problem za brži razvoj usluga u pametnoj agrikulturi (a to se svakako dodatno komplicira zbog fragmentiranog tržišta). Za pokretanje i implementaciju ovakvih rješenja su potrebna značajna početna ulaganja i podizanje kvalitete postojeće terenske infrastrukture ako poljoprivrednici žele uspostaviti i održavati sposoban i održivi IoT ekosustav. Visoka cijena usvajanja takvih pametnih rješenja je ozbiljan izazov za poljoprivrednike (pogotovo) u državama u razvoju<sup>5</sup>.

<sup>2</sup>Majid Nawaz, Muhammad Inayatullah Khan Babar: "IoT and AI for smart agriculture in resource constrained environments: challenges, opportunities and solutions", Received: 30 September 2024 / Accepted: 3 March 2025, Published online: 13 March 2025, Discover Internet of Things (2025) 5:24 | <https://doi.org/10.1007/s43926-025-00119-3> Republika Hrvatska, lipanj 2024.

<sup>3</sup>Rhea Pinto, Damayanti Patil, Nathan Joseph, Chryselle Barreto, Shamsuddin Khan: "Smart Agriculture Using IOT", International Journal for Multidisciplinary Research (IJFMR), E-ISSN: 2582-2160, Website: [www.ijfmr.com](http://www.ijfmr.com), Volume 6, Issue 3, May-June 2024.

<sup>4</sup>Muhammad Bakht Izzuddin Rahmat, Mohd Jais Che Soh: "IoT Based Smart Agriculture Monitoring and Irrigation System", Vol. 5 No. 1 (2024) 581-586. EVOLUTION IN ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING e-ISSN: 2756-8458 <https://publisher.uthm.edu.my/periodicals/index.php/eeec>.

<sup>5</sup>Rhea Pinto, Damayanti Patil, Nathan Joseph, Chryselle Barreto, Shamsuddin Khan: "Smart Agriculture Using IOT", International Journal for Multidisciplinary Research (IJFMR), E-ISSN: 2582-2160, Website: [www.ijfmr.com](http://www.ijfmr.com), Volume 6, Issue 3, May-June 2024.

Upravljanje podacima za donošenje odluka u poljoprivredi je još jedan od problema s kojima se suočavaju integratori ovakve vrste usluga. Naime, donošenje odluka prema dobivenim rezultatima i podacima mjerenja često se razlikuju po više čimbenika. U ovisnosti od regije do regije (ili države do države) neki izmjereni rezultati mogu zahtijevati drugačiju reakciju sustava. Isto tako, sustav treba podesiti da različito reagira u ovisnosti od doba godine kao i u ovisnosti koja se poljoprivredna kultura uzgaja jer ne zahtijevaju sve iste uvjete. U svakom slučaju, upravljanje podacima je jako složen zadatak i treba jako pažljivo definirati ovaj segment. Dakle, jedna značajna prepreka u učinkovitoj upotrebi podataka je nedostatak industrijskih standarda za upravljanje podacima i primjeni u rješenjima koja se temelje na pametnoj poljoprivredi. Ovdje dodatno treba naglasiti da je teškoća ukorijenjena u zahtjevu za standardizacijom sustava upravljanja podacima u cijeloj poljoprivrednoj industriji kako bi se osigurala raširena ujednačenost operacija.

### 3. Mogućnosti i prilike za telekom operatore

Kada se govori o mogućnostima i prilikama za telekom operatore postoji više segmenata djelovanja. Prije svega to su:

- ekspanzija pametnih telefona i korištenja interneta te samim time svih ostalih proizvoda i usluga telekom operatora,
- povećanje javno-privatnog partnerstva s državom i ostalim razinama vlasti, gdje telekom svakako mogu pronaći svoje prilike za djelovanje i povećanje prihoda,
- povećanje usvajanje novih tehnologija, što telekomi trebaju prepoznati kao priliku za svoje širenje ne samo u segmentu usluga pametne agrikulture već i šire<sup>6</sup>.

U suštini, u procesu pripreme i realizacije usluga pametne poljoprivrede postoji osam različitih segmenata koji su međusobno povezani u vrijednosni lanac (engl. value chain):

1. proizvođači opreme (uređaji spojeni na internet te sva ostala potrebna oprema),
2. lokalne tvrtke za povezivanje uređaja (lokalni ponuditelji internet usluga, ako takvi postoje u državi),
3. mobilni telekom operatori,
4. tvrtke za analizu dobivenih podataka,
5. ponuđači i razvojne tvrtke za aplikacije u pametnoj agrikulturi,
6. proizvođači IoT platformi za usluge,
7. sistem integratori i pružatelji usluga za podršku,
8. krajnji korisnici.

Iz prethodno navedenih stavki je jasno da današnji moderni telekom operatori u cijelom vrijednosnom lancu postoje samo u stavci tri (i eventualno mogu sudjelovati i u stavci dva). Sve ostalo je namijenjeno drugim tvrtkama iz (uglavnom) ICT poslovnog segmenta<sup>7</sup>.

Međutim, u vrijeme Četvrte industrijske revolucije (a koja još uvijek traje) telekomi su prepoznali potrebu za digitalnom transformacijom i promjenom u djelovanju. Telekom

<sup>6</sup> RENZO LEONARDO PAREJA URTECHO, JESÚS RODRÍGUEZ-MOLINA, MARGARITA MARTÍNEZ-NÚÑEZ, AND JUAN GARBAJOSA: "Enhancing Agriculture Through IoT and Blockchain: A VeChain-Enhanced Sustainable Development Approach for Small-Scale Agricultural Exploitations", IEEE Access, Received 13 October 2024, accepted 9 November 2024, date of publication 26 November 2024, date of current version 9 December 2024. Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2024.350651

<sup>7</sup> Girma Gebresenbet, Techane Bosona, David Patterson, Henrik Persson, Benjamin Fischer, Nerea Mandaluniz, Gherardo Chirici, Aleksejs Zacepins, Vitalijs Komasilovs, Tudor Pitulac, Abozar Nasirahmadi: "A concept for application of integrated digital technologies to enhance future smart agricultural systems", Smart Agricultural Technology 5 (2023) 100255, journal homepage: [www.journals.elsevier.com/smart-agricultural-technology](http://www.journals.elsevier.com/smart-agricultural-technology),



operatori u mnogim državama već ulažu značajna sredstva u ovakva rješenja te pronalaze partnere iz ICT segmenta kako bi mogli ponuditi cjelokupnu uslugu po principu “ključ u ruke” te kako bi sudjelovali i u ostalim segmentima u lancu vrijednosti u pametnoj agrikulturi. Od 2020. godine započela je era 5G mobilnih mreža koje donose značajne pomake u odnosu na postojeće 4G i 4G Advanced (4,5G) mobilne mreže. Već u ovoj godini očekujemo i prve 5G Advanced (5,5G mobilne mreže), čime se značajno unapređuju mogućnosti telekoma za preuzimanje liderstva u segmentu novih pametnih IoT usluga.

Peta generacija (5G) mobilnih mreža predstavlja novu generaciju mobilnih mreža, ali i novu vrstu mobilnih mreža po pristupu razvitku samih sustava. Ove vrste mobilnih mreža su mreže koje će biti vođene poslovnim zahtjevima a ne tehničkim zahtjevima za mobilne sustave. U biti, 5G mobilne mreže su podloga za “Četvrtu industrijsku revoluciju” (Industry 4.0) jer sve dosadašnje “xG” mobilne mreže su bile (uglavnom) podređene ljudima i komunikaciji među ljudima, dok je 5G mobilna mreža podređena za komunikaciju ili, bolje reći, interakciju ljudi i uređaja, te uređaja i uređaja.

Tri su ključna zahtjeva koja se postavljaju pred 5G mobilne mreže:

- Mreža za svakoga i sve (masovnost) - do 100 (pa čak i preko 100) puta više uređaja spojenih na mrežu nego što je to slučaj sa sadašnjim generacijama mobilnih mreža (LTE), M2M komunikacija i interakcija po jako niskim cijenama (komunikacija i interakcija uređaj – uređaj, trajanje baterije do 10 godina (pa i dulje od toga).
- Neograničeno iskustvo – ekstremno visoka brzina prijenosa i velika propusnost u prijenosu podataka – vršna brzina prijenosa od preko 10 Gb/s, zagarantirana brzina prijenosa od 100 Mb/s bilo gdje, odnosno gdje god je to potrebno, omogućen prijenos preko 10.000 puta više prometa nego u LTE i LTE Advanced mrežama, pokrivenost signalom gotovo 100% (gdje god je to potrebno).
- Trenutno djelovanje i akcija i reakcija – kašnjenje signala do 1 ms (ovo nije postignuto u 5G mrežama ali se očekuje u 5,5G mrežama ili najdalje u 6G mobilnim mrežama), ultra visoka pouzdanost sustava.

Iz svega navedenog je jasno da implementacijom 5G mobilnih mreža započinje sasvim nova era u poslovnom segmentu telekomunikacija<sup>8</sup>. Telekom operatori više ne mogu i ne smiju biti fokusirani samo na klasične telekomunikacijske usluge već moraju napraviti sasvim novu strategiju pristupa kroz pristup različitim uslugama baziranim na IoT tehnologiji, na uslugama u oblaku, na različitim vrstama XaaS uslugama i slično, a usluge u pametnoj agrikulturi su definitivno usluge koje spadaju u TOP 5 IoT usluga koje moraju biti u fokusu telekom operatora.

Ovdje treba napisati još nekoliko riječi o bliskoj budućnosti koju donosi kraj ovoga i sljedeće desetljeće. Budućnost ICT okruženja nastavit će se razvijati tijekom ovog i sljedećeg desetljeća uz 5G Advanced (5,5G) i 6G mobilne mreže. 5G Advanced (5,5G) je planirani skup tehnoloških i mrežnih nadogradnji za koje se očekuje da će biti implementirani u 2025. i kasnije i proširit će postojeće 5G mogućnosti s nadogradnjama kao što je inteligentno upravljanje mrežom. Uz to, očekuje se da će implementacija prvih 6G mobilnih sustava započeti s implementacijom do 2030. godine, a značajne razlike u odnosu na 5G uključuju poboljšanu skalabilnost, veću upotrebu radijskog spektra i dinamički pristup različitim vrstama povezivanja kao što su Wi-Fi, satelitske i mobilne

<sup>8</sup> Igor Jurčić, Sven Gotovac: “A Comprehensive Techno-Economic Model for Fast and Reliable analysis of Telecom Operator Potentials”, Applied Sciences, listopad 2022, DOI: 10.3390/app122010658



mreže. Nove i poboljšane mogućnosti koje podržava 5G i 6G infrastruktura uključuju masovnije uporabu IoT/IIoT (uz primjenu umjetne inteligencije na rubovima sustava te usluge u oblaku), autonomna vozila, sve vrste naprednih “pametnih usluga” i napredne senzorske uređaje. S tim prednostima povezani su rizici koji proizlaze iz ranjivosti lanca opskrbe ICT komponenti, povećane površine mrežnih napada i sve većeg oslanjanja na usluge kritične za misiju podržane infrastrukturom 5G i 6G. Razvoj 5G i 6G mogućnosti mijenja način na koji tvrtke, građani pa i vlade država komuniciraju međusobno. Ovdje će još biti navedene prepreke i izazovi s kojima će se morati nositi telekom operatori. Cilj je ukazati da predstojeće vrijeme donosi mnogo novih poslovnih prilika i mogućnosti za povećanje prihoda i zarade, ali to svakako neće biti nimalo jednostavno. Izazovi s kojima će se postojeći telekom, ali i proizvođači opreme te sistem integrator, morati nositi su između ostalih i: upotreba signala iz područja teraherca (THz), nove komunikacijske alternativne tehnologije poput VLC (Visible Light Communications) i njihova integracija u 6G mobilne mreže, komunikacija ispod vode (mora, jezera...), dizajn primopredajnih uređaja i antena, s obzirom na više različitih spektara na kojima će 6G mobilne mreže raditi, kašnjenje u sustavu “s kraja na kraj” i pouzdanost sustava, potrošnja/ušteda energije, kapacitet sustava, globalna pokrivenost (na cijelom teritoriju Zemlje), gustoća baznih stanica i access pointa (BS/AP) i gustoća signala, značajno veliki troškovi implementacije, usklađenost različitih tehnologija i uređaja, sigurnost (korisnika, sustava...) i privatnost (podataka), usklađenost računalnih i komunikacijskih sustava – AI na rubovima mreže, reproduciranje pet čula: vid, sluh, miris, dodir i okus, prijelaz sa 6G na 7G će vjerojatno označiti i početak Industry 5.0 te novi pomak u načinu razmišljanja – komunikacija između pametnih uređaja. Uz ove izazove, telekom, sistem integratori i proizvođači opreme će se morati nositi i sa značajnim preprekama koje već sada postoje, a najznačajnije su: nedostatak (nedovoljan razvoj) potrebne tehnologije, prevelika očekivanja od 6G mreže (u usporedbi sa svim prethodnim generacijama), interoperabilnost (međudjelovanje) postojećih i novih protokola, primjena umjetne inteligencije (AI) unutar 6G sustava, Big Data (rad, analiza, zaključci...) – upravljanje velikom količinom podataka i Edge Technology (rubno računarstvo) – ugrađena pamet u krajnje uređaje u sustavima. Treba još spomenuti i pojam “HORIZON 2030” koji označava skup dokumenata koji analiziraju, opisuju, definiraju te donose zaključke i smjernice o razvoju ICT segmenta (iako ne mora biti ključno vezano uz ovaj segment) u periodu do 2030. godine, te u desetljeću između 2030 – 2040. U biti, sve analize i dokumenti koje se bave napretkom i razvojem novih tehnologija, proizvoda i usluga se mogu svrstati pod ovaj naziv.

#### 4. Mogućnosti primjene usluga pametne agrikulture u BiH

Precizna poljoprivreda je pristup upravljanja farmom koje koristi Internet stvari (IoT) i informacije te komunikacijske (ICT) tehnologije za optimizaciju povrata uložених sredstava te osiguranje i očuvanje resursa. Precizna poljoprivreda podrazumijeva dobivanje podataka u stvarnom vremenu o uvjetima usjeva, tla i zraka<sup>9</sup>. Ovaj pristup ima za cilj osigurati profitabilnost i održivost dok istovremeno štitimo i čuvamo okoliš. U daljnjem dijelu teksta će biti navedene neke od mogućih primjena modernih tehnologija u cilju unapređenja i kvalitete poljoprivrede u Bosni i Hercegovini.

<sup>9</sup> Girma Gebresenbet, Techane Bosona, David Patterson, Henrik Persson, Benjamin Fischer, Nerea Mandaluniz, Gherardo Chirici, Aleksejs Zacepins, Vitalijs Komasilovs, Tudor Pitulac, Abozar Nasirahmadi: “A concept for application of integrated digital technologies to enhance future smart agricultural systems”, Smart Agricultural Technology 5 (2023) 100255, journal homepage: [www.journals.elsevier.com/smart-agricultural-technology](http://www.journals.elsevier.com/smart-agricultural-technology),

Štednja vode i racionalno upravljanje zalihama vode je već postao trend, ali i potreba u cijelom svijetu. Potreba za povećanjem učinkovitosti procesa navodnjavanja i smanjenjem gubitaka vode raste skoro eksponencijalno. Sve je veća svijest o očuvanju postojećih vodnih resursa primjenom održivih i učinkovitih sustava navodnjavanja. Navodnjavanje usjeva temeljeno na Internetu stvari (IoT) mjeri različite parametre kao što su vlažnost zraka, vlažnost tla, temperaturu i intenzitet svjetlosti a sve kako bi se izračunale precizne potrebe za vodom. Dokazano je da takav mehanizam može pridonijeti racionalnijoj uporabi vodenih resursa, odnosno većoj učinkovitosti navodnjavanja<sup>10 11</sup>. Pametni staklenik (Smart Greenhouse) omogućuje poljoprivrednicima uzgoj usjeva s minimalnim ljudskim resursima. Klimatski uvjeti kao što su temperatura, vlažnost zraka, osvjetljenost i vlažnost tla kontinuirano se prate unutar staklenika. Varijacije u ovim uvjetima će automatski pokrenuti akcije i djelovanje. Ove će radnje zatim procijeniti promjene i implementirati korektivne radnje za održavanje optimalnih uvjeta za rast biljaka.

Praćenje prinosa je mehanizam za praćenje različitih aspekata koji odgovaraju poljoprivrednom prinosu kao što su protok mase zrna, sadržaj vlage i ukupna količina poželjenog zrna. Praćenje prinosa nudi informacije u stvarnom vremenu poljoprivrednicima kako bi se olakšalo donošenje odluka. Praćenje prinosa pomaže smanjiti operativne troškove i povećati produktivnost. Sustavi za praćenje tla mogu pomoći poljoprivrednicima u praćenju i poboljšanju kvalitete tla i izbjegavanju degradacije kvalitete tla. Omogućuju praćenje niza fizičkih, kemijskih i bioloških svojstava poput teksture, kapaciteta zadržavanja vode i stupanj apsorpcije. Praćenje tla može pomoći u smanjenju erozije, zgušnjavanja, salinizacije, zakiseljavanja i onečišćenja toksičnim elementima koji mogu pogoršati kvalitetu tla.

Dronovi za poljoprivredu, tj. bespilotne letjelice (Unmanned Aerial Vehicles, UAV) mogu se koristiti u više poljoprivrednih aplikacija kao što su praćenje zdravlja usjeva, poljoprivredna fotografija za razvoj specifičnih lokacija, primjene varijabilne brzine i upravljanje stokom. Dronovi mogu skenirati ogromno područje po niskoj cijeni i raditi s različitim senzorima kako bi lako prikupili širok raspon informacija. Precizno stočarstvo podržava praćenje u stvarnom vremenu proizvodnje, zdravlja i dobrobiti stoke osiguravajući optimalan prinos. Napredne tehnologije omogućuju kontinuirano praćenje svih važnih parametara i značajno olakšavaju poljoprivrednicima donošenje odluka kako bi se osiguralo poboljšano zdravlje životinje i maksimalni prinosi<sup>12</sup>. Sustavi upravljanja farmama (Farm Management System, FMS) pomažu poljoprivrednicima s prikupljanjem informacija i upravljanje farmama korištenjem različitih senzora i uređaja za praćenje. Dobivene informacije se zatim pohranjuju i analiziraju uz obavljanje složenih zadataka te donošenja odluka. FMS također omogućuju identifikaciju najboljih poljoprivrednih proizvoda, analize podataka i modela isporuke softvera. Ostale prednosti FMS uključuju pouzdane financijske podatke i upravljanje proizvodnim podacima i njihovo poboljšanje, sposobnosti smanjenja rizika u vezi s vremenskim prilikama i nepredviđenim događajima.

<sup>10</sup> Neema S, Vishnumaya Suresh, Vishnupriya Suresh, Kavva Suresh: "IoT Based Smart Agriculture Monitoring and Irrigation System Using Renewable Energy", INTERNATIONAL JOURNAL OF PROGRESSIVE RESEARCH IN SCIENCE AND ENGINEERING, VOL.5, NO.4., APRIL 2024.  
<sup>11</sup> Jayakumar R, Karthikeyan S N, Naveen Perumal M, Methini M: "SMART AGRICULTURE USING IoT", 2019 JETIR June 2019, Volume 6, Issue 6 www.jetir.org (ISSN-2349-5162)  
<sup>12</sup> Amin S, Ibrahim, Saeed Mohsen, I. M. Selim<sup>4</sup>, RoobaeaAlroobaea, MajedAlsafyani, Abdullah M. Baqasah & Mohamed Eassa: "AI-IoT based smart agriculture pivot for plant diseases detection and treatment", www.nature.com/scientificreports, Scientific Reports | (2025) 15:16576 | <https://doi.org/10.1038/s41598-025-98454-6>,

## 5. Zaključak

Pametne farme i općenito rješenja iz ovog segmenta su budućnost segmenta poljoprivrednog poslovanja. IoT i sve relevantne tehnologije bit će ključni dio toga. Pametna poljoprivreda jedan je od TOP 5 poslovnih segmenata za IoT aplikacije zajedno s pametnim gradovima, pametnim domovima, IoT i pametnim zdravstvom. Mobilni operatori, sistemski integratori, programeri, i mnoge druge tvrtke iz različitih poslovnih segmenata imaju velike mogućnosti za rast poslovanja u eri Četvrte industrijske revolucije. Kreativnost svih ovih tvrtki i partnerstva s farmama će omogućiti stvaranje novih prihoda i poslovnih prilika. ICT segment je jedan od najbrže rastućih poslovnih segmenata u svijetu. Na listi TOP 10 najvrjednijih tvrtki (korporacija) u svijetu, obično je 7-8 ICT tvrtki. U narednih 25 godina sa sigurnošću možemo reći da će se ovaj segment i dalje razvijati i napredovati. Postoji velika razlika u razvoju telekomunikacija i informatike u svijetu (po regijama i između država). Lideri u ovom segmentu su USA, Kina, Japan, Južna Koreja, države Skandinavije, ali kroz značajna ulaganja njima se pridružuju i mnoge druge države kao npr. Indija ili neke države EU. Na žalost, područje Balkana značajno zaostaje za ovim trendovima, a Bosna i Hercegovina je često na začelju država Balkana. I tu je veliki put pred BiH u cilju ubrzavanja i dostizanja (barem dijelom) naprednih država u svijetu.

Buduće 5,5G i 6G tehnologije unaprijedit će međusobnu povezanost društva i podržati širenje tehnologija u nastajanju. Nove i poboljšane mogućnosti koje podržava 5,5G i 6G infrastruktura uključuju IoT/IIoT, XaaS, usluge u oblaku, autonomna vozila i mnoge druge napredne senzorske uređaje. Ova poboljšanja također predstavljaju sigurnosne izazove, uključujući rizike u lancu opskrbe i arhitekturi sustava. Proširena svijest i razumijevanje ovih novih prilika i prijetnji ključni su za osiguravanje spremnosti i pripreme za budućnost koju omogućuju 5,5G i 6G tehnologija.

U svakom slučaju, moderni telekomi ne mogu i ne smiju ostati u prošlosti i nuditi samo tradicionalne telekomunikacijske usluge. Nove moderne usluge bazirane na novim tehnologijama svakako su veliki izazov ali i prilika za moderne telekom operatore. Usluge u pametnoj agrikulturi svakako spadaju među njih i telekomi kroz svoju digitalnu i organizacijsku strukturu se moraju orijentirati prema njima i aktivno sudjelovati u razvoju i njihovoj implementaciji.

# THE IMPORTANCE AND ROLE OF TELECOM OPERATORS FOR THE DEVELOPMENT OF SMART AGRICULTURE PRODUCTS AND SERVICES

**Summary:** Smart agriculture, smart farms and solutions in this segment in general, are the future of the agricultural business segment. The Internet of Things (IoT) and other advanced technologies will be a key part of this entire process. Smart agriculture is one of the TOP 5 business segments for IoT applications along with smart cities, smart homes, industrial applications and smart healthcare. Telecom operators, system integrators, application developers and many other companies from different business segments have great opportunities for business growth in the era of the Fourth Industrial Revolution. The creativity of all these companies and partnerships with agricultural farms will enable the creation of new revenues and new business opportunities in this value chain. This paper will analyze the current state of application of advanced technologies in smart agriculture in the world and will present a review of potential opportunities for the introduction of such applications and processes in Bosnia and Herzegovina. Emphasis will be placed on telecom operators and their role in the development of smart agriculture in Bosnia and Herzegovina.

**Keywords:** smart agriculture, Internet of Things, cloud solutions, ICT, telecom operators.

## Literatura

1. Igor Jurčić, Sven Gotovac: "A Comprehensive Techno-Economic Model for Fast and Reliable analysis of Telecom Operator Potentials", *Applied Sciences*, Listopad 2022, DOI: 10.3390/app122010658,
2. Muhammad Bakhit Izzuddin Rahmat, Mohd Jais Che Soh: "IoT Based Smart Agriculture Monitoring and Irrigation System", Vol. 5 No. 1 (2024) 581-586. *EVOLUTION IN ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING* e-ISSN: 2756-8458 <https://publisher.uthm.edu.my/periodicals/index.php/eeee>,
3. DOI: <https://doi.org/10.30880/eeee.2024.05.01.074>
4. Rhea Pinto, Damayanti Patil, Nathan Joseph, Chryselle Barreto, Shamsuddin Khan: "Smart Agriculture Using IOT", *International Journal for Multidisciplinary Research (IJFMR)*, E-ISSN: 2582-2160, Website: [www.ijfmr.com](http://www.ijfmr.com), Volume 6, Issue 3, May-June 2024
5. RENZO LEONARDO PAREJA URTECHO, JESÚS RODRÍGUEZ-MOLINA, MARGARITA MARTÍNEZ-NÚÑEZ, AND JUAN GARBAJOSA: "Enhancing Agriculture Through IoT and Blockchain: A VeChain-Enhanced Sustainable Development Approach for Small-Scale Agricultural Exploitations", *IEEE Access*, Received 13 October 2024, accepted 9 November 2024, date of publication 26 November 2024, date of current version 9 December 2024. Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2024.350651
6. Girma Gebresenbet, Techane Bosona, David Patterson, Henrik Persson, Benjamin Fischer, Nerea Mandaluniz, Gherardo Chirici, Aleksejs Zacepins, Vitalijs Komasilovs, Tudor Pitulac, Abozar Nasirahmadi: "A concept for application of integrated digital technologies to enhance future smart agricultural systems", *Smart Agricultural Technology* 5 (2023) 100255, journal homepage: [www.journals.elsevier.com/smart-agricultural-technology](http://www.journals.elsevier.com/smart-agricultural-technology),
7. Neema S, Vishnumaya Suresh, Vishnupriya Suresh, Kavya Suresh: "IoT Based Smart Agriculture Monitoring and Irrigation System Using Renewable Energy", *INTERNATIONAL JOURNAL OF PROGRESSIVE RESEARCH IN SCIENCE AND ENGINEERING*, VOL.5, NO.4., APRIL 2024,
8. Jayakumar R. Karthikeyan S N, Naveen Perumal M, Methini M.: "SMART AGRICULTURE USING IoT", 2019 *JETIR* June 2019, Volume 6, Issue 6 [www.jetir.org](http://www.jetir.org) (ISSN-2349-5162),
9. Amin S. Ibrahim, Saeed Mohsen, I. M. Selim4, RoobaeaAlroobaea, MajedAlsafyani, Abdullah M. Baqasah & Mohamed Eassa: "AI-IoT based smart agriculture pivot for plant diseases detection and treatment", [www.nature.com/scientificreports](http://www.nature.com/scientificreports), *Scientific Reports* | (2025) 15:16576 | <https://doi.org/10.1038/s41598-025-98454-6>,
10. Majid Nawaz, Muhammad Inayatullah Khan Babar: "IoT and AI for smart agriculture in resourceconstrained environments: challenges, opportunities and solutions", Received: 30 September 2024 / Accepted: 3 March 2025, Published online: 13 March 2025, *Discover Internet of Things* (2025) 5:24 | <https://doi.org/10.1007/s43926-025-00119-3>

# OPTIMIZIRANJE UPRAVLJANJA NAVODNJVANJEM POMOĆU UMJETNE INTELIGENCIJE: KORELACIJA ATMOSFERSKIH UVJETA I VLAGE U TLU POMOĆU STROJNOG UČENJA

Vlado Grubišić  
Sveučilište u Mostaru

**Sažetak:** Kako bi se razvili kvalitetniji modeli za predviđanja strukture proteina, potrebno ih je optimizirati na najzahtjevnijim skupovima proteinskih aminokiselinskih sljedova (sekvencija, primarnih struktura) međusobno niske sličnosti. Ova je studija imala za cilj razviti model umjetne neuronske mreže (ANN) za optimizaciju sustava navodnjavanja korelacijom podataka senzora vlažnosti tla s podacima meteorološke stanice. Prikupljeni su podaci sa senzora vlažnosti tla i meteoroloških stanica tijekom jednog mjeseca i korišten ANN model kako bismo pokazali ovisnost vlažnosti tla o vanjskim vremenskim čimbenicima. Metoda analize glavnih komponenti (PCA) dala je najbolju izvedbu, pokazujući da ANN model može točno predvidjeti razine vlage u tlu na temelju vremenskih podataka. Naše istraživanje pokazuje potencijal korištenja sustava za navodnjavanje vođenog umjetnom inteligencijom za smanjenje troškova ljudskog rada i reguliranje potrošnje vode radi usklađivanja s uvjetima okoliša, pridonoseći održivijoj i učinkovitijoj poljoprivrednoj praksi.

**Ključne riječi:** umjetna neuronska mreža, vlažnost tla, optimizacija navodnjavanja

## 1. Uvod

Umjetna inteligencija (AI) značajno je pridonijela razvoju alata koji su poboljšali naš životni standard. Modeli strojnog učenja, poput umjetnih neuronskih mreža, kNN-a i slučajne šume, pružaju sredstva za automatizaciju i optimizaciju radnih procesa. Navodnjavanje tla, ključni aspekt poljoprivrede, često se oslanja na iskustvo poljoprivrednika kako bi se odredila prava količina navodnjavanja potrebna za usjeve. Tradicionalne metode vizualnih i fizičkih pregleda tla često su neadekvatne, što dovodi do nedovoljnog ili prekomjernog navodnjavanja usjeva, što rezultira smanjenim prinosom i rasipanjem resursa. Senzori vlažnosti tla nude sofisticiraniji način točne provjere razine vlažnosti tla. Međutim, sadržaj vlage u tlu ovisi i o atmosferskim uvjetima, što se može mjeriti senzorima na meteorološkoj postaji. U ovome radu će se pokazati razvijanje modela upravljanja koji optimizira upravljanje navodnjavanjem tla korelacijom atmosferskih uvjeta i vlažnosti tla. Istraživanje ima za cilj stvoriti matematički model koji točno predviđa razinu vlažnosti tla na temelju podataka prikupljenih s meteorološke stanice i senzora vlažnosti tla. Alat za razvoj modela upravljanja bit će umjetna neuronska mreža koja je prikladna za manipulaciju velikim brojem ulaznih varijabli. Nedostatak dovoljnih podataka o vlažnosti tla značajan je izazov u upravljanju sustavima navodnjavanja. Ovo istraživanje koristi podatke s meteorološke stanice instalirane u kampusu Sveučilišta u Mostaru i senzore vlažnosti tla instalirane u blizini. Istraživanje je provedeno na jednostavnoj poljoprivrednoj kulturi, vrtnoj travi, koja se navodnjava već instaliranim sustavom prskalica aktiviranim solenoidnim ventilima.

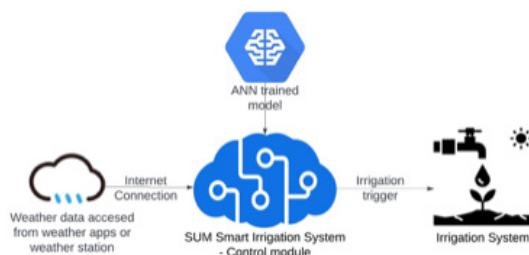
Meteorološke stanice i senzori vlažnosti tla nisu lako dostupni zbog njihove instalacije, a ovo istraživanje će usporediti podatke s meteorološke stanice i web-stranice AccuWeather koja prikazuje podatke o atmosferskim uvjetima. Usporedbom podataka iz ova

dva izvora potvrdit će se točnost i relevantnost podataka s web-stranice AccuWeather, stvarajući osnovu za provođenje istraživanja na drugim geografskim lokacijama. Istraživanje ima za cilj istražiti ovisi li vlažnost tla o geografskom položaju i općoj klimi na toj specifičnoj lokaciji. Model upravljanja razvijen u ovom radu s podacima dobivenim na Sveučilištu u Mostaru bit će testiran na pouzdanost na drugim lokacijama. Studija će doprinijeti optimizaciji upravljanja navodnjavanjem i smanjenju rasipanja resursa, što će rezultirati povećanim prinosom usjeva i poboljšanim upravljanjem resursima. Ukratko, primjena umjetne inteligencije u optimizaciji upravljanja navodnjavanjem složen je problem koji zahtijeva matematički model koji adekvatno opisuje promjene vlažnosti tla u odnosu na atmosferske uvjete. Ovo istraživanje ima za cilj pružiti takav model i doprinijeti učinkovitijem i djelotvornijem upravljanju navodnjavanjem.

## 2. Srodna djela

Primjena tehnika umjetne inteligencije (UI) i strojnog učenja (ML) u području upravljanja navodnjavanjem posljednjih je godina privukla značajnu pozornost. Nekoliko je studija pokazalo učinkovitost pristupa umjetne inteligencije i ML-a u optimizaciji rasporeda navodnjavanja, predviđanju vlažnosti tla i korelaciji atmosferskih uvjeta za učinkovito upravljanje vodama [Zhang 2021, Lalitha 2005, Kourgialas 2014]. Korištenje tehnika umjetne inteligencije, poput umjetnih neuronskih mreža (ANN), pokazalo se učinkovitim u modeliranju odnosa između klimatskih čimbenika i razine vlažnosti tla [Hornik 1989]. U radu [Gago 2015] koristili su ANN-ove za predviđanje sadržaja vlage u tlu na temelju podataka o temperaturi, oborinama i evapotranspiraciji. Slično tome [Brouwer 1985], koristili su ANN-ove za procjenu referentne evapotranspiracije, koja je ključna za planiranje navodnjavanja. Strojevi potpornih vektora (SVM) također su korišteni za upravljanje navodnjavanjem, posebno u predviđanju vlažnosti tla. Primjer se može naći u radu Vapnika i suradnika [Vapnik 1997], gdje su primijenili SVM-ove za procjenu vlažnosti tla pomoću satelitskih podataka i mjerenja sa zemlje. Nadalje, Ray i Jain [Ray 2007] koristili su SVM-ove za modeliranje dinamike vlažnosti tla u poljoprivrednim poljima i postigli zadovoljavajuću točnost predviđanja. Metode temeljene na stablima odlučivanja, poput slučajnih šuma, korištene su za modeliranje odnosa između atmosferskih uvjeta i sadržaja vlažnosti tla [Breiman 2001]. Pristup slučajnih šuma pokazao se boljim od drugih metoda strojnog učenja u pogledu točnosti i robusnosti [Liaw 2002]. U istraživanju koje su proveli Genuer i suradnici [Genuer 2010], slučajne šume korištene su za predviđanje dnevne vlažnosti tla te su pokazale bolje rezultate u odnosu na linearne regresijske modele.

Osim tradicionalnih tehnika strojnog učenja, istraživane su i metode dubokog učenja, poput konvolucijskih neuronskih mreža (CNN), za predviđanje vlažnosti tla korištenjem podataka daljinskog istraživanja [Krizhevsky 2012]. Prednost CNN-a leži u njihovoj sposobnosti da automatski uče relevantne značajke iz velikih skupova podataka, što ih čini pogodnima za složeno modeliranje okolišnih sustava. Nedavno su Zhou i suradnici [Zhou 2019] razvili pristup temeljen na CNN-ovima za procjenu vlažnosti tla koji koristi višestruke izvore podataka daljinskog istraživanja, postižući poboljšanu točnost predviđanja u odnosu na tradicionalne modele strojnog učenja. Literatura sugerira da se algoritmi strojnog učenja mogu učinkovito koristiti za optimizaciju upravljanja navodnjavanjem putem predikcije razine vlažnosti tla na temelju atmosferskih uvjeta. Različiti algoritmi strojnog učenja, poput slučajnih šuma, regresije potpornih vektora i neuronskih mreža, primijenjeni su u tu svrhu.



Slika 1 - Arhitektura kreiranog sustava

Njihova primjena ima potencijal za smanjenje potrošnje vode i poboljšanje prinosa usjeva. Ipak, postoje istraživačke praznine koje još uvijek treba obraditi. Naime, većina dosadašnjih studija fokusira se isključivo na meteorološke podatke prilikom predikcije vlažnosti tla, dok i drugi čimbenici poput tipa tla i vrste usjeva mogu imati značajan utjecaj na učinkovitost navodnjavanja. Također, prikupljanje podataka putem senzora može predstavljati izazov zbog visokih troškova postavljanja i održavanja, što ograničava primjenu u nekim poljoprivrednim okruženjima. Sveukupno, literatura pokazuje velik potencijal primjene algoritama strojnog učenja u optimizaciji navodnjavanja temeljenoj na predikciji vlažnosti tla. Unatoč postojećim izazovima, recentna istraživanja donose ohrabrujuće rezultate i potvrđuju važnost daljnjeg rada na ovom području.

### 3. Metodologija

#### 3.1. Model umjetne neuronske mreže

U ovom istraživanju korišten je model umjetne neuronske mreže (ANN) kako bi se postavila korelacija između atmosferskih uvjeta i razine vlažnosti tla. Umjetne neuronske mreže predstavljaju skup algoritama strojnog učenja inspiriranih strukturom i funkcijom ljudskog mozga [Goodfellow 2016]. Sastoje se od međusobno povezanih čvorova, odnosno neurona organiziranih u slojeve, što im omogućuje učenje složenih obrazaca i odnosa u podacima.

ANN model korišten u ovom radu sastojao se od jednog skrivenog sloja s 400 neurona. Model je treniran pomoću algoritma Stochastic Adaptive Gradient Descent s ReLU aktivacijskom funkcijom. Početna stopa učenja postavljena je na 0.001, dok je tolerancija iznosila 0.0000001. Funkcija gubitka korištena u treningu bila je standardna funkcija srednje kvadratne pogreške [Ruder 2016]. Model je treniran na prikupljenim podacima s meteorološke stanice i senzora za vlažnost tla, pri čemu su atmosferski uvjeti korišteni kao ulazne varijable, a razine vlažnosti tla kao izlazne. Podaci su podijeljeni u omjeru 90:10, pri čemu je 90% korišteno za treniranje, a 10% za testiranje modela. Tijekom procesa treniranja prilagođivane su težine i pristranosti neurona u mreži s ciljem minimiziranja pogreške između predviđenih i stvarnih vrijednosti vlažnosti tla. Nakon završetka treniranja, ANN model je korišten za predikciju vlažnosti tla na temelju atmosferskih uvjeta, a zatim je evaluirana točnost njegovih predviđanja.

#### 3.2. Usporedba podataka sa meteo stanice i AccuWeathera

Kako bi se osigurala pouzdanost i primjenjivost razvijenog modela, bilo je potrebno usporediti podatke dobivene s meteorološke stanice postavljene u kampusu Sveučilišta u Mostaru s podacima preuzetima s internetske platforme AccuWeather. Cilj ove usporedbe bio je potvrditi točnost i relevantnost podataka s AccuWeathera, čime bi se



omogućila primjena razvijenog modela i na drugim geografskim lokacijama bez potrebe za lokalnom meteorološkom stanicom.

Proces usporedbe odvijao se u sljedećim koracima:

1. Prikupljanje podataka s meteorološke stanice i AccuWeathera za iste vremenske intervale uz osiguravanje vremenskog usklađivanja podataka.
2. Predobrada oba skupa podataka kako bi bili u usporedivom formatu, uključujući normalizaciju varijabli ako je potrebno.
3. Izračunavanje koeficijenata korelacije između odgovarajućih varijabli iz oba izvora podataka, čime se mjeri snaga i smjer odnosa među njima.
4. Analiza koeficijenata korelacije radi identifikacije varijabli s jakom pozitivnom ili negativnom korelacijom, što upućuje na visoki stupanj podudarnosti između podataka meteorološke stanice i AccuWeathera.
5. Vizualizacija odnosa između koreliranih varijabli korištenjem dijagrama raspršenja ili drugih prikladnih grafičkih prikaza radi vizualne potvrde sličnosti dvaju skupova podataka.
6. Procjena ukupne sličnosti između skupova podataka putem izračuna srednje apsolutne pogreške (MAE), korijena srednje kvadratne pogreške (RMSE) ili drugih prikladnih metričkih pokazatelja pogreške s ciljem kvantifikacije razlika.

Ovom metodologijom može se potvrditi točnost i relevantnost podataka s AccuWeathera, čime se stvara čvrsta osnova za provođenje istraživanja na drugim geografskim lokacijama gdje postavljanje meteorološke stanice nije izvedivo ili nije nužno.

## 4. Evaluacija i usporedba modela

### 4.1. Korelacijska analiza

Kao što se i očekivalo, najveća korelacija s vlažnošću tla uočena je kod varijabli koje su izravno povezane s vlagom, poput relativne vlažnosti zraka i točke rosišta. Ovi mjerni signali pokazali su visoku korelaciju s očitanjima senzora za vlažnost tla te su stoga uključeni u model neuronske mreže. Većina koeficijenata korelacije bila je negativna, s iznimkom apsolutnog tlaka, koji je pokazao snažnu pozitivnu korelaciju s otporom tla. Prilog “inside” u opisu podataka označava da su senzori za temperaturu i vlagu smješteni unutar zaštitnog kućišta od zračenja. Ovo kućište štiti senzore od izravnog sunčevog zračenja i drugih izvora zračne i reflektirane topline, čime se osiguravaju točna mjerenja. Unutarnja točka rosišta označava temperaturu pri kojoj vodena para u uzorku zraka pri konstantnom barometarskom tlaku kondenzira u tekuću vodu jednakom brzinom kojom isparava. Od svih analiziranih varijabli, unutarnja relativna vlažnost zraka pokazala je najjaču korelaciju s otporom tla.

### 4.2. Metrički pokazatelji za evaluaciju modela

Za procjenu performansi ANN modela korišteni su standardni metrički pokazatelji evaluacije, uključujući srednju apsolutnu pogrešku (MAE), korijen srednje kvadratne pogreške (RMSE) i koeficijent determinacije ( $R^2$ ). Ove metrike omogućuju kvantitativnu procjenu točnosti modela u predviđanju vlažnosti tla na temelju ulaznih varijabli.

Srednja apsolutna pogreška (MAE): Ova metrika izračunava prosječnu apsolutnu razliku između predviđenih i stvarnih vrijednosti. Niža vrijednost MAE ukazuje na bolju učinkovitost modela. Korijen srednje kvadratne pogreške (RMSE): RMSE predstavlja kvadratni korijen prosječne kvadratne razlike između predviđenih i stvarnih vrijednosti. Niža vrijednost RMSE ukazuje na veću preciznost modela, pri čemu je metrika



osjetljiva na veće pogreške.

Koeficijent determinacije ( $R^2$ ):  $R^2$  pokazuje koliki dio varijance zavisne varijable može biti objašnjen nezavisnim varijablama. Vrijednost se kreće između 0 i 1, a viši  $R^2$  označava bolju prilagodbu modela. Usporedbom vrijednosti ovih pokazatelja za razvijeni ANN model može se ocijeniti njegova učinkovitost i preciznost u predviđanju vlažnosti tla na temelju atmosferskih uvjeta. Nadalje, iste metrike omogućuju usporedbu performansi ANN modela s drugim modelima strojnog učenja, čime se dobivaju uvidi u to koji je model najprikladniji za rješavanje promatranog problema.

#### 4.3. Usporedba modela

ANN model može se usporediti s drugim modelima strojnog učenja, poput k-najbližih susjeda (kNN) ili slučajnih šuma (Random Forest), izračunavanjem istih evaluacijskih pokazatelja za svaki od modela. Usporedbom performansi različitih modela moguće je identificirati onaj koji je najprikladniji i najučinkovitiji za predikciju vlažnosti tla na temelju zadanih atmosferskih uvjeta. Ovakva komparativna analiza može doprinijeti optimizaciji modela za upravljanje navodnjavanjem i osigurati maksimalnu točnost u predviđanju vlažnosti tla.

### 5. Rasprava i praktične implikacije

Ovo istraživanje imalo je za cilj razvoj modela umjetne neuronske mreže (ANN) za predviđanje vlažnosti tla na temelju atmosferskih uvjeta. Neuronska mreža trenirana je korištenjem modula SciPy u programskom jeziku Python. Kako bi se procijenile performanse modela i identificirao najbolji skup ulaznih varijabli, provedena je serija eksperimenata u okviru pet različitih scenarija.

#### 5.1. Evaluacijski scenariji

Pet scenarija korištenih u ovom istraživanju osmišljeno je s ciljem procjene utjecaja različitih podskupova mjernih signala na točnost modela neuronske mreže. Eksperimenti i raspodjela značajki definirani su na sljedeći način:

1. Prvi scenarij uključivao je samo deset najviše koreliranih mjernih signala s podacima o vlažnosti tla. Cilj je bio utvrditi može li manji skup relevantnih signala poboljšati performanse modela isključivanjem onih koji negativno utječu na izlazne podatke.
2. Drugi scenarij obuhvatio je dvadeset mjernih signala meteorološke stanice koji su pokazali visoku korelaciju s vlažnošću tla. Motivacija je bila istražiti postoji li rizik da isključivanjem manjih skupova signala nehotice budu izostavljene važne varijable.
3. Treći scenarij uključio je trideset signala najviše koreliranih s vlažnošću tla, s istom motivacijom kao i prethodni scenarij, dodatno testirati utjecaj proširivanja skupa značajki.
4. Četvrti scenarij koristio je sve dostupne mjerne signale iz skupa podataka kako bi se utvrdilo postoje li varijable koje negativno utječu na točnost modela.
5. Peti scenarij primijenio je metodu analize glavnih komponenti (PCA) s ciljem identifikacije optimalnog broja komponenti koje omogućuju izdvajanje najrelevantnijih mjernih signala za ovaj zadatak. PCA tehnika iskorištena je za generiranje glavnih komponenti koje su potom korištene kao ulazi u neuronsku mrežu.

Na svih pet scenarija primijenjen je isti model neuronske mreže, koji je treniran kroz višestruke iteracije sve do konvergencije. Izlaz modela skaliran je korištenjem algoritma

minimalne i maksimalne normalizacije, a potom uspoređen s očitanjima senzora radi određivanja preciznosti modela. Međutim, u ovom kontekstu evaluacija se fokusirala na pogrešku predikcije, a ne na potpuno precizno predviđanje stvarnih vrijednosti, što u praksi može biti izazovno.

## 5.2. Mjerna metrika uspješnosti

Primarna metrika korištena u ovom istraživanju bio je koeficijent determinacije (R-squared,  $R^2$ ), koji se uobičajeno primjenjuje u regresijskim problemima.  $R^2$  pokazuje koliki dio varijance zavisne varijable može biti objašnjen nezavisnim varijablama. Vrijednost  $R^2$  bliska 1 upućuje na to da model vrlo dobro predviđa podatke.

Vrijednost  $R^2$  računa se prema jednadžbi 1:

$$R^2 = 1 - (SS_{\text{res}} / SS_{\text{tot}}) \quad (1)$$

gdje je  $SS_{\text{res}}$  rezidualna suma kvadrata, a  $SS_{\text{tot}}$  ukupna suma kvadrata.

## 5. Zaključak

U ovom istraživanju primarni cilj bio je doprinijeti očuvanju vodnih resursa razvojem modela koji optimizira sustav navodnjavanja zelenih površina. Konvencionalne metode navodnjavanja zahtijevaju značajan ljudski angažman, a čak i kada se koriste senzori za vlažnost tla, potrebno je dodatno održavanje. Odluke o navodnjavanju temeljene na ljudskoj procjeni često dovode do prekomjerne potrošnje vode. Integracijom umjetne inteligencije (AI) u sustav navodnjavanja nastojali smo stvoriti učinkovitiji i održiviji pristup korištenju vode u poljoprivredi. U prvom koraku istraživali smo korelaciju između očitavanja senzora vlažnosti tla i meteoroloških podataka, prikupljanjem podataka sa senzora postavljenih u kampusu Sveučilišta te s meteoroloških postaja. Nakon mjesec dana prikupljanja podataka, koristili smo model umjetne neuronske mreže (ANN) kako bismo prikazali ovisnost vlažnosti tla o vanjskim vremenskim čimbenicima. Analizom su identificirane najrelevantnije vremenske varijable za predikciju razine vlažnosti tla, a zatim je evaluirana učinkovitost ANN modela s različitim skupovima ulaznih podataka. Metoda analize glavnih komponenti (PCA) pokazala se najuspješnijom za ovaj skup podataka, pri čemu je postignut koeficijent determinacije  $R^2$  od 0,94971. To ukazuje na to da podaci sa senzora vlažnosti tla i meteo stanice koreliraju s točnošću od 94,971 %. Zaključno, ovo istraživanje pokazuje potencijal primjene ANN modela za uspostavu korelacije između podataka senzora vlažnosti tla i meteoroloških podataka, omogućujući točnu predikciju razine vlažnosti tla isključivo na temelju vremenskih informacija. Implementacijom sustava navodnjavanja vođenog umjetnom inteligencijom moguće je smanjiti troškove rada i, što je još važnije, regulirati potrošnju vode u skladu s okolišnim uvjetima. Ovo istraživanje predstavlja obećavajući korak prema razvoju održivijih i učinkovitijih poljoprivrednih praksi.

# OPTIMIZING IRRIGATION MANAGEMENT USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE: CORRELATION OF ATMOSPHERIC CONDITIONS AND SOIL MOISTURE USING MACHINE LEARNING

**Summary:** In order to develop better models for protein structure prediction, they need to be optimized on the most demanding sets of protein amino acid sequences (sequences, primary structures) with low similarity to each other. This study aimed to develop an artificial neural network (ANN) model for irrigation system optimization by correlating soil moisture sensor data with weather station data. Data from soil moisture sensors and weather stations were collected over a period of one month and the ANN model was used to show the dependence of soil moisture on external weather factors. The principal component analysis (PCA) method gave the best performance, showing that the ANN model can accurately predict soil moisture levels based on weather data. Our research demonstrates the potential of using AI-driven irrigation systems to reduce human labor costs and regulate water consumption to match environmental conditions, contributing to more sustainable and efficient agricultural practices.

**Keywords:** artificial neural network, soil moisture, irrigation optimization

## Literatura

1. X. Zhang, P. Sui, P. Yan, Y. Zhao: A review on the integration of artificial intelligence in irrigation management, *Agricultural Water Management* 240, 106300, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106300>
2. M. Lalitha, R.S. Rao, K.V. Rao: Irrigation management using artificial intelligence techniques, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 131(2), 149–157, 2005. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2005\)131:2\(149\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)131:2(149))
3. N.N. Kourgialas, G.P. Karatzas: Optimum soil moisture estimation using artificial intelligence techniques, *Agricultural Water Management* 134, 73–84, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.12.001>
4. K. Hornik, M. Stinchcombe, H. White: Multilayer feedforward networks are universal approximators, *Neural Networks* 2(5), 359–366, 1989. [https://doi.org/10.1016/0893-6080\(89\)90020-8](https://doi.org/10.1016/0893-6080(89)90020-8)
5. J. Gago, C. Douthe, R.E. Coopman, M. Galleguillos, P.E. Corneo, P. Pérez, S. Ortega-Farías, M.A. Moreno, V. Gond, J. Flexas: UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture, *Agricultural Water Management* 153, 9–19, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.01.009>
6. C. Brouwer, A. Goffeau, M. Heibloem: Irrigation water management: irrigation water needs, Food and Agriculture Organization, Paper No. 3, 1–41, 1985.
7. V. Vapnik, S.E. Golowich, A. Smola: Support vector method for function approximation, regression estimation, and signal processing, In: *Advances in Neural Information Processing Systems*, vol. 9, pp. 281–287, MIT Press, Cambridge, 1997.
8. L. Breiman: Random forests, *Machine Learning* 45(1), 5–32, 2001. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
9. A. Liaw, M. Wiener: Classification and regression by randomForest, *R News* 2(3), 18–22, 2002.
10. A. Krizhevsky, I. Sutskever, G.E. Hinton: ImageNet classification with deep convolutional neural networks, In: *Advances in Neural Information Processing Systems*, vol. 25, pp. 1097–1105, Curran Associates, Inc., Red Hook, 2012.
11. S.S. Ray, N. Jain: Soil moisture prediction using support vector machines, *Journal of Hydrology* 332(3–4), 258–267, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.06.032>
12. R. Genuer, J.M. Poggi, C. Tuleau-Malot: Variable selection using random forests, *Pattern Recognition Letters* 31(14), 2225–2236, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2010.03.014>
13. X. Zhou, C. Yang, Y. Zhao, X. Zhang, J. Guo, H. Yu: A multisource remote sensing data fusion approach based on convolutional neural networks for soil moisture estimation, *Remote Sensing* 11(14), 1628, 2019. <https://doi.org/10.3390/rs11141628>
14. I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville: *Deep Learning*, MIT Press, 2016. <http://www.deeplearningbook.org>
15. S. Ruder: An overview of gradient descent optimization algorithms, arXiv preprint arXiv:1609.04747, 2016. <https://arxiv.org/abs/1609.04747>

# POTENCIJAL FITOKEMIKALIJA U DIGITALNOLNOJ TRANSORMACIJI ZELENE EKONOMIJE

**Martina Arapović, mag. ing. techn. aliment.**

Agronomski i prehrambeno-tehnološki fakultet, Sveučilište u Mostaru

**dr. sc. Višnja Vasilj, izv. prof.**

Agronomski i prehrambeno-tehnološki fakultet, Sveučilište u Mostaru

**Sažetak:** Promjene okolišnih uvjeta značajno doprinose povećanoj učestalosti i širenju biljnih bolesti u poljoprivrednoj proizvodnji, ponajprije zbog abiotskih stresnih čimbenika te biotskih uzročnika poput štetnika, bakterija, gljivica i virusa. Ti čimbenici dovode do smanjenja kvalitete biljnih sirovina i njihovih nutritivno važnih sastojaka. Obrada takvih sirovina dodatno utječe na trajnost i kvalitetu prehrambenih proizvoda, što može imati negativne posljedice na ljudsko zdravlje. Stoga, prehrambena industrija posljednjih godina nastoji smanjiti količinu otpada i maksimalno iskoristiti sve nusproizvode u raznim područjima uključujući farmaciju, agronomiju, nutricionizam i medicinu. Biljne sirovine i njihovi nusproizvodi predstavljaju bogat izvor raznih nutrijenata, minerala, vitamina i fitokemikalija (bioaktivnih spojeva). Fitokemikalije su složeni, specijalizirani biljni metaboliti, među kojima se ističu polifenolni spojevi, alkaloidi, flavonoidi, flavonoli, kinoni, polipeptidi, terpeni i drugi. Ovi spojevi imaju značajnu terapijsku vrijednost, uključujući antioksidativno i antiseptičko djelovanje, zbog čega se koriste u prevenciji i liječenju respiratornih, gastrointestinalnih, kardiovaskularnih, upalnih i dijabetičkih bolesti, kao i u smanjenju rizika od raka i neurodegenerativnih poremećaja. Fitokemikalije izolirane iz različitih biljnih vrsta pokazuju iznimnu sposobnost inhibicije slobodnih radikala te na taj način sprečavaju oksidacijske procese koji uzrokuju trajna oštećenja stanica. Jedan od najpoznatijih učinaka fitokemikalija jest njihovo antimikrobno djelovanje, zbog čega se dodaju prehrambenim proizvodima kako bi se usporio ili spriječio rast štetnih mikroorganizama i produžila njihova trajnost. Digitalizacija pritom ima bitnu ulogu u razvoju učinkovitijih i održivijih metoda ekstrakcije fitokemikalija iz biljnih sirovina s ciljem dobivanja prirodnih spojeva poznatih po brojnim korisnim svojstvima. Korištenjem naprednih tehnologija poput senzora, umjetne inteligencije i analize velikih količina podataka (big data), moguće je precizno pratiti i kontrolirati uvjete uzgoja te identificirati optimalne faze za ekstrakciju fitokemikalija. Istovremeno se smanjuje potreba za kemijskim pesticidima u zaštiti usjeva kroz primjenu biopesticida, razvoj inovativnih proizvoda u prehrambenoj industriji (poput prirodnih ambalažnih materijala i konzervansa), kao i biopripravaka u kozmetici i medicini. Digitalna rješenja omogućuju učinkovitije korištenje prirodnih resursa, smanjenje otpada i razvoj inovativnih proizvoda u raznim industrijskim sektorima. Na taj način ostvaruje se održiv model upravljanja prirodnim resursima, zaštite okoliša i razvoja nove generacije funkcionalnih sastojaka u ljudskoj prehrani u skladu s principima zelene ekonomije.

**Ključne riječi:** fitokemikalije, održivost, digitalizacija, prehrambena industrija, nusproizvodi, zelena ekonomija

1. Uvod

Zelena kemija i digitalizacija postaju važni alati u održivoj poljoprivredi i prehrambenoj industriji s ciljem smanjenja bolesti, kontaminacija i utjecaja na okoliš (Akpanyung i sur., 1995). Aromatične i ljekovite biljke sve su traženije zbog bogatstva sekundarnih metabolita, fitokemikalija, poput fenola, flavonoida, likopena i terpena koje djeluju antioksidativno, antimutageno i antikancerogeno (War i sur., 2012; Mssillou i sur., 2022; Gupta i sur., 2023). Likopen, primjerice, pomaže kod karcinoma i kardiovaskularnih bolesti, dok vitamin C iz biljaka ima snažan antioksidativni i fiziološki učinak. Prirodni antioksidansi poput fitokemikalija predstavljaju sigurniju alternativu sintetskim spojevima kao što je BHT koji se povezuje s oštećenjem jetre i karcinogenezom (Bouyahya i sur., 2017; Berrougui i sur., 2007). Biljke pod okolišnim stresom proizvode fitoaleksine kao obrambeni mehanizam protiv biotskih čimbenika (War i sur., 2012). Digitalna tehnologija omogućuje praćenje rasta biljaka, sinteze fitokemikalija i optimalno vrijeme berbe, čime se poboljšava kvaliteta ekstrakata (Chiocchio, 2021; Gouda i sur., 2021). Fitokemikalije i eterična ulja učinkovito suzbijaju štetnike, plijesni i kontaminaciju mikotoksinima (Islam i sur., 2009; González-Coloma i sur., 2006; El Miziani i sur., 2017).

2. Fitokemikalije: biološke osnove i ekonomski potencijal

Fitokemikalije su bioaktivni biljni spojevi koji se nalaze u voću, povrću, žitaricama i drugoj biljnoj hrani. Izdvajaju se svojim zdravstvenim prednostima, uz osnovne prehrambene prednosti (Kumar i sur., 2022). Osim kao sastojak u obliku funkcionalne hrane, fitokemikalije se mogu naći i u koncentriranom obliku kao nutraceutici (Kumar i sur., 2023). Osnovne skupine uključuju flavonoide, fenolne kiseline, stilbene, lignane, terpenoide, alkaloidne, saponine i fitosterole (Tedeschi, 2021), koji su prikazani u Tablici 1. Njihov biološki učinak obuhvaća antioksidativna, protuupalna, antimikrobna i antikancerogena svojstva (Zhu i sur., 2025). Ekonomski potencijal, s druge strane, nalazi se u njihovoj upotrebi kao nutraceutici, farmaceutici, aktivnoj ambalaži i biopesticidima. U kontekstu održivosti, fitokemikalije nude mogućnost zamjene sintetskih kemikalija i farmaceutika čime doprinose smanjenju ekološkog otiska i razvoju bioekonomije (Putra i sur., 2023).

| Skupina fitokemikalija | Primjeri                              | Načini dobivanja                                         | Benefiti u prehrambenoj industriji                                 |
|------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Flavonoidi             | Kvercetin, catehini, antocijani       | Hladno prešanje, ekstrakcija vodom ili alkoholom iz voća | Antioksidativna svojstva, boja i stabilnost prehrambenih proizvoda |
| Fenolne kiseline       | Ferulinska, kafeinska, galna kiselina | Ekstrakcija iz žitarica, voća i povrća                   | Antioksidansi, očuvanje svježine i funkcionalna svojstva hrane     |
| Stilbeni               | Resveratrol                           | Ekstrakcija iz kože grožđa i bobica                      | Zaštita sra, produljena trajnost funkcionalnih napitaka            |
| Lignani                | Secoisolaricresinol, matairesinol     | Ekstrakcija iz sjemenki lana i cjelovitih žitarica       | Hormon-regulatorni učinci, potencijalna zaštita od raka dojke      |
| Saponini               | Ginsenosidi, sojasaponini             | Vodena ekstrakcija iz mahunarki (soja)                   | Emulgatori, pjenila, potencijalno snižavanje kolesterola           |
| Karotenoidi            | Beta-karoten, lutein, likopen         | Ekstrakcija iz mrkve, rajčice, kukuruza                  | Prirodna bojila, provitamin A, zaštita vida i kože                 |

Tabela 1 - Skupine fitokemikalija korištene u prehrambenoj industriji

2.1. Primjene u poljoprivredi, farmaciji i industriji

Prisutnost fitokemikalija u biljkama ima višestruke funkcije od kojih se izdvaja zaštita biljke od patogena, štetnika i stresa iz okoliš (Rizvi, 2022). Korištene za razvoj biopesticida, biognojiva i pripravaka za zaštitu bilja, fitokemikalije imaju minimalan utjecaj na okoliš i ne izazivaju rezistenciju kao sintetski pesticidi (Gupta i sur., 2023). Primjerice, formulacija srebrnih nanočestica (AgNPs) pomoću ekstrakta nevena pokazala je gotovo potpunu učinkovitost protiv parazitskih nematoda, nadmašujući klasične kemikalije

(Deepika i sur., 2025). Biljni biopesticidi, bilo kroz ekstrakte ili eterična ulja, imaju potencijal postati održiva alternativa konvencionalnim pesticidima, osobito ako se integriraju u strategije integriranog upravljanja štetnicima (Putra i sur., 2023). U farmaceutici i medicini napredne tehnologije isporuke, uključujući nanoemulzije i lipidne nosače, značajno poboljšavaju bioraspoloživost fitokemikalija (Kim, 2024). Među najistaknutijim fitokemikalijama nalaze se kurkumin iz kurkume, resveratrol iz grožđa te epigalokatehin galat (EGCG) iz zelenog čaja (Kumar i sur., 2024). Fitokemikalije pokazuju značajan potencijal i u terapiji metaboličkih poremećaja kao što su dijabetes i pretilost (Muscolo, 2024). Djeluju putem regulacije glukoznog metabolizma, poboljšanja lipidnog profila i povećanja osjetljivosti na inzulin (Hossain, 2025). Ipak, unatoč iznimnom terapijskom potencijalu, prisutni su i izazovi, posebice u pogledu bioraspoloživosti i standardizacije ekstrakata za kliničku primjenu. Novi pristupi formulaciji (npr. nanoenkapsulacija) i napredne metode skrininga doprinose povećanju farmakološke učinkovitosti fitokemikalija i njihovoj integraciji u moderne terapijske primjene (Kumar i sur., 2024). Također, nedavna istraživanja potvrđuju kako visok unos flavonoida i polifenola smanjuje rizik od kardiovaskularnih bolesti, raka i neurodegeneracije, čime ove tvari stječu ulogu u prevenciji bolesti i očuvanju zdravlja (Leitzmann, 2023). Industrija koristi fitokemikalije u funkcionalnim materijalima, bioaktivnoj ambalaži i kozmetici, gdje prirodni izvor i biološka aktivnost imaju sve veću vrijednost u očima potrošača. Zanimljivo je usporediti ekstrakte i eterična ulja. Ekstrakti *T. heptaphylla* pokazuju ciljanu učinkovitost protiv specifičnog vektora (*A. aegypti*), dok eterična ulja pružaju široki spektar djelovanja uključujući učinke na korove, gljivice i druge vrste insekata. Oba pristupa koriste prirodne biljne sekundarne metabolite, ali im je tehnološki pristup, formulacija i primjena različita. Upravo njihova kombinacija i daljnji razvoj mogu rezultirati sinergijskim rješenjima u integriranom upravljanju štetnicima (IPM) (Gupta i sur., 2023).

### 3. Digitalna transformacija u biotehnologiji i poljoprivredi

Digitalna revolucija omogućila je novi pristup u razvoju, praćenju i valorizaciji biljnih bioaktivnih spojeva (Alahmal i sur., 2023). Napredak u digitalnim tehnologijama, osobito u primjeni umjetne inteligencije i strojnog učenja, značajno je unaprijedio fitokemijska istraživanja. AI se koristi za analizu visokodimenzionalnih 'omics' podataka, omogućujući bržu identifikaciju, klasifikaciju i predikciju bioaktivnosti biljnih spojeva. Sustavi poput CASE (Computer-Aided Structure Elucidation) koriste spektroskopske podatke (NMR, MS, IR) za automatiziranu strukturalnu analizu fitokemikalija (Varghese, 2025). Time digitalni alati postaju akceleratori održive bioinovacije.

#### 3.1. Digitalni alati u praćenju i optimizaciji uzgoja biljaka

Integracija digitalnih tehnologija u poljoprivredu i biomedicinu omogućuje precizno upravljanje proizvodnjom i primjenom fitokemikalija. IoT senzori kontinuirano prate okolišne uvjete poput temperature, vlage i pH tla, stvarajući optimalne uvjete za sintezu ciljanih biljnih metabolita (Alahmad i sur., 2023). Umjetna inteligencija (AI) i strojno učenje (ML) omogućuju analizu velikih skupova omics podataka te predikciju bioaktivnosti spojeva i otkriće novih fitokemikalija (Varghese, 2025). Sustavi za računalno potpomognutu identifikaciju struktura (CASE) koriste spektroskopske tehnike poput NMR-a, MS-a i IR-a kako bi precizno odredili strukturu biljnih spojeva. Istodobno, blockchain tehnologija osigurava transparentnost i sigurnost podataka unutar složenih

lanaca proizvodnje funkcionalne hrane, dodataka prehrani i biljnih preparata (Ahmed i sur., 2024).

### **3.2. Automatizacija i precizna poljoprivreda**

Poljoprivredni sustavi korištenjem tehnologije daljinskog istraživanja, geografskih informacijskih sustava (GIS), izviđanja usjeva tehnologije varijabilne stope (VRT) i globalnog pozicijskog sustava (GPS) čine okosnicu četvrte poljoprivredne tehnološke revolucije "Poljoprivreda 4.0" (Klerkx i sur., 2019). Poljoprivreda 4.0 koristi satelitske podatke, bespilotne letjelice i GIS (geografski informacijski sustav) za mapiranje područja bogatih biljnim resursima. Time se maksimizira proizvodnja, a minimizira trošak, otpad i emisije (Kumar i sur., 2025).

### **3.3. Primjeri dobre prakse**

Digitalne platforme specijalizirane za uzgoj biljaka poput kurkume i mente pokazuju kako se pametno upravljanje može konkretno primijeniti u poljoprivrednoj praksi (Gupta i sur., 2023). Integracija informacija o klimatskim uvjetima, navodnjavanju i fenotipskim karakteristikama omogućuje optimizaciju uzgoja, povećanje prinosa i koncentracije ciljnih fitokemikalija (Majumdar i sur., 2017). Integrirane nekemijske strategije su važne za dugoročnu održivost poljoprivrede. Iako postoje izazovi u komercijalizaciji (trošak, efikasnost), sinergija alelopatije, biotehnologije i robotike nudi stvarne alternative kemijskim herbicidima (Bratovčić, 2025). No, iako ove platforme demonstriraju potencijal digitalne transformacije u održivoj poljoprivredi, ostaje izazov u njihovoj lokalizaciji. Primjena edge computing sustava u kontekstu detekcije biljnih bolesti i štetnika predstavlja još jedan važan iskorak (Ahmed i sur., 2024). Korištenjem podataka o ponašanju biljaka i njihovim fitokemijskim obrambenim odgovorima, ovi sustavi omogućuju ranu dijagnostiku i intervenciju na razini same biljke bez potrebe za centraliziranom obradom podataka (Naghdi, 2020). Time se postiže veća brzina reakcije te manja ovisnost o mrežnoj povezanosti, što je od velike važnosti u udaljenim ili slabije razvijenim područjima. Ipak, pouzdanost tih sustava još uvijek ovisi o sofisticiranosti senzora i algoritama, te njihovoj sposobnosti da precizno interpretiraju kompleksne biokemijske signale biljaka. U području energetske efikasnosti IoT sustava, zanimljiv je algoritam Cluster Head Sleep Schedule (Ahmed i sur., 2024) koji omogućuje smanjenje potrošnje energije u mrežama senzora tako što dinamički kontrolira aktivnost čvorišta. U kontekstu održive digitalne poljoprivrede, ovakva rješenja predstavljaju jedan od koraka prema produženju životnog vijeka senzorske opreme i smanjenju ekološkog otiska tehnologije. Međutim, dugoročni utjecaji takvih algoritama na ukupnu stabilnost i preciznost mreža zahtijevaju daljnju evaluaciju u stvarnim uvjetima.

## **4. Zelena ekonomija i inovacije**

Zelena ekonomija potiče primjenu ekološki prihvatljivih tehnologija, a fitokemikalije biljnog podrijetla sve se više koriste u farmaceutskoj, prehrambenoj i kozmetičkoj industriji uz pomoć digitalnih i biotehnoloških alata (Ogwu, 2025). Njihova integracija u pametne ambalaže doprinosi sigurnosti hrane, smanjenju otpada i produženju trajnosti proizvoda (Konala, 2024). Suvremene metode ekstrakcije poput superkritične CO<sub>2</sub> ekstrakcije, UAE, MAE i EAE zamjenjuju tradicionalne metode jer omogućuju viši prinos i čistoću ekstrakta uz smanjenje ekološkog otiska (Putra i sur., 2023) (Tablica 2). Superkritična CO<sub>2</sub> ekstrakcija koristi netoksičan plin za dobivanje visokokvalitetnih



ekstrakata bez hlapivih otapala, dok enzimski potpomognuta ekstrakcija povećava dostupnost bioaktivnih spojeva bez agresivnih uvjeta (Devappa i sur., 2015; Hamada, 2023). Ekstruzija i hladno prešanje dodatno omogućuju očuvanje nutritivne vrijednosti uz nisku potrošnju energije i jednostavnu industrijsku primjenu.

| Vrsta metode           | Metoda ekstrakcije                                                           | Opis                                                        | Prednosti                                      | Nedostaci                                          |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Tradicionalne          | Maceracija, perkolacija, dekokcija                                           | Koriste se otapala i dugi vremenski periodi                 | Jednostavne, pristupačne                       | Niska učinkovitost, velika potrošnja resursa       |
| Termalne metode        | Soxhlet, destilacija vodom/parom                                             | Česte u eteričnim uljima                                    | Dobre za hlapive spojeve                       | Gubitak toplinski osjetljivih tvari                |
| Zelene/napredne metode | Ultrazvučna, mikrovalna, enzimska ekstrakcija, superkritična CO <sub>2</sub> | Kratko vrijeme, visoka učinkovitost, selektivnost           | Manja potrošnja otapala, održive, kontrolirane | Veći inicijalni trošak, zahtjeva optimizaciju      |
| Digitalizirane metode  | Modeliranje, AI, senzorski nadzor                                            | Praćenje parametara u stvarnom vremenu i predikcija prinosa | Povećava preciznost, smanjuje gubitke          | Potreba za IT znanjem i digitalnom infrastrukturom |

Tabela 2 - Usporedba metoda ekstrakcije

Integracijom ovih tehnologija omogućuje se cirkularno gospodarstvo, gdje otpad postaje resurs a cijeli sustav funkcionira po načelima održivosti (Zhu i sur., 2025). Time se ne samo smanjuje ekološki otisak agro-prehrambene industrije već se istovremeno otvaraju vrata novim poslovnim modelima i inovacijama u okviru digitalne i biotehnoške transformacije ruralnih ekonomija.

4.1. Koncept cirkularne ekonomije

Fitokemikalije omogućuju cirkularnost kroz:

- Valorizaciju agro-industrijskog otpada (npr. koštice maslina, sjemenke rajčice).
- Zelene ekstrakcijske tehnologije (npr. superkritični CO<sub>2</sub>, enzimске metode).

Industrijska primjena ekstrakcije iz nusproizvoda (npr. sjemenke rajčice, grožđa) doprinosi smanjenju otpada i poboljšava kružno gospodarstvo (Tablica 3).

| Izvor otpada     | Fitokemikalije        | Industrijska primjena   |
|------------------|-----------------------|-------------------------|
| Sjemenke rajčice | Likopen, flavonoidi   | Antioksidativni dodaci  |
| Kora nara        | Elaginska kiselina    | Funkcionalna ambalaža   |
| Kore citrusa     | Limonoidi, polifenoli | Nutraceutički pripravci |

Tabela 3 - Mogućnosti iskorištenja otpada od hrane

Lavenburg i sur. (2021) navode kako metode poput SCO2 i enzimске ekstrakcije omogućuju dobivanje funkcionalnih ulja i antioksidansa uz nižu potrošnju energije i bez štetnih otapala. Digitalni alati (LCA, TEA) podržavaju donošenje odluka temeljenih na održivosti (Lavenburg i sur., 2021). Integracija biotehnoških inovacija i digitalnih alata u istraživanje, ekstrakciju i primjenu fitokemikalija ima jednu od uloga u transformaciji tradicionalne industrije prema zelenoj ekonomiji. Održiva proizvodnja fitokemikalija, potpomognuta naprednom analizom, optimizacijom i valorizacijom otpada, omogućava više vrijednosti uz manji okolišni otisak, što je temelj zelene digitalne tranzicije (Tablica 4).

| Grana                  | Dobiti                                                    | Ograničenja                                                       |
|------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Poljoprivreda          | Manja ovisnost o sintetskim pesticidima, ekološki uzgoj   | Niža stabilnost prirodnih spojeva, sporija registracija proizvoda |
| Prehrambena industrija | Prirodni konzervansi i funkcionalna hrana                 | Potreba za standardizacijom i toksikološkim ispitivanjima         |
| Digitalizacija         | Brža analiza i optimizacija proizvodnje                   | Visoki početni troškovi i zahtjevi za IT znanjima                 |
| Zelena ekonomija       | Cirkularnost, dodana vrijednost otpadu, nova radna mjesta | Potreba za interdisciplinarnim pristupom i regulatornim okvirom   |

Tabela 4 - Ograničenja i dobiti primjenom digitalizacije u navedenim granama povezanih s fitokemikalijama



## 5. Izazovi i perspektive

Unatoč rastućem interesu za integraciju fitokemikalija u zelenu i digitalnu ekonomiju, njihova primjena koči se zbog regulatornih, etičkih, tehničkih i strateških izazova. Nedostatak zakonske klasifikacije i regulacije tvrdnji o učincima fitokemikalija narušava vjerodostojnost proizvoda i otvara prostor za zlouporabe. Tehničke prepreke, poput visokih troškova ekstrakcije i ograničenih laboratorijskih kapaciteta, otežavaju širu primjenu, posebno u inovativnim istraživačkim sredinama. Razvoj interoperabilnih baza podataka, primjena AI u personaliziranoj fitonutriciji i korištenje metabolomike i funkcionalne genomike predstavljaju ključne smjerove za održiv napredak (Tablica 5). Uspjeh ovisi o interdisciplinarnoj suradnji i uspostavi standardiziranih metoda i regulative koja omogućuje prijenos znanja iz znanosti u praksu.

| Izazov                                  | Opis                                                                     |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Regulatorna neusklađenost               | Nema konsenzusa o klasifikaciji i doziranju fitokemikalija               |
| Ekonomске prepreke                      | Visoki troškovi naprednih tehnologija i ograničeni poticaji za inovacije |
| Nedostatak otvorenih baza podataka      | Ograničava primjenu AI za predikciju bioaktivnosti                       |
| Potreba za interdisciplinarnim timovima | Sinergija inženjera, biologa, IT stručnjaka i regulatora                 |

Tabela 5 - Izazovi i perspektive uspostave digitalizacije u iskorištenju fitokemikalija

## 6. Zaključak

Fitokemikalije, kao prirodno prisutni bioaktivni spojevi u biljkama, sve više dobivaju na značaju u prehrambenoj industriji zahvaljujući svojim brojnim blagotvornim učincima na zdravlje. U kontekstu globalnih izazova održivosti, učinkovita ekstrakcija i primjena fitokemikalija predstavlja ključnu strategiju za valorizaciju poljoprivrednih i industrijskih nusproizvoda čime se aktivno doprinosi razvoju kružne i zelene ekonomije. Uvođenje digitalizacije, uključujući primjenu senzora, umjetne inteligencije i analize velikih podataka, otvara nove mogućnosti za optimizaciju korištenja prirodnih resursa, praćenje uvjeta rasta biljaka i precizno određivanje optimalnih faza za ekstrakciju bioaktivnih spojeva. Ova tehnološka rješenja ne samo da povećavaju kvalitetu i prinos fitokemikalija, već i smanjuju potrebu za sintetskim dodacima i pesticidima, usklađujući proizvodne procese s principima zelene kemije i održivog razvoja. Dodatno, valorizacija nusproizvoda prehrambene industrije kroz ekstrakciju fitokemikalija omogućuje smanjenje otpada i podržava prijelaz prema održivijim modelima proizvodnje. Sinergija između ciljeva održivosti, digitalnih tehnologija i bioloških resursa oblikuje novu paradigmu prehrambene industrije: onu koja promiče zdravije proizvode, smanjuje ekološki otisak te jača otpornost prehrambenih sustava u uvjetima globalnih promjena.

# POTENTIAL OF PHYTOCHEMICALS IN THE DIGITAL TRANSFORMATION OF THE GREEN ECONOMY

**Summary:** Alterations in environmental conditions significantly contribute to the increased incidence and spread of plant diseases in agricultural production, primarily due to abiotic stress factors and biotic agents such as pests, bacteria, fungi, and viruses. These impacts lead to a decrease in the quality of plant raw materials and their nutritionally important compounds. The processing of such raw materials also affects the shelf life and quality of food products, which can influence human health. For this reason, in recent years, the food industry has been striving to reduce waste and make use of all by-products across various fields, including pharmacy, agronomy, nutrition, and medicine. Plant raw materials, as well as their by-products, contain a rich source of various nutrients, minerals, vitamins, and phytochemicals (bioactive substances). Phytochemicals are complex, specialized plant metabolites, the most important of which include polyphenolic compounds, alkaloids, flavonoids, flavonols, quinines, polypeptides, terpenes, and others. These chemical compounds exhibit significant therapeutic value, such as antioxidant and antiseptic activity, which is why they are used in the treatment and prevention of respiratory, gastrointestinal, cardiovascular, inflammatory, and diabetic diseases, as well as in reducing the risk of cancer and neurodegenerative diseases. Phytochemicals isolated from various plant species demonstrate exceptional capacity to inhibit free radicals and thus suppress oxidation processes that cause permanent cell damage. However, one of their most well-known effects is antimicrobial activity. For this reason, phytochemicals are added to food products to slow down and prevent the growth of numerous microorganisms and to extend the shelf life of these products. Digitalization plays a key role in the development of more efficient and sustainable methods for extracting phytochemicals from plant raw materials, with the aim of obtaining natural compounds known for their many beneficial properties. By using advanced technologies such as sensors, artificial intelligence, and big data analysis, it is possible to monitor and control growing conditions in detail and precisely identify the optimal phases for phytochemical (bioactive compound) extraction. At the same time, the need for chemical pesticides in crop protection is reduced through the use of biopesticides, the development of innovative products in food (natural packaging, natural preservatives), and biopreparations in cosmetics and medicine. Digital solutions enable more efficient use of natural resources, waste reduction, and the development of innovative products across various industrial sectors. In this way, a sustainable model of natural resource management, environmental protection, and the development of a new generation of functional ingredients in human nutrition is ensured, all in line with the principles of the green economy.

**Keywords:** phytochemicals, sustainability, digitalization, food industry, food by-products, green economy

## Literatura

1. Abiri, R., Rizan, N., Balasundram, S. K., Shahbazi, A. B., Abdul-Hamid, H.: Application of digital technologies for ensuring agricultural productivity. *Heliyon*, 2023, 9(12).
2. Adeyemi, M. H. The Potential of Secondary Metabolites in Plant Material as Deterents Against Insect Pests: A Review. *Afr J Pure Appl Chem*. 2010, 4, 243–246.

3. Ahmed, A.: Optimized Data Fusion With Scheduled Rest Periods for Enhanced Smart Agriculture via Blockchain Integration, IEEE Access, PP, 2024, 1–1. 10.1109/ACCESS.2024.3357538.
4. Akpanyung, E. O.; Udoh, A. P.; Akpan, E. J. Chemical Composition of the Edible Leaves of *Pterocarpus Mildbraedii*. *Plant. Foods Hum Nutr* 1995, 48(3), 209–215. DOI: 10.1007/BF01088442.
5. Alahmad, T., Neményi, M., Nyéki, A.: Applying IoT Sensors and Big Data to Improve Precision Crop Production: A Review. *Agronomy* 2023, 13, 2603. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102603>
6. Allali, A.; Rezouki, S.; Lougrainzi, H.; Touati, N.; Eloutassi, N.; Fadli, M. Agricultural Traditional Practices and Risks of Using Insecticides During Seed Storage in Morocco. *Plant Cell Biotechnol. Mol Biol* 2020, 21, 29–37
7. Bratovčić, A.: Exploring Non-Chemical Methods for Sustainable Weed Management, *International Journal of Agriculture and Environmental Research*, 2025, 11, 129–153. 10.51193/IJAER.2025.11109.
8. Baska, A., Kamil L., Przemysław G.: Berberine in the treatment of diabetes mellitus: a review. *Endocrine, Metabolic & Immune Disorders-Drug Targets (Formerly Current Drug Targets-Immune, Endocrine & Metabolic Disorders)*, 2021, 1379–1386.
9. Bereswill, S., Muñoz, M., Fischer, A., Plickert, R., Haag, L. M., Otto, B.: Anti-inflammatory effects of resveratrol, curcumin and simvastatin in acute small intestinal inflammation. *PloS one*, 2010, e15099.
10. Berrougui, H.; Isabelle, M.; Cherki, M.; Khalil, A. Marrubium Vulgare Extract Inhibits Human-LDL Oxidation and Enhances HDL-Mediated Cholesterol Efflux in THP-1 Macrophage. *Life Sci.* 2007, 80(2), 105–112. DOI: 10.1016/j.lfs.2006.08.040.
11. Bhandari, G.; Zomer, P.; Atreya, K.; Mol, H. G.; Yang, X.; Geissen, V. Pesticide Residues in Nepalese Vegetables and Potential Health Risks. *Environ Res* 2019, 172, 511–521. DOI: 10.1016/j.envres.2019.03.002.
12. Bouyahya, A.; Abrini, J.; Bakri, Y.; Dakka, N.; Dakka, N.; Bakri, Y. Screening Phytochimique et Évaluation de l'activité Antioxydante et Antibactérienne Des Extraits d'*Origanum Compactum*. *Phytothérapie* 2017, 2017, 15. DOI: 10.1007/s10298-017-1101-8.
13. Chauhan, R. : Light as a Key Abiotic Driver in Enhancing Germination and Phytochemicals of Chickpea Cultivars, *Environment and Ecology*, 43, 2025, 169–174. 10.60151/envec/GUHD9605.
14. Chiocchio, I.: Plant Secondary Metabolites: An Opportunity for Circular Economy, *Molecules*, 2021, 26(2). <https://doi.org/10.3390/molecules26020495>
15. Devappa, R. K.: Forest Biorefinery: Potential of Poplar Phytochemicals as Value-Added Co-Products, *Biotechnology Advances*, 2015, 33(6 Pt 1), 681–716.
16. Deepika, R. K. S., Aparna P., Debia A. Y., Anjali, A. B., Vaishnav, R., Kumar, A.: Green Synthesis of Silver Nanoparticles using Marigold Flowers Extract for Ecofriendly Management of Root Knot Nematode, *Plant Nano Biology*, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.plana.2025.100150>
17. El Miziani, I.; Lhaloui, S.; El Bouhssini, M.; Dahan, R. Diagnosis of Qualitative and Quantitative Damage Caused by Bruchids on Legumes in Morocco and Their Control Using Bio Insecticides. *Arab J Pl Prot* 2017, 35.
18. Fenibo, E.: Pesticides in Sustainable Agriculture: A Critical Sustainable Development Driver Governed by Green Chemistry Principles, *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2021, 5. 10.3389/fsufs.2021.619058.
19. González-Coloma, A.; Martín-Benito, D.; Mohamed, N.; García-Vallejo, M. C.; Soria, A. C. Antifeedant Effects and Chemical Composition of Essential Oils from Different Populations of *Lavandula Luisieri* L. *Biochem Syst Ecol* 2006, 34(8), 609–616. DOI: 10.1016/j.bse.2006.02.006.
20. Gouda, M.: Recent Innovations of Ultrasound Green Technology in Herbal Phytochemistry: A Review, *Ultrasonics Sonochemistry*, 2021, 73.
21. Gupta, I, Singh, R., Muthusamy, S., Sharma, M., Grewal, K., Harminder P. S. Daizy R. B.: Plant Essential Oils as Biopesticides: Applications, Mechanisms, Innovations, and Constraints, *Plants*, 2023, 12, 2916. <https://doi.org/10.3390/plants12162916>
22. Hamada S. E.: A Comprehensive Review on the Biological, Agricultural and Pharmaceutical Properties of Secondary Metabolites Based-Plant Origin, *International Journal of Molecular Sciences*, 24(4), 2023. <https://doi.org/10.3390/ijms24043266>
23. Hossain, S.: Dietary Phytochemicals in Health and Disease: Mechanisms, Clinical Evidence, and Applications - A Comprehensive Review, *Food Science & Nutrition*, 2025, 13(3). doi: 10.1002/fsn3.70101
24. Islam, M. S.; Hasan, M. M.; Xiong, W.; Zhang, S. C.; Lei, C. L. Fumigant and Repellent Activities of Essential Oil from *Coriandrum Sativum* (L.) (apiaceae) Against Red Flour Beetle *Tribolium Castaneum* (Herbst) (coleoptera: Tenebrionidae). *J Pest Sci.* 2009, 82(2), 171–177. DOI: 10.1007/s10340-008-0236-7.
25. Jaqueline C.M. Borges , Khalid Haddi , Eugenio E. Oliveira , Bruno Silva Andrade , Vitor L. Nascimento , Tarcísio Silva Melo , Julcemar Didonet , Jose C.T. Carvalho , Alex S. Cangussu , Ilamar M. Soares , Sergio D. Ascencio , Nádia R.B. Raposog, Raimundo W.S.: Aguiar, Mosquitocidal and repellent potential of formulations containing wood residue extracts of a Neotropical plant, *Tabebuia heptaphylla*, *Industrial Crops & Products*, 129, 2019, 424–433
26. Kim, J.H.: Application of Nanotechnology and Phytochemicals in Anticancer Therapy, *Pharmaceutics*, 2024, 6. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics16091169>
27. Kumar, J.K., Azmal, M., Shah Newaz, ANM, Haque, B., Talukder, O. F. : Phytochemical-mediated modulation of signaling pathways: A promising avenue for drug discovery, *Advances in Redox Research*, 2024, 13. 100113
28. Konala A, Plant Phytochemicals as Bio-Responsive Compounds in Smart Packaging for Food Spoilage Detection: A Comprehensive Review, *Sustainable Food Technology*, 2024, 2.

29. Kumar, A.: Major Phytochemicals: Recent Advances in Health Benefits and Extraction Method, *Molecules*, 2023, 28(2), doi: 10.3390/molecules28020887
30. Kumar, V.: Advancing Medicinal Plant Agriculture: Integrating Technology and Precision Agriculture for Sustainability, *PeerJ*, 2025, 13. <https://doi.org/10.7717/peerj.19058>
31. Kumari, D.; John, S. Health Risk Assessment of Pesticide Residues in Fruits and Vegetables from Farms and Markets of Western Indian Himalayan Region. *Chemosphere*. 2019, 224, 162–167. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.02.091
32. Klerkx, L.: A Review of Social Science on Digital Agriculture, Smart Farming and Agriculture 4.0: New Contributions and a Future Research Agenda, *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 90–91, 2019, 90–91. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315>.
33. Lavenburg, V.M.: Extraction Methods of Oils and Phytochemicals from Seeds and Their Environmental and Economic Impacts, *Processes*, 2021, 9(10). <https://doi.org/10.3390/pr9101839>
34. Leitzmann, C.: Characteristics and Health Benefits of Phytochemicals, *Forschende Komplementärmedizin*, 2016, 23(2), 69–74. doi: 10.1159/000444063
35. Majumdar, J.: Analysis of Agriculture Data Using Data Mining Techniques: Application of Big Data, *Journal of Big Data*, 2017, 4. <https://doi.org/10.1186/s40537-017-0077-4>
36. McClements, D. J.: Utilization of Nanotechnology to Improve the Application and Bioavailability of Phytochemicals Derived from Waste Streams, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2022, 70(23) 6884–6900. doi: 10.1021/acs.jafc.1c03020.
37. Mssillou, I.; Agour, A.; Allali, A.; Saghrouchni, H.; Bourhia, M.; El Moussaoui, A.; Salamatullah, A. M.; Alzahrani, A.; Aboul-Soud, M. A. M.; Giesy, J. P., et al. Antioxidant, Antimicrobial, and Insecticidal Properties of a Chemically Characterized Essential Oil from the Leaves of *Dittrichia Viscosa* L. *Molecules* 2022, 27(7), 2282. DOI: 10.3390/molecules27072282.
38. Mssillou, I.; Saghrouchni, H.; Saber, M.; Zannou, A. J.; Balahbib, A.; Bouyahya, A.; Allali, A.; Lyoussi, B.; Derwich, E. Efficacy and Role of Essential Oils as Bio-Insecticide Against the Pulse Beetle *Callosobruchus Maculatus* (F.) in Post-Harvest Crops. *Ind Crops Prod* 2022, 189, 115786. DOI: 10.1016/j.indcrop.2022.115786.
39. Mssillou, I.; Agour, A.; Badiaa, L.; Derwich, E. Chemical Constituents, in vitro Antibacterial Properties and Antioxidant Activity of Essential Oils from *Marrubium Vulgare* L. Leaves. *Trop J Nat Prod. Res* 2021, 5, 661–667. DOI: 10.26538/tjnp/v5i4.12.
40. Muscolo, A.: Oxidative Stress: The Role of Antioxidant Phytochemicals in the Prevention and Treatment of Diseases, *International Journal of Molecular Sciences*, 2024, 25(6). <https://doi.org/10.3390/ijms25063264>
41. Naghdi T., Phytochemicals Toward Green (Bio)Sensing, *ACS Sensors*, 2020, 5(12). doi: 10.1021/acssensors.0c02101
42. Ogwu, M.: Ecological and Environmental Determinants of Phytochemical Variability in Forest Trees, *Phytochemistry Reviews*, 2025, 1–29. 10.1007/s11101-025-10066-0.
43. Oleszek, M.: Phytochemicals Derived from Agricultural Residues and Their Valuable Properties and Applications, *Molecules*, 2023, 28(1). <https://doi.org/10.3390/molecules28010342>
44. Putra, N.R.; Abdul Aziz, A.H.; Rizkiyah, D.N.; Che Yunus, M.A.; Alwi, R.S.; Qomariyah, L. Green Extraction of Valuable Compounds from Rubber Seed Trees: A Path to Sustainability. *Appl. Sci.* 2023, 13, 13102. <https://doi.org/10.3390/app132413102>
45. Rizvi, A.: Bioprospecting Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Enhancing the Biological Properties and Phytochemical Composition of Medicinally Important Crops, *Molecules*, 2022, 27(4). <https://doi.org/10.3390/molecules27041407>
46. Tedeschi L.O., Nutritional Aspects of Ecologically Relevant Phytochemicals in Ruminant Production, *Frontiers in Veterinary Science*, 2021, 8. doi: 10.3389/fvets.2021.628445
47. Tang, G. W.; Yang, C. J.; Xie, L. D. Extraction of *Trigonella Foenum-Graecum* L. by Supercritical Fluid CO<sub>2</sub> and Its Contact Toxicity to *Rhyzopertha Dominica* (Fabricius)(coleoptera: Bostrichidae). *J Pest Sci.* 2007, 80(3), 151–157. DOI: 10.1007/s10340-007-0167-8.
48. Teli, D.: Nature Meets Technology: Harnessing Nanotechnology to Unleash the Power of Phytochemicals, *Clinical Traditional Medicine and Pharmacology*, 2024, 5. 10.1016/j.ctmp.2024.200139.
49. Varghese, R.: Artificial Intelligence Driven Approaches in Phytochemical Research: Trends and Prospects, *Phytochemistry Reviews*, 2025. <https://doi.org/10.1007/s11101-025-10096-8>
50. Vidhi, S.: Innovative Approaches in Phytochemical Extraction: A Comprehensive Review, *PEXACY International Journal of Pharmaceutical Science*, 2023, 2(12), 1–18. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10241470>
51. Osinga, S. A., Paudel, D., Spiros A., Mouzakitis, I. N., Big data in agriculture: Between opportunity and solution, *Agricultural Systems*, 2022, 195 103298. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103298>
52. Walker, A.M.: What Is the Relation between Circular Economy and Sustainability? Answers from Frontrunner Companies Engaged with Circular Economy Practices, *Circular Economy and Sustainability*, 2022, 2, 731–758. <https://doi.org/10.1007/s43615-021-00064-7>
53. War, A. R.; Paulraj, M. G.; Ahmad, T.; Buhroo, A. A.; Hussain, B.; Ignacimuthu, S.; Sharma, H. C. Mechanisms of Plant Defense Against Insect Herbivores. *Plant. Signal. Behav* 2012, 7(10), 1306–1320. DOI: 10.4161/psb.21663.
54. Zhu, S., Zhang, S., Zhanye Xv, Zhu, S.: Phytochemical Extraction to Improve the Economic Benefits of Biomass Processing, *BioResources*, 2025, 20(2), 2480–2482. DOI:10.15376/biores.20.2.2480-2482

# **INTEGRACIJA ESG PRINCIPA U REGULATORNI OKVIR ZA UPRAVLJANJE KLIMATSKIM I OKOLIŠNIM RIZICIMA U BOSNI I HERCEGOVINI**

**Seid Konjhodžić, MA**

Ekonomski fakultet, Univerzitet "Džemal Bijedić" u Mostaru

**prof. dr. Armina Hubana**

Ekonomski fakultet, Univerzitet "Džemal Bijedić" u Mostaru

**Sažetak:** Klimatske promjene i okolišni rizici postaju sve veći izazov za globalne finansijske sisteme, što čini integraciju principa okoliša, društva i upravljanja (ESG) u regulatorne okvire od ključne važnosti. Bosna i Hercegovina, kao potpisnica međunarodnih klimatskih sporazuma, prepoznaje važnost uloge finansijskog sektora u podršci tranziciji ka održivoj ekonomiji. U tom kontekstu, izazov predstavlja usklađivanje domaćeg regulatornog okvira s međunarodnim standardima. Agencija za bankarstvo Federacije BiH je razvila regulatorni okvir za upravljanje ESG rizicima, usklađujući ga sa smjernicama EU, uključujući EU taksonomiju i CRR/CRD regulative, koje postavljaju temelje za održivo poslovanje i odgovorno upravljanje rizicima. Iako su odgovorni subjekti sve više svjesni klimatskih i okolišnih rizika, napredak u njihovom upravljanju još uvijek je spor. Ključni izazovi uključuju nedostatak adekvatnih alata, kapaciteta i svijesti. Regulatorni okvir u BiH oblikuje se prema smjernicama Evropskog bankarskog autoriteta (EBA). Također, EU strategija održivog finansiranja podstiče integraciju ESG principa u poslovne procese s ciljem postizanja viših standarda održivosti. Digitalizacija se profilira kao ključni alat za efikasnije upravljanje klimatskim i okolišnim rizicima. Inicijative poput BIS-ovog GAIA projekta pokazuju potencijal naprednih tehnologija kao što su umjetna inteligencija (AI) i blockchain, koje omogućavaju automatizirano izdvajanje klimatskih indikatora, praćenje zelenih finansijskih instrumenata i povećanje transparentnosti u izvještavanju. Ove tehnologije omogućavaju preciznu analizu podataka i bolju prognozu potencijalnih rizika, što doprinosi proaktivnom upravljanju rizicima i smanjenju negativnih učinaka. U BiH primjena ESG standarda i digitalnih alata, kao što su virtualne ekspoziture i automatizacija procesnih aktivnosti, omogućava bolje praćenje, izvještavanje i smanjenje rizika. Iako postoje izazovi, poput nedostatka tehničkih kapaciteta i specijalizirane edukacije, proaktivna integracija ESG principa doprinosi smanjenju nefinansijskih rizika i unapređenju otpornosti finansijskog sektora. Brza digitalizacija i upotreba naprednih analitičkih alata otvaraju nove mogućnosti za upravljanje klimatskim i okolišnim rizicima, čime se povećava efikasnost i transparentnost, kao i povjerenje tržišta u održive finansijske proizvode.

**Ključne riječi:** ESG principi, klimatski i okolišni rizici, regulatorni okvir, održivo finansiranje, digitalizacija, GAIA projekt, umjetna inteligencija (AI), blockchain, klimatski indikatori, zelena finansijska sredstva, praćenje klimatskih rizika, ESG standardi, automatizacija procesnih aktivnosti, tehnički kapaciteti, proaktivna integracija ESG principa, otpornost finansijskog sektora, održivi finansijski proizvodi

## **1. Uvod**

Klimatske promjene i degradacija okoliša postaju sve značajniji pokretači finansijskih rizika, globalno i lokalno. Ekstremni vremenski događaji i postepene klimatske

promjene mogu uzrokovati direktnu materijalnu štetu i prekide poslovanja, što utječe na realnu ekonomiju i stabilnost finansijskog sistema. Istovremeno, prelazak na niskougljični razvoj nosi prelazne rizike – npr. nove propise, tehnologije ili promjene preferencija – koji mogu umanjiti vrijednost imovine i profitabilnost firmi zavisnih od fosilnih goriva. Posljedično, klimatski i okolišni rizici utječu na tradicionalne kategorije bankarskih rizika (kreditni, operativni, tržišni, likvidnosni), te su prepoznati kao dugoročna prijetnja finansijskoj stabilnosti. U tom kontekstu javljaju se ESG principi (Environment, Social, Governance) koji zahtijevaju da finansijske institucije integri- raju ekološke, društvene i upravljačke faktore u svoje poslovne strategije i upravljanje rizicima. Posebno, okolišni aspekt ESG-a naglašava upravljanje klimatskim rizicima i održivo finansiranje. Važnost ESG principa potvrđuje sve veća pažnja regulatora: npr. Evropska centralna banka od 2020. uključuje klimatske rizike među ključne pokretače rizika za banke eurozone. Rizici povezani s klimom i okolišem postali su relevantni i za banke u BiH, koje ih moraju uzeti u obzir u procesu upravljanja rizicima. Integracijom ovih principa banke mogu proaktivno jačati svoju otpornost na nove vrste rizika i istovremeno doprinijeti održivoj tranziciji privrede. Globalni okvir postavio je temelje za djelovanje: usvajanjem Pariškog sporazuma 2015. definisani su ciljevi ograničavanja zagrijavanja, a Agenda Ujedinjenih naroda do 2030. promoviše održivi razvoj. Evropska unija je 2019. pokrenula Zeleni plan s ciljem klimatske neutralnosti do 2050. i Akcioni plan za finansiranje održivog rasta koji dodjeljuje finansijskom sektoru ključnu ulogu. U narednim poglavljima razmatra se kako se ovi globalni i evropski trendovi reflektuju na lokalni regulatorni okvir BiH i praksu banaka, te koliki je značaj integracije ESG principa za finansijski sistem zemlje.

## 2. Regulatorni okvir u BiH

Bosna i Hercegovina se pridružila globalnim inicijativama ublažavanja klimatskih rizika. Potpisnica je Okvirne konvencije UN-a o klimatskim promjenama (UNFCCC) od 2000. i Pariškog sporazuma od 2015. (ratifikovan 2017), čime se obavezala na ograničavanje emisija stakleničkih gasova. BiH je definisala svoj Nacionalno utvrđeni doprinos (NDC) s ciljem smanjenja emisija za 33,2% do 2030. i 66% do 2050. u odnosu na nivo iz 1990. godine. Također, u novembru 2020. godine BiH je ratifikovala Sofijsku deklaraciju o Zelenoj agendi za Zapadni Balkan kojom se zajedno sa susjednim zemljama obavezala na ambiciozne ciljeve u pet stubova: (1) klima, energija i mobilnost, (2) cirkularna ekonomija, (3) smanjenje zagađenja, (4) održiva poljoprivreda i hrana, (5) biodiverzitet. Ove inicijative unijele su klimatske ciljeve u strateški okvir zemlje i postavile osnov za usklađivanje s EU politikama poput Evropskog zelenog dogovora (EGD). Kao dio procesa evropskih integracija (zahtjev za članstvo podnesen 2016. godine), BiH nastoji uskladiti nacionalne propise s pravnom stečevinom EU u oblasti zaštite okoline i finansijske regulative. Iako državna taksonomija održivih aktivnosti još nije uspostavljena, EU taksonomija služi kao referenca za klasifikaciju “zelenih” ulaganja. Prema Uredbi EU o taksonomiji, banke u članicama EU od 2022. moraju objavljivati u kolikom su procentu njihove izloženosti usklađene s taksonomijskim kriterijima, uključujući i koeficijent zelene aktive u sklopu objava po Stubu 3 (Pillar 3). Očekuje se da će BiH s vremenom preuzeti slične standarde objavljivanja u skladu s principom ekvivalentnosti regulatornog okvira s EU. Paralelno s time, evropski regulatorni okvir za banke evoluirao kako bi integrisao klimatske rizike. Još 2019. godine Evropski bankarski autoritet (EBA) objavio je Akcioni plan za održivo finansiranje započevši integraciju ESG faktora u nadzor. EU



Uredba i Direktiva o kapitalnim zahtjevima (CRR II/CRD V) unijele su prve obaveze – npr. član 449a CRR zahtijeva od velikih banaka da javno objavljuju podatke o svojim ESG rizicima, uključujući fizičke i tranzicijske rizike. Nedavno usaglašeni paket CRR III/CRD VI ide korak dalje – uvode se harmonizirane definicije ESG, okolišnog i tranzicionog rizika, zahtijeva izrada tranzicijskih planova, proširuju zahtjevi objavljivanja i prilagođava SREP proces (nadzorna ocjena) kako bi uključio procjenu ESG rizika. Osim toga, vodeće centralne banke i nadzorni organi izdali su smjernice – Evropska centralna banka objavila je Vodič o klimatskim i okolišnim rizicima (2020), a Bazelski komitet za bankarsku superviziju principe za efektivno upravljanje klimatskim rizicima (2022) – koji zajedno postavljaju očekivanja i najbolje prakse i za zemlje van EU.

U posljednjim godinama entitetske agencije za bankarstvo preduzimaju korake ka integraciji klimatskih i ESG rizika u nadzor. Agencija za bankarstvo FBiH je krajem 2022. usvojila Strategiju upravljanja rizicima povezanim s klimom i okolišem u bankarskom sektoru (2023–2025) koja definiše plan aktivnosti Agencije u ovoj oblasti. Strategija se zasniva na 10 principa, među kojima su: povećanje internog razumijevanja klimatskih rizika, praćenje evropskih i međunarodnih standarda, postepena i iterativna integracija ovih rizika u regulativu, saradnja s drugim institucijama. U skladu sa strategijskim opredjeljenjima, regulator je definisao četiri ključna stuba djelovanja u oblasti klimatskih i okolišnih rizika. Ovi stubovi obuhvataju: regulatorne aktivnosti usmjerene na prilagođavanje relevantnog normativnog okvira; analitičke aktivnosti koje uključuju procjenu izloženosti banaka, scenarije i stres testiranja; nadzorne aktivnosti kroz prilagođavanje metodologije nadzora i provjeru usklađenosti; mjere edukacije i saradnje s ciljem podizanja kapaciteta i jačanja međuinstitucionalne koordinacije. Ovakav pristup omogućava postepenu i strukturiranu integraciju ESG faktora u regulatorni i nadzorni okvir.

Prvi konkretan regulatorni korak u FBiH bilo je donošenje Smjernica za upravljanje klimatskim i okolišnim rizicima u bankama, koje je Agencija za bankarstvo FBiH usvojila u junu 2023. godine. U cilju postepenog uključivanja klimatskih i okolišnih rizika u upravljanje rizicima u bankarskom sektoru, regulator je usvojio smjernice koje postavljaju osnovni okvir i očekivanja u vezi s integracijom ovih rizika u poslovnu strategiju, sistem internog upravljanja i ukupni okvir upravljanja rizicima banaka. Smjernicama se naglašava potreba za uključivanjem klimatskih rizika u sve tri linije odbrane, uz jasno definisane uloge upravljačkih i kontrolnih funkcija. Banke su pozvane da u skladu s principima održivog poslovanja revidiraju svoje strateške ciljeve, apetit za rizik i interne procese, kao i da osiguraju transparentno objavljivanje podataka o izloženosti klimatskim rizicima. Ovakav regulatorni pristup, usklađen s evropskim standardima, ima za cilj jačanje otpornosti sektora i podršku širim naporima BiH u oblasti klimatske politike.

U decembru 2022. godine završen je državni Nacionalni plan adaptacije (NAP) dostavljen UNFCCC, koji analizira projekcije klime i predlaže mjere prilagodbe za najosjetljivije sektore (poljoprivreda, vodni resursi, šumarstvo, biodiverzitet, turizam). Ovaj dokument, iako van finansijskog sektora, indikativno pokazuje da se klimatski rizici inkorporiraju u javne politike, što će posredno utjecati i na zahtjeve prema bankama (npr. kroz očekivane projekte prilagodbe koje treba finansirati ili kroz strožu regulativu zaštite okoliša). Sve navedeno ukazuje da se regulatorni okvir BiH ubrzano razvija u pravcu integracije ESG principa pod snažnim utjecajem EU regulativa i međunarodnih

inicijativa. Agencija za bankarstvo FBiH svojim aktivnostima stvara uslove da banke prepoznaju i upravljaju klimatskim i okolišnim rizicima, čime ispunjavaju ne samo lokalne zakonske obaveze već i približavaju domaći finansijski sektor evropskim standardima.

### **3. Najbolje prakse ESG i zelenog finansiranja u bankarskom sektoru BiH**

ESG (okolišni, društveni i upravljački) principi postaju sve značajniji u finansijskom sektoru, iako je svijest o njima u Bosni i Hercegovini tek u razvoju. Uprkos tome, pojedine finansijske institucije u BiH već demonstriraju dobre prakse u implementaciji održivog poslovanja i zelenih finansijskih proizvoda. U nastavku su predstavljeni ključni aspekti takvih inicijativa – od zelenih kreditnih linija za energetske projekte, preko internih politika za ekološku održivost, do digitalnih rješenja i međunarodne saradnje.

#### **3.1. Zelene kreditne linije i projekti energetske efikasnosti**

Jedan od najvažnijih vidova ESG praksi u bankarstvu BiH su namjenske “zelene” kreditne linije za finansiranje energetske efikasnosti i obnovljivih izvora energije. Ove kreditne linije često nastaju u saradnji domaćih finansijskih institucija s međunarodnim finansijskim organizacijama i donatorima. Naprimjer, pokrenuta je kreditna linija za investicije u energetske efikasnosti domaćinstava u saradnji s Evropskom bankom za obnovu i razvoj (EBRD) i donatorima, putem koje klijenti mogu finansirati izolaciju objekata, novu stolariju, toplotne pumpe i slične tehnologije za uštedu energije. Osim ušteda na računima i veće udobnosti, ova linija uključuje podsticajne grantove Evropske unije do 20% iznosa kredita, čime se efektivno smanjuje teret zaduživanja. Kreditna linija je dio šireg regionalnog programa GEFF (Green Economy Financing Facility) za zapadni Balkan koji sufinansiraju EU, Austrija i drugi donatori.

Zahvaljujući ovakvim programima, brojni građani već ostvaruju koristi - u posljednje četiri godine više od 3.700 domaćinstava u BiH iskoristilo je GEFF kredite (uz preko 11.000 u cijeloj regiji) za poboljšanje energetske efikasnosti svojih domova. Pored stanovništva, mala i srednja preduzeća (MSP) također imaju pristup zelenim finansijama. Kroz specijalizovane kreditne linije u saradnji s međunarodnim fondovima, MSP-ovima se nude povoljni krediti za ulaganja u energetske efikasnost, obnovljive izvore i efikasno korištenje resursa. Primjer takve prakse je kreditna linija osigurana uz podršku međunarodnog zelenog fonda namijenjena preduzećima koja žele provesti mjere energetske efikasnosti ili male projekte obnovljive energije. Ovi specijalizovani “zeleni krediti” dizajnirani su tako da podrže projekte koji doprinose zaštiti okoliša, smanjenju emisija CO<sub>2</sub> i većoj upotrebi obnovljivih izvora energije, čime banke podstiču održivi razvoj privrede. Važno je napomenuti da su takve linije često praćene tehničkom pomoći i grantovima, što dodatno motiviše ulaganja u zelene tehnologije.

#### **3.2. Interne politike ekološke odgovornosti banaka**

Banke u BiH, prateći ESG principe, uvode i internu politiku ekološki odgovornog poslovanja kako bi smanjile svoj direktni utjecaj na okoliš. U praksi, ovo podrazumijeva niz mjera unutar njihovih poslovnih operacija:

- Dekarbonizacija voznog parka: Neke banke su krenule u elektrifikaciju službenih vozila. Primjer je banka čija četvrtina ukupne automobilske flote već čine električni ili hibridni automobili uz plan daljeg povećanja tog udjela. Paralelno s tim, uspostavljena je i mreža od nekoliko (npr. 9) stanica za punjenje električnih vozila na lokacijama širom



BiH, koje su dostupne i klijentima, čime se podstiče šira upotreba vozila na električni pogon. Ovakvi potezi ne samo da smanjuju direktne emisije banke, već i promovišu elektromobilnost u zajednici.

- Energetska efikasnost i obnovljivi izvori: Brojne poslovнице banaka postaju energetske efikasnije kroz modernizaciju infrastrukture. To uključuje zamjenu klasične rasvjete sa LED sijalicama, poboljšanje izolacije objekata, te modernizaciju sistema grijanja i hlađenja (uključujući ugradnju efikasnih toplotnih pumpi) kako bi se smanjila potrošnja energije. Također, pojedine banke investiraju u obnovljive izvore energije – npr. instalacijom fotonaponskih solarnih panela na krovove svojih filijala – čime direktno proizvode čistu energiju za vlastite potrebe. Neke poslovнице se snabdijevaju isključivo “zelenom” električnom energijom putem ugovora s elektroprivredama, povećavajući udio obnovljive energije u ukupnoj potrošnji. Ove mjere doprinose smanjenju karbonskog otiska finansijskih institucija i demonstriraju njihovu posvećenost održivosti.

- Upravljanje otpadom i resursima: U okviru internih politika uvode se procedure za smanjenje otpada i reciklažu. Banke sve češće implementiraju sisteme razdvajanja otpada u kancelarijama (posebne korpe za reciklažu papira, plastike, itd. na svakom spratu) i sarađuju s ovlaštenim firmama radi pravilnog zbrinjavanja otpada. Time se ne smanjuje samo količina otpada koja završava na deponijama, nego se i među zaposlenima podiže svijest o važnosti svakodnevnih ekoloških akcija. Neke institucije idu i korak dalje pa koriste reciklirane materijale u svojim potrošnim dobrima – npr. prelaze na korištenje recikliranog papira u štampačima ili nabavljaju službene materijale od održivih izvora. Sve ove inicijative pokazuju da ESG za njih nije samo dio strategije, već svakodnevna odgovornost ka održivoj budućnosti.

Interne ekološke politike bankarskih institucija u BiH sve više obuhvataju niz aktivnosti usmjerenih ka održivom poslovanju – od podrške projektima energetske efikasnosti i obnovljivih izvora energije, preko mjera za smanjenje emisija i otpada, do inicijativa za podizanje svijesti i edukaciju zaposlenih. Ove aktivnosti predstavljaju korak ka integraciji principa društvene odgovornosti u svakodnevno poslovanje banaka.

### 3.3. Digitalna rješenja koja doprinose ESG ciljevima

Digitalizacija bankarskih usluga postala je ključni faktor u podršci održivom razvoju i integraciji ESG principa (okolišnih, društvenih i upravljačkih faktora) u poslovanje banaka. Ova tehnološka transformacija ne samo da unapređuje korisničko iskustvo, već ima i značajan pozitivan ekološki utjecaj, jer omogućava smanjenje upotrebe papira, energije i drugih fizičkih resursa te doprinosi smanjenju negativnog utjecaja na okoliš.

#### 1. Smanjenje upotrebe papira i emisija kroz digitalno bankarstvo

Jedan od najvažnijih aspekata digitalizacije u bankarstvu je prelazak na internet i mobilno bankarstvo, što direktno smanjuje potrebu za fizičkom papirologijom. Svaka transakcija obavljena putem online platformi, bilo da je riječ o izvodima, računima ili uplatnicama, zamjenjuje tradicionalni papirni oblik s digitalnim zapisima. Ovaj pomak ka “bankarstvu bez papira” ne samo da štedi resurse i smanjuje količinu otpada, već također doprinosi očuvanju šuma, što je od presudne važnosti za zaštitu okoliša.

Pored toga, digitalno bankarstvo omogućava klijentima da obavljaju finansijske transakcije bez potrebe za fizičkim odlaskom u poslovnicu, čime se ne štedi samo vrijeme i smanjuje potrošnja energije, nego se i smanjuju emisije ugljendioksida povezane s transportom i logistikom. Elektronski izvodi, e-računi i digitalni potpisi sve više zamjenjuju tradicionalne papirne procese, čime banke značajno smanjuju svoj ekološki

otisak i povećavaju efikasnost poslovanja.

## 2. Inovativne digitalne usluge u skladu sa ESG principima

Banke u BiH, a i širom svijeta, u posljednjim godinama sve više nude inovativne digitalne usluge koje su u skladu s principima održivosti. Naprimjer, integracija mobilnih novčanika kao što je GooglePay omogućava korisnicima da obavljaju bezgotovinske transakcije brzo i efikasno, što smanjuje potrebu za fizičkim novcem i posjetama bankama. Digitalna rješenja poput ovih ubrzavaju poslovanje, dok istovremeno smanjuju potrebu za potrošnjom papira, plastike i drugih resursa. Ovaj trend prema bezgotovinskom poslovanju ne samo da optimizira bankarske procese, već ima i direktan utjecaj na smanjenje emisije CO<sub>2</sub>, jer manje putovanja i transporta znači manji negativni ekološki utjecaj.

Dodatno, digitalizacija internih bankovnih procesa, kao što je elektronska obrada kredita i online odobravanje, značajno smanjuje potrošnju papira i energije. Automatizacija tih procesa omogućava bankama da efikasnije upravljaju resursima i smanje operativne troškove, dok istovremeno povećavaju produktivnost i smanjuju ekološki otisak.

## 3. Ekoinovacije u kartičnom poslovanju

Pojedine banke su otišle korak dalje implementirajući inovacije u kartičnom poslovanju kako bi smanjile plastični otpad. Naprimjer, nekoliko banaka je počelo izdavati platne kartice koje su izrađene od reciklirane plastike umjesto uobičajenog PVC materijala, koji se teško reciklira i negativno utječe na okoliš. Ove "ekokartice" funkcionalno su jednake standardnim karticama, ali njihov proizvodni proces uključuje ponovnu upotrebu plastike koja bi inače završila na deponijama. Pored toga, nekoliko banaka je najavilo da će sve nove debitne i kreditne kartice izdavati isključivo od recikliranih materijala zamjenjujući postojeće kartice ekološki prihvatljivim opcijama. Ovaj korak ukazuje na sve veću predanost održivosti u svakodnevnom bankarskim proizvodima.

## 4. Digitalna transformacija kao podrška ESG agendi

Kroz sve ove digitalne inicijative, banke ne samo da unapređuju poslovanje i efikasnost, nego ostvaruju značajan doprinos ESG agendi. Digitalna transformacija bankarskog sektora, koja uključuje automatizaciju procesa, razvoj online usluga i uvođenje novih, ekološki prihvatljivih proizvoda, predstavlja temelj za održivu budućnost finansija. Implementacija naprednih tehnologija kao što su umjetna inteligencija (AI) i blockchain omogućava bankama da efikasnije prate i analiziraju ESG faktore, uključujući klimatske i okolišne rizike, te na temelju tih podataka donose brže i preciznije odluke.

Korištenje ovih tehnologija omogućava ne samo precizno mjerenje ESG faktora, već i unapređivanje izvještavanja o ESG rizicima, čime se poboljšava transparentnost i odgovornost banaka prema klijentima, regulatorima i tržištima. Također, tehnologije kao što su virtualne ekspoziture omogućavaju bankama da efikasnije prate zelene finansijske instrumente i integiraju održive investicije u svoje portfelje. U tom smislu, digitalizacija nije samo alat za optimizaciju poslovanja, već i ključni pokretač u ostvarivanju održivih ciljeva u bankarskom sektoru.

## 4. Saradnja s međunarodnim organizacijama na projektima održivosti

Razvoj zelenih finansija u BiH značajno je potpomognut kroz saradnju domaćih finansijskih institucija s međunarodnim partnerima – razvojnim bankama, agencijama Ujedinjenih nacija, bilateralnim donatorima i globalnim inicijativama u oblasti održivog finansiranja. Ova partnerstva omogućila su pristup tehničkoj pomoći, međunarodnim dobrim praksama i povoljnim finansijskim instrumentima, čime se ubrzava proces

integracije ESG principa u domaći finansijski sektor. Finansijske institucije učestvuju u programima koji podržavaju zelene investicije, energetske efikasne projekte i održivo poslovanje malih i srednjih preduzeća. Također, sve je izraženija i uključenost finansijskih institucija iz BiH u globalne inicijative koje promovišu odgovorno bankarstvo i postizanje klimatske neutralnosti. Kroz pristupanje međunarodnim standardima i principima, banke šalju jasnu poruku o svojoj opredijeljenosti ka održivom razvoju. Iako je primjena ESG standarda još u početnoj fazi, evidentni su primjeri dobre prakse koji potvrđuju da finansijski sektor BiH ima potencijal da bude važan akter u zelenoj tranziciji. Nastavak međunarodne saradnje, uz jačanje regulatornog okvira i svijesti o značaju održivog finansiranja, doprinijet će daljem jačanju otpornosti i odgovornosti sektora u kontekstu klimatskih i okolišnih izazova.

## 5. Zaključak

Integracija ESG principa u finansijski sektor BiH predstavlja ključan korak ka jačanju otpornosti bankarskog sistema i održivom ekonomskom rastu. Klimatski i okolišni rizici više nisu hipotetička dugoročna prijetnja – njihovi efekti već se osjećaju (npr. češće poplave, suše, volatilnost cijena energenata) i mogli bi se značajno intenzivirati ako se ne preduzmu adekvatne mjere. Recentne analize naglašavaju da, iako su ovi rizici strukturne prirode, banke moraju djelovati sada kako bi izbjegle buduće gubitke i osigurale kontinuitet poslovanja. Ohrabruje činjenica da je proces integracije klimatskih rizika u nadzorne prakse već pokrenut, oslanjajući se na inicijative EU vezane za održivo finansiranje i primjere dobre prakse drugih zemalja.

Zaključno, u Bosni i Hercegovini su pokrenuti važni koraci ka uključivanju klimatskih i okolišnih rizika u regulatorni i nadzorni okvir. Regulatorna tijela postepeno usmjeravaju pažnju na ove aspekte, dok finansijske institucije, vođene i međunarodnim inicijativama, sve više prepoznaju važnost ESG principa u svom poslovanju. Iako se integracija ovih principa još nalazi u ranoj fazi, dosadašnje aktivnosti – uključujući strateške dokumente, regulatorne smjernice i jačanje saradnje s relevantnim akterima – stvaraju osnovu za daljnji razvoj.

Uspješna integracija zavisit će od kontinuiranog jačanja kapaciteta, dostupnosti podataka i jasnoće regulatornih očekivanja. U tom kontekstu, usklađivanje s međunarodnim standardima predstavlja važan put ka otpornijem, odgovornijem i održivijem finansijskom sistemu, spremnom da odgovori na izazove koji proizlaze iz promjenjivog klimatskog i regulatornog okruženja.

# **INTEGRATION OF ESG PRINCIPLES INTO THE REGULATORY FRAMEWORK FOR MANAGING CLIMATE AND ENVIRONMENTAL RISKS IN BOSNIA AND HERZEGOVINA**

**Summary:** Climate change and environmental risks are becoming an increasing challenge for global financial systems, which makes the integration of environmental, social and governance (ESG) principles into regulatory frameworks crucial. Bosnia and Herzegovina, as a signatory to international climate agreements, recognizes the importance of the role of the financial sector in supporting the transition to a sustainable economy. In this context, the challenge is to harmonize the domestic regulatory framework with international standards. The Banking Agency of the Federation of Bosnia and Herzegovina has developed a regulatory framework for ESG risk management, harmonizing it with EU guidelines, including EU taxonomy and CRR/CRD regulations, which lay the foundations for sustainable business and responsible risk management. Although responsible entities are increasingly aware of climate and environmental risks, progress in their management is still slow. Key challenges include lack of adequate tools, capacity and awareness. The regulatory framework in Bosnia and Herzegovina is shaped according to the guidelines of the European Banking Authority (EBA). Also, the EU sustainable financing strategy encourages the integration of ESG principles into business processes with the aim of achieving higher standards of sustainability. Digitization is profiled as a key tool for more efficient management of climate and environmental risks. Initiatives such as BIS's GAIA project demonstrate the potential of advanced technologies such as artificial intelligence (AI) and blockchain, which enable automated extraction of climate indicators, tracking of green financial instruments and increased transparency in reporting. These technologies enable precise data analysis and better forecasting of potential risks, which contributes to proactive risk management and reduction of negative effects. In BiH, the application of ESG standards and digital tools, such as virtual branches and automation of process activities, enables better monitoring, reporting and risk reduction. Although there are challenges, such as a lack of technical capacity and specialized education, the proactive integration of ESG principles contributes to reducing non-financial risks and improving the resilience of the financial sector. Rapid digitization and the use of advanced analytical tools open up new opportunities for climate and environmental risk management, which increases efficiency and transparency, as well as market confidence in sustainable financial products.

**Keywords:** ESG principles, climate and environmental risks, regulatory framework, sustainable financing, digitalization, GAIA project, artificial intelligence (AI), blockchain, climate indicators, green financial assets, climate risk monitoring, ESG standards, automation of process activities, technical capacities, proactive integration of ESG principles, resilience of the financial sector, sustainable financial products

## **Literatura**

1. Agencija za bankarstvo Federacije BiH. (2023a). Smjernice za upravljanje rizicima povezanim sa klimatskim promjenama i okolišnim rizicima (Službene novine Federacije BiH, br. 57/23). Agencija za bankarstvo FBiH.
2. Agencija za bankarstvo Federacije BiH. (2023b). Strategijski prioriteti za upravljanje i nadzor

klimatskih rizika i okolišnih rizika u bankarskom sektoru za period 2023–2025. Agencija za bankarstvo FBiH.

3. Edmans, A., & Kacperczyk, M. (2022). Održivo finansiranje. *Review of Finance*, 26(6), 1309–1313. <https://doi.org/10.1093/rof/rfac069>
4. Korzeb, Z., Niedziółka, P., Szpilko, D., & di Pietro, F. (2024). ESG i klimatski rizici u odnosu na tradicionalne rizike u komercijalnim bankama: Bibliometrijski i tematski pregled. *Future Business Journal*, 10, Članak 106. <https://doi.org/10.1186/s43093-024-00392-8>
5. Nocoń, A. (2024). Upravljanje ESG rizicima u bankama – prema njegovom mjerenju. *Economics and Environment*, 90(3), 737. <https://doi.org/10.34659/eis.2024.90.3.737>
6. Bloomberg Adria. (2024). Važnost održivosti i ESG prakse u finansijskim institucijama. Bloomberg Adria. Retrieved from [www.bloombergadria.com](http://www.bloombergadria.com)
7. Energetikars.com. (2022). EBRD: Nova kreditna linija za energetske efikasnost u BiH. Energetikars.com. Retrieved from [www.energetikars.com](http://www.energetikars.com)
8. Energetikars.com. (2022). EBRD: Nova kreditna linija za energetske efikasnost u BiH – rezultati GEFF programa. Energetikars.com. Retrieved from [www.energetikars.com](http://www.energetikars.com)
9. Energetski Portal. (2022). GGF i MF banka podstiču zelene finansije u BiH. Energetski Portal. Retrieved from [www.energetskiportal.rs](http://www.energetskiportal.rs)
10. GEFF BiH. (2023). EBRD osigurala 5 miliona eura za energetske efikasnost u BiH. GEFF BiH. Retrieved from [www.ebrdgeff.com](http://www.ebrdgeff.com)
11. UNDP BiH. (2024). Partnerstvo UNDP-a i domaće banke za zelene kredite MSP sektoru. UNDP BiH. Retrieved from [www.undp.org](http://www.undp.org)
12. Sparkasse Bank blog. (2023). Naš put ka održivosti – ESG inicijative. Sparkasse.ba. Retrieved from [www.sparkasse.ba](http://www.sparkasse.ba)
13. Raiffeisen Bank. (2023). ESG proizvodi i usluge (interni dokument; članstvo u UN PRB)

# **ZELENI LANCI OPSKRBE: PRILIKE I IZAZOVI U PRIMJENI DIGITALNIH TEHNOLOGIJA**

**mr. sc. Mensur Herić**

Univerzitet u Tuzli

**Sažetak:** Lanac opskrbe, iz perspektive menadžmenta operacija, evoluirao je od tradicionalnog, preko održivog i zatvorene petlje, do zelenog, odražavajući postepeni rast značaja ekološke svijesti u svim fazama — od dizajna proizvoda, nabavke sirovina, proizvodnje i isporuke, pa sve do zbrinjavanja proizvoda nakon završetka njegovog životnog vijeka.

Vođenje računa o problemima životne sredine bilo da je motivisano određenom vrstom prinude zbog rasta broja regulativa koje tretiraju posmatrano područje ili očekivanim koristima, kompletne lance opskrbe dovodi u kontekst koji odlikuju nove nihanje složenosti. Kako bi zeleni lanci opskrbe uspješno plovili kroz okruženja u kojima su aktuelni novi zahtjevi sudionika i odlikovali se, između ostalog, vidljivošću (supply chain visibility, SCV) i otpornošću, neminovno se nameće pitanje primjene digitalnih tehnologija i alata kao što su Internet of Things (IoT), blockchain tehnologije, računarstvo u oblaku, autonomna vozila, analitika velikih podataka, aditivna proizvodnja, i sl. Uvažavajući navedeno, a na osnovu sistematizacije nalaza iz akademske i stručne literature, svrha rada je prikazati prilike i izazove u primjeni digitalnih tehnologija u kontekstu ozelenjavanja lanaca opskrbe, prihvatajući da lanci opskrbe po prirodi stvari obuhvataju aktivnosti koje mogu negativno utjecati na okruženje. Očekivani doprinos rada je trostruk. U akademskom aspektu se daje doprinos diskusiji o zelenim temama u ekonomiji i biznisu Bosne i Hercegovine. U praktičnom aspektu se privredni akteri u Bosni i Hercegovini upoznaju sa zelenim rješenjima primijenjenim u drugim privrednim okruženjima. Konačno, kroz prikaz zelenih regulativa značajnih za lance opskrbe daje se doprinos procesima kreiranja politika u Bosni i Hercegovini, posebno u kontekstu težnje države ka članstvu u EU.

**Gljučne riječi:** zeleni lanci opskrbe, primjena digitalnih tehnologija, otpornost lanca opskrbe, vidljivost lanca opskrbe, performanse zelenog lanca opskrbe

## **Uvod**

Regulatorni okviri, posebno u EU, značajno pooštravaju rigoroznost zahtjeva u pogledu ekoloških kriterija koji se moraju uvažiti prilikom odlučivanja u procesima upravljanja lancima opskrbe. Kompanije posežu za digitalnim rješenjima kako bi, s jedne strane, zahvatile što više podataka koje generišu poslovne operacije u lancima opskrbe i, s druge strane, ekstrahirale vrijednost iz tako nagomilanih podatkovnih resursa. Svrha rada je, a na osnovu sistematizacije nalaza iz akademske i stručne literature, prikazati prilike i izazove u primjeni digitalnih tehnologija u kontekstu ozelenjavanja lanaca opskrbe, prihvatajući da lanci opskrbe po prirodi stvari obuhvataju aktivnosti koje mogu negativno utjecati na okruženje. S tim uvezi, u prvom dijelu rada je objašnjeno pojamovno razgraničenja između termina održivost, zatvorena petlja i ozelenjavanje u kontekstu upravljanja lancima opskrbe. U drugom dijelu se daje prikaz određenih regulativa u EU, a koje su relevantne za upravljanje lancima opskrbe kako bi se dao doprinos diskusiji o zahtjevima o kojima će trebati povesti računa preduzeća iz Bosne i Hercegovine,

posebno u svjetlu težnje države ka članstvu u EU. U trećem dijelu, imajući na umu brojnost regulativa, daje se prikaz saznanja iz prethodnih akademskih istraživanja vezano za relacije koje postoje između praksi ozelenjavanja lanaca opskrbe i primjene digitalnih tehnologija. Svrha ovog prikaza nije da bude sveobuhvatan, već da ilustruje kakve su prilike, izazovi i kontradikcije identifikovani. Konačno, u posljednjem dijelu rada daje se prikaz postupanja određenih kompanija u procesu primjenjivanja digitalnih alata sa svrhom ozelenjavanja lanaca opskrbe. Kako bi se osigurala relevantnost i aktuelnost saznanja, odabrane su globalno etablirane kompanije čiji su slučajevi obrađeni u uglednom magazinu okrenutom praksi Supply chain digital u periodu april – juni 2025. godine. Svrha ovog djela je da se uspješnost u primjeni digitalnih alata u ozelenjavanju lanaca opskrbe uglednih svjetskih kompanija iskoristi za inspirisanje rješenja kompanija iz Bosne i Hercegovine. Kod odabira kompanija se vodilo računa i o industrijama iz kojih dolaze. Tako su odabrane industrije transporta (iz perspektive proizvodnje dijelova i izvršenja usluge transporta) zbog generalne aktuelnosti teme elektrifikacije vozila i korištenja čistih goriva, te proizvodnje hrane i pića zbog osjetljivosti proizvoda (npr. u kontekstu korištenja resursa vode). Pored toga, zbog sveobuhvatnosti proizvoda u kojima se koriste, odabran je proizvođač tehnologija za digitalno osjećanje

## Upravljanje lancima opskrbe: od tradicionalnog ka zelenom pristupu

Objektivno postojanje lanaca opskrbe, rastuća svijest o njihovom tržišnom nadmetanju, činjenica da donose nove perspektive o pitanju, npr., domaćeg proizvoda i sl., doveli su do mnoštva definicija upravljanja ovim tržišnim sudionikom. U tom smislu se upravljanje lancima opskrbe može definisati kao sistemska, strateška koordinacija tradicionalnih poslovnih funkcija i njihovih taktika unutar određene kompanije i između kompanija unutar lanca opskrbe sa svrhom unapređivanja dugoročnih performansi pojedinačnih kompanija i lanca opskrbe kao cjeline.<sup>1</sup> Kako bi se uvažili utjecaji koje poslovne aktivnosti imaju na društvo i okolinu, može se navesti definicija koja predstavlja odgovor na pitanje kako se održivost definiše u kontekstu upravljanja lancima opskrbe. Naime, održivi lanac opskrbe je strateški transparentna integracija i ostvarenje ekonomskih, ekoloških i socijalnih ciljeva kompanije putem sistemskog upravljanja ključnim međuorganizacionim procesima koji doprinose dugoročnom unapređenju ekonomskih performansi i pojedinačne kompanije i lanca opskrbe u cjelini.<sup>2</sup> U odnosu na tradicionalni, kod održivog lanca opskrbe je eksplicitno izražena orijentacija s tri cilja (pored ekonomskih, prisutni su ekološki i socijalni aspekti). Kad su u pitanju faktori koji poticajno djeluju na održivost u lancima opskrbe, mogu se navesti legalni zahtjevi/regulacija, zahtjevi kupaca, odgovor interesnim grupama, konkurentska prednost, grupe koje prave okolišne i socijalne pritiske i gubitak reputacije<sup>3</sup>, odnosno strategija, upravljanje rizikom, organizaciona kultura i transparentnost.<sup>4</sup> U narednoj etapi nadogradnje poimanja upravljanja lancem opskrbe iz perspektive ekološkog razmišljanja može se uzeti da su u njemu eksplicitno istaknuti i povratni tokovi o čemu govori definicija upravljanja lancima opskrbe sa zatvorenim petljom. U tom smislu se upravljanje lancem opskrbe sa zatvorenim petljom definiše kao dizajn, kontrola i djelovanje sistema radi maksimizacije kreiranja vrijednosti tokom cijelog životnog ciklusa proizvoda s

<sup>1</sup> John T. Mentzer, William DeWitt, James S. Keebler, Soonhong Min, Nancy W. Nix, Carlo D. Smith, Zach G. Zacharia: Defining supply chain management, *Journal of business logistics*, Vol. 22, No. 2, 2001, 1-25

<sup>2</sup> Craig R. Carter, Dale S. Rogers: A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory, *International journal of physical distribution & logistics management*, Vol. 38 No. 5, 2008, 360-387

<sup>3</sup> Stefan Seuring, Martin Müller: From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management, *Journal of cleaner production*, Vol. 16, No. 15, 2008, 1699-1710

<sup>4</sup> Veljko M. Mijušković: Upravljanje zelenim lancem snabdevanja i povratnom logistikom, Centar za izdavačku delatnost – Ekonomski fakultet u Beogradu, Beograd 2019, 18



dinamičkim oporavkom vrijednosti iz različitih tipova i volumena povraćata tokom vremena.<sup>5</sup> Fokus na povratne tokove se desio uslijed pojačane zakonske regulative u Evropi krajem 90-ih godina 20. vijeka, a koja je od proizvođača tražila da iskoriste dio preostale vrijednosti iz proizvoda na kraju redovnih tokova, umjesto da se odmah odašiljaju na otpad kao neupotrebljivi.<sup>6</sup> Dodavanjem zelene komponente u upravljanje lancem opskrbe nastoji se odraziti njegov utjecaj na prirodnu okolinu. U tom smislu, upravljanje zelenim lancem opskrbe se definiše kao integrisanje ekološkog razmišljanja u upravljanje lancem opskrbe, uključujući dizajn proizvoda, selekciju i opskrbu materijalima, procese proizvodnje, isporuku finalnog proizvoda potrošačima, kao i upravljanje proizvodom na kraju životnog ciklusa nakon isteka njegovog korisnog vijeka.<sup>7</sup>

| Koncept                                          | Fokus/nadogradnja                                                        |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Upravljanje tradicionalnim lancem opskrbe        | Ekonomska dimenzija                                                      |
| Upravljanje održivim lancem opskrbe              | Ekonomska, ekološka i socijalna dimenzija                                |
| Upravljanje lancem opskrbe sa zatvorenim petljom | Povratni tokovi proizvoda na kraju korisnog vijeka                       |
| Upravljanje zelenim lancem opskrbe               | Integracija ekološkog razmišljanja u sve faze upravljanja lancem opskrbe |

Tabela 1 - Komparacija koncepata upravljanja lancem opskrbe iz perspektive ekološkog razmišljanja

**Kako ekološke regulacije EU utječu na procese u lancima opskrbe?**

Količina otpada od električne i elektronske opreme (WEEE ili e-otpad) je jedan od najbrže rastućih tokova otpada i uključuje veliki raspon uređaja kao što su mobilni telefoni, računari, televizori, frižideri, kućanski aparati, lampe, medicinski uređaji i fotonaponski paneli. Moderna elektronika sadrži rijetke i skupe resurse, uključujući i kritične materijale pa se kroz učinkovito upravljanje e-otpadom može ostvariti njihova reciklaža i ponovna upotreba. Poboljšavanjem prikupljanja, tretmana i reciklaže električne i elektronske opreme na kraju životnog vijeka može se povećati efikasnost resursa i podržati pomak ka cirkularnoj ekonomiji. U pogledu ove opreme, cilj EU je dati doprinos održivoj proizvodnji i potrošnji prevencijom kreiranja WEEE, doprinositi efikasnom korištenju resursa i povlačenju sekundarnih sirovina kroz ponovno korištenje, recikliranje i druge forme oporavka te poboljšati ekološke performanse svih koji su uključeni u životni ciklus električne i elektronske opreme. Neke brojke na nivou EU koje ilustruju ovu problematiku su: 14,4 miliona tona električne i elektronske opreme je stavljeno na tržište, pri čemu se prikuplja 5 miliona tona e-otpada što je 11,2 kg po osobi.<sup>8</sup> Uvažavajući činjenice vezane za količinu električne i elektronske opreme tokom njenog korištenja, prikupljanja, tretmana i odlaganja, ovakvi proizvodi mogu otpustiti štetne supstance koje mogu uzrokovati velike ekološke i zdravstvene probleme. U navedenom kontekstu, kroz RoHS direktivu se ograničava korištenje deset supstanci i to: olovo, kadmijum, živa, heksavalentni hrom, PBB i PBDE, DEHP, BBP, DBP i DIBP. RoHS direktiva promovise mogućnosti reciklaže električne i elektronske opreme i njenih komponenti koji postanu otpad koji sadrži manje hazardnih supstanci.<sup>9</sup> Nadalje, za baterije se smatra da predstavljaju neophodan izvor energije i ključnu tehnologiju u tranziciji ka klimatskoj neutralnosti i cirkularnoj ekonomiji. Globalna potražnja za baterijama brzo raste i na EU bi se moglo odnositi 17% te potražnje. Evropski parlament

<sup>5</sup> V. Daniel R. Guide Jr., Luk N. Van Wassenhove: OR FORUM-The evolution of closed-loop supply chain research, Operations research, Vol. 57, No. 1, 2009, 10-18

<sup>6</sup> Veljko M. Mijušković: Upravljanje zelenim lancem snabdevanja i povratnom logistikom, 20-21

<sup>7</sup> Samir K. Srivastava: Green supply-chain management: a state-of-the-art literature review, International journal of management reviews, Vol.9, No. 1, 2007, 53-80

<sup>8</sup> WEEE, dostupno na [https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee_en)

<sup>9</sup> RoHS direktiva, dostupno na [https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/rohs-directive\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/rohs-directive_en)

i Vijeće su usvojili novu regulaciju o baterijama 2023. godine s ciljem da se baterije učine održivim kroz cijeli životni ciklus, od nabavljanja materijala, njihovog prikupljanja, recikliranja i prenamjene. U aktuelnom energetsom kontekstu, nova pravila promovišu razvoj konkurentne održive industrije baterija koja će biti podrška evropskoj tranziciji ka čistoj energiji i nezavisnosti od uvoza goriva.<sup>10</sup> Dodatno, EU Zakon pokriva sva pakovanja i otpad od pakovanja na evropskom tržištu, uključujući sve materijale i pakovanje u komercijalnom, sektoru domaćinstva, industrije i dr. Aktuelna regulacija PPWR uređuje vrstu pakovanja koja može biti stavljena na EU tržište, kao i upravljanje ambalažnim otpadom i preventivne mjere. Regulativa PPWR je stupila na snagu u februaru 2025. godine s ciljem minimiziranja količine ambalaže i generisanog otpada snižavanjem korištenja primarnih sirovina i jačanjem tranzicije ka cirkularnoj, održivoj i konkurentnoj ekonomiji. Regulativa osnažuje interno tržište sekundarnih materijala, proizvodnje, reciklaže i ponovne upotrebe. Ostali ciljevi regulative su: spriječiti i reducirati ambalažni otpad, uključujući kroz više sistema ponovne upotrebe i ponovnog punjenja, učiniti da se sva ambalaža na EU tržištu može reciklirati na ekonomičan način do 2030. godine, povećati na siguran način korištenje reciklirane plastike u pakovanju i smanjiti upotrebu primarnih materijala u ambalaži i usmjeriti sektor na putanju klimatske neutralnosti do 2050. godine. Neke od odredbi PPWR regulative se odnose na ograničenja vezano za jednokratnu plastiku kod prethodno upakovanog voća i povrća koje teži manje od 1,5 kg, minimiziranje težine i volumena ambalaže i izbjegavanje ambalaže koja nije nužna, zahtjev biznisima koji rade po principu “za ponijeti” da kupcima ponude opciju da donesu vlastite spremnike bez dodatnog troška, te minimiziranje supstanci koje izazivaju zabrinutost.<sup>11</sup> Pored navedenog, preko šest miliona vozila godišnje u Evropi dosegne do kraja svog životnog vijeka i tretira se kao otpad. Desi li se neadekvatno upravljanje ovim vozilima, može doći do ekoloških problema i gubitka miliona tona materijala. Industrija proizvodnje automobila je među najvećim potrošačima primarnih materijala poput čelika, aluminija, bakra i plastike, pri čemu malo koristi reciklirane materijale. U skiciranom kontekstu, ELV direktiva postavlja jasne ciljeve za vozila na kraju životnog vijeka te zabranjuje upotrebu hazardnih supstanci u proizvodnji vozila (posebno olova, žive, kadmija i heksavalentnog hroma), osim u definisanim izuzecima. Ciljevi ELV direktive su spriječiti i ograničiti otpad od vozila na kraju životnog vijeka i njihovih komponenti, te unaprijediti ekološke performanse svih ekonomskih operatora uključenih u životni ciklus vozila.<sup>12</sup> Direktiva o obnovljivoj energiji postavlja ciljeve za povećano korištenje obnovljive energije, podržavajući saradnju EU članica usmjerenu ka ovom cilju. Udio obnovljivih izvora energije u EU potrošnji energije je porastao s 12,5% 2010. godine na 24,5% 2023. godine, pri čemu prednjači Švedska s udjelom obnovljive energije u potrošnji od 66,4%, ispred Finske s udjelom 50,8% i Danske s udjelom 44,9%. EU je globalni lider kada je u pitanju razvoj tehnologije u oblasti obnovljive energije. Novi obavezujući cilj za 2030. godinu je minimalni udio od 42,5% obnovljive energije. U kontekstu European Green Deal, obnovljiva energija je stub čiste energetske tranzicije, dolazi po niskom trošku i domaćeg je porijekla, što reducira ovisnost Evrope o vanjskim dobavljačima. Snažni okvir politike će olakšati elektrifikaciju u različitim sektorima s novim povećanim ciljevima specifičnim za sektor kad je u pitanju obnovljiva energija u zagrijavanju i hlađenju, transportu, industriji, građevinama, daljinskom zagrijavanju/hlađenju, okviru koji promoviše električna vozila i pametno punjenje.<sup>13</sup> Direktiva o čistim vozilima promoviše rješenja čiste

<sup>10</sup> Regulisanje baterija, dostupno na [https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/batteries\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/batteries_en)

<sup>11</sup> Ambalažni otpad, dostupno na [https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/packaging-waste\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/packaging-waste_en)

<sup>12</sup> ELV direktiva, dostupno na [https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/end-life-vehicles\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/end-life-vehicles_en)

<sup>13</sup> Direktiva o obnovljivoj energiji, dostupno na [https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en)

mobilnosti u tenderima javne nabavke, pružajući solidan podsticaj potražnji i daljnjem razvoju vozila s niskom ili nula emisijom. U kontekstu ove direktive definisana su čista vozila kako slijedi. Čisto lako teretno vozilo je bilo koji auto ili kombi koji ispunjava postavljene granice emisije do 31. decembra 2025. godine ne više od 50 g/km CO<sub>2</sub> i do 80% primjenjivih RDE ograničenja za NO<sub>x</sub> i PN, a od 1. januara 2026. godine samo vozila s nula emisije. Čisto teško teretno vozilo je bilo koji kamion ili autobus koji koriste jedno od sljedećih alternativnih goriva: hidrogen, struja iz baterije (uključujući plug-in hibride), prirodni gas (i CNG i LNG, uključujući biometan), tečna biogoriva, sintetička i parafinska goriva, LPG. Direktiva o čistim vozilima predviđa reviziju 2027. godine kako bi se postavili novi ciljevi za vrijeme nakon 2030. godine i kako bi se razmotrilo moguće proširenje obuhvata (npr. na vozila s dva i tri točka).<sup>14</sup>

## **Zeleni lanci opskrbe i digitalna rješenja: šta saopćavaju prethodna akademska istraživanja?**

Teme ozelenjavanja lanaca opskrbe i digitalizacije su posebno aktuelne u uslovima povećane brige za okruženjem, osjećaja iscrpljivanja prirodnih resursa, klimatskih promjena, potrošnje energije, i sl. U kontekstu proizvođačkih kompanija došlo se do rezultata koji pokazuju kako pametni lanac opskrbe doprinosi zelenim performansama kroz upravljanje zelenim odnosima (vanjske aktivnosti upravljanja zelenim lancem opskrbe) i uspostavljanje zelenih operacija (unutrašnje aktivnosti upravljanja zelenim lancem opskrbe). Naime, pametni lanac opskrbe (strategija digitalne transformacije) nije dovoljan za postizanje zelenih performansi, pošto je potrebna konfiguracija upravljanja zelenim lancem opskrbe koja vrši ulogu medijacije u ovom odnosu. To za menadžere praktično znači da bi sa digitalnom transformacijom mogli računati na povećanje zelenih performansi, trebali integrisati eksterne odnose i interne operacije.<sup>15</sup> Digitalna tehnologija, kao kritični faktor koji omogućuje upravljanje zelenim lancem opskrbe, se konstantno osvježava u uslovima Industrije 4.0. Na osnovu analize literature može se govoriti o postojanju pet kategorija digitalnih tehnologija: IoT, veliki podaci, računarstvo u oblaku, blockchain i vještačka inteligencija. Korisnost primjene digitalne tehnologije za zeleni lanac opskrbe se ogleda u njenoj mogućnosti da reducira korištenje resursa, energije i emisiju polutanata tako poboljšavajući operativnu efikasnost zelenog lanca opskrbe i postižući ekonomske, socijalne i ekološke koristi.<sup>16</sup> Doza opreza, kada je u pitanju doprinos digitalnih tehnologija programima ozelenjavanja lanaca opskrbe, se također može pronaći u literaturi. Određeni autori pozivaju da se povede računa u pogledu korištenja digitalizacije i informacijske tehnologije sa svrhom ozelenjavanja lanaca opskrbe, pošto ove tehnologije mogu dovesti do paradoksalne situacije zato što mogu nuditi istovremeno rješenja za ekološku degradaciju, ali i potencijalno biti izvor ekološke degradacije širom lanca opskrbe.<sup>17</sup> Kako bi se kreirala pozicija za što bolji odgovor na rastuća ekološka očekivanja zainteresovanih strana, upravljanje zelenim lancima opskrbe prolazi kroz transformacije poznate kao digitalna transformacija zelenog lanca opskrbe (GSCDT). Za prakse ove transformacije se pokazuje da vrijedi da su nejednako implementirane u različitim dimenzijama upravljanja zelenim

<sup>14</sup> Direktiva o čistim vozilima, dostupno na [https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/clean-transport/clean-and-energy-efficient-vehicles/clean-vehicles-directive\\_en](https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/clean-transport/clean-and-energy-efficient-vehicles/clean-vehicles-directive_en)

<sup>15</sup> Laura V. Lerman, Guilherme Brittes Benitez, Julian M. Müller, Paulo Renato de Sousa, Alejandro German Frank: Smart green supply chain management: a configurational approach to enhance green performance through digital transformation, *Supply chain management: an international journal*, Vol. 27, No. 7, 2022, 147-176

<sup>16</sup> Yi Wang, Yafei Yang, Zhaixiang Qin, Yafei Yang, Li Jun: A literature review on the application of digital technology in achieving green supply chain management, *Sustainability*, Vol. 15, No. 11, 2023, 8564

<sup>17</sup> Joseph Sarkis, Mahtab Kouhizadeh, Qingyun Serena Zhu: Digitalization and the greening of supply chains, *Industrial management & data systems*, Vol. 121, No. 1, 2021, 65-85

lancem opskrbe, visoko su ovisne od koordinacije top menadžmenta među organizacijama, intenzivnije su u proizvođačkim operacijama s velikim dobavljačima i implementirane su u većem stepenu za eksterne prakse nego za interne prakse.<sup>18</sup> U zavisnosti od konteksta istraživanja i jedinice analize između fenomena se mogu pronaći razne relacije. U kontekstu malih i srednjih preduća u industriji hrane i pića za upravljanje zelenim lancem opskrbe, zajedno sa zelenim inovacijama, pronađeno je da igra medijatorsku ulogu u vezi između digitalizacije i održivih korporativnih performansi.<sup>19</sup> Digitalizacija lanaca opskrbe dobija na značaju u uslovima postojanja potrebe za održivim rješenjima hibridnih režima operacija, kao što je to pokazala pandemija Covid-19. Napredne tehnologije kao što su ERP za vidljivost u lancu opskrbe, platforme za e-pozive, podatkovna analitika u stvarnom vremenu, IoT, IoB, blockchain, aditivna proizvodnja, omogućuju stratešku integraciju različitih entiteta i najnaprednije odlučivanje pokretano podacima, na osnovu čega su dostupni uvidi u stvarnom vremenu u logistička kretanja, prognoziranje potražnje, planiranje proizvodnje i nivoa zaliha.<sup>20</sup>

U suočavanju s izazovima globalizacije i nepredvidivim šokovima, proizvođači za održivost svojih lanaca opskrbe nalaze rješenje u digitalnim tehnologijama kao što su servisi u oblaku, vještačka inteligencija, analitika velikih podataka, blockchain i IoT.<sup>21</sup> Nadalje, u kontekstu međunarodnih proizvođačkih kompanija postoje nalazi koji pokazuju da digitalna transformacija ima signifikantan pozitivan utjecaj na integraciju lanca opskrbe i sveukupne performanse održivog lanca opskrbe, pri čemu integracija lanca opskrbe direktno i pozitivno utječe na sveukupne performanse održivog lanca opskrbe s učinkom parcijalne medijacije na odnos između digitalne transformacije i sveukupnih performansi održivog lanca opskrbe.<sup>22</sup> U uslovima dinamičnog tržišnog okruženja identifikovana je potreba malih i srednjih preduzeća, posebno u sektoru proizvodnje, da ponovo ocijene svoje težnje kada su u pitanju lanci opskrbe, te da učinkovito ukalkulišu održive inicijative kroz digitalizaciju. S tim u vezi, identifikovane su određene barijere koje ometaju korištenje tehnologija u razvoju povezanih s Industrijom 4.0, kao što su visoki troškovi implementacije, tržišno nadmetanje i otpor korištenju. S druge strane, detektovane su određene inicijative koje mogu pokrenuti preduzeće da koristi prakse održivosti poput korištenja 6R, obuka i edukacija osoblja i rad na imidžu brenda.<sup>23</sup> Pojava Industrije 4.0 je kreirala brojne izazove i prilike za kompanije koje su, da bi se uspješno nosile s okruženjem koje se brzo mijenja, posegnule za različitim tipovima tehnologija. Među tehnologijama koje najviše obećavaju može se izdvojiti blockchain za koji se pokazalo da dovodi do povećanja transparentnosti i dijeljenja informacija među članovima lanca opskrbe, minimiziranja nesigurnosti, povjerenja i sigurnosti, prevencije prevara, povjerenja u procese, i sl.<sup>24</sup>

<sup>18</sup> Kee-hung Lai, Yunting Feng, Qinghua Zhu: Digital transformation for green supply chain innovation in manufacturing operations, *Transportation research part E: logistics and transportation review*, Vol. 175, 2023, 103145

<sup>19</sup> Than Tiep Le, Quynh Phan Vo Nhu, Thy Bui Ngoc Bao, Linh Vu Nguyen Thao, Vijay Pereira: Digitalisation driving sustainable corporate performance: the mediation of green innovation and green supply chain management, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 446, 2024, 141290

<sup>20</sup> Manoj Kumar Tiwari, Bopaya Bidanda, Joseph Geunes, Kiran Fernandes, Alexandre Dolgui: Supply chain digitisation and management, *International journal of production research*, Vol. 62, No. 8, 2024, 2918-2926

<sup>21</sup> Lingdi Liu, Wenyan Song, Yang Liu: Leveraging digital capabilities toward a circular economy: reinforcing sustainable supply chain management with Industry 4.0 technologies, *Computers & industrial engineering*, Vol. 178, 2023, 109113

<sup>22</sup> Imadeddine Oubrahim, Naoufal Sefiani, Ari Happonen: The influence of digital transformation and supply chain integration on overall sustainable supply chain performance: an empirical analysis from manufacturing companies in Morocco, *Energies*, Vol. 16, No. 2, 2023, 1004

<sup>23</sup> Mahak Sharma, Rakesh D. Raut, Rajat Sehrawat, Alessio Ishizaka: Digitalisation of manufacturing operations: the influential role of organisational, social, environmental, and technological impediments, *Expert systems with applications*, Vol. 211, 2023, 118501

<sup>24</sup> Samuel Fosso Wamba, Maciel M. Queiroz: Industry 4.0 and the supply chain digitalisation: a blockchain diffusion perspective, *Production planning & control*, Vol. 33, No. 2-3, 2022, 193-210

## Diskusija o zelenim praksama i primjeni digitalnih alata iz ugla kompanija u stvarnom svijetu

Kompanija Avery Dennison djeluje u industriji proizvodnje u oblasti nauke o materijalima i digitalne identifikacije i ima približno 35.000 zaposlenika širom svijeta, s operacijama u preko 50 država. Proizvodi kompanije su praktično svugdje prisutni, od boca za šampone do odjeće. Iz ugla kompanije Avery Dennison se prepoznaje da su trendovi digitalizacije i održivosti sve značajniji za kupce. Uvažavajući specifičnosti poslovnih operacija, kompanija je identifikovala tri primarna izazova za održivost lanaca opskrbe. Prvi izazov se odnosi na otpornost, uslijed čega su kompanijama potrebni agilni lanci opskrbe s višestrukim izvorima kako bi se mogli savladati poremećaji koji nastaju zbog događaja koji sežu od pandemija do geopolitičkih kriza. Naredni izazov se odnosi na rasipanja u lancima opskrbe. Pošto su lanci opskrbe u generalnom slučaju dugi i imaju težnju da su prilično neefikasni, oni proizvode rasipanje u raznim geografskim područjima. Konačno, identifikovan je izazov emisije stakleničkih gasova i proširene odgovornosti proizvođača, zbog čega se preduzeća suočavaju s rastućom regulatornom rigoroznošću vezano za emisije Scope 3 i transparentnost u lancima opskrbe. U kompaniji Avery Dennison kreiraju tehnologije digitalnog osjećanja kao što su RFID, NFC i QR kodovi koje omogućavaju da svaki proizvod u lancu opskrbe ima svoj jedinstveni digitalni ID. Kad je omogućena ovakva digitalna identifikacija, kompanije mogu podatke raspoređivati na individualne proizvode, kreirajući vidljivost u lancu opskrbe. Pošto se uspostavi opisana infrastruktura, kreiraju se prilike za primjenu alata vještačke inteligencije u svrhu ekstrakcije dubljih uvida iz prikupljenih podataka, otključavajući tako naredni nivo efikasnosti u lancima opskrbe. Pored navedenog, kompanija Avery Dennison o održivosti razmišlja i u domenu svojih dobavljača. U tom smislu se koriste alati poput EcoVadis za evaluaciju dobavljača i inkorporiranje rezultata u proces odlučivanja. Dodatno, koriste se i alati vještačke inteligencije i mašinskog učenja za evaluaciju lanaca opskrbe iz različitih perspektiva rizika.<sup>25</sup> Kako bi stekla punu vidljivost u cijelom lancu opskrbe, kompanija Marelli se upustila u proces digitalne transformacije sklapajući strateško partnerstvo s o9 Solutions, provajderom platformi temeljenih na vještačkoj inteligenciji. Složenost pozicije kompanije Marelli, koja se bavi proizvodnjom automobilskih dijelova, može se ilustrirati brojem varijacija komponenti kojim upravlja (350.000 varijacija), brojem dobavljača (2.500 dobavljača) i brojem finalnih proizvoda (50.000 proizvoda). Da bi omogućila timovima da više vremena provode analizirajući umjesto prikupljajući podatke, kompanija Marelli se opredijelila za platformu Digital Brain koja omogućuje napredno i automatizovano planiranje procesa prodaje, zaliha i operacija. Privlačnost platforme Digital Brain se ogleda u njenim odlikama. Naime, platforma kreira digitalnu verziju korisničkog biznisa nudeći repozitorij podataka iz stvarnog vremena i konvertujući podatke u znanje. Platforma omogućava brže planiranje scenarija što preduzećima omogućuje da osjete prilike i rizike te da donose bolje odluke. Pored toga, platforma povezuje funkcionalne planove i tako doprinosi integraciji planiranja. Implementacija platforme Digital Brain kompaniji Marelli donijela je značajnu redukciju hitnih pošiljki, a što je dovelo do smanjenja troškova i emisije ugljika, poboljšanje obrta zaliha (efikasnije upravljanje resursima), dramatično poboljšanje vidljivosti programa proizvodnje kupaca što je omogućilo precizne prognoze i do 24 mjeseci unaprijed (bolje strateško planiranje i alokacija resursa). U konačnici, kompanija Marelli može brže odgovoriti na novonastale okolnosti zahvaljujući

---

<sup>25</sup> Pripremljeno na osnovu Tom Chapman: Harnessing digital to drive supply chain sustainability, Supply chain digital, maj 2025, 53-65

sveobuhvatnom pogledu na lance opskrbe.<sup>26</sup> S druge strane, jedna od globalno najpoznatijih kompanija iz industrije hrane i pića PepsiCo, koja je ostvarila neto prihod oko 92 milijarde dolara i koja upošljava oko 318.000 radnika, ima dva ključna stuba svoje vizije: strateško partnerstvo s dobavljačima i snažno davanje prioriteta održivim rješenjima. U okviru održivih rješenja PepsiCo ulaže u pozitivne ekološke napore (program pep+) kao naprimjer: reducirati emisije stakleničkih gasova, postati neto pozitivan po pitanju vode, reducirati korištenje nove plastike, i sl. Kada je u pitanju nabavna funkcija, PepsiCo je imala probleme koji su tipični za velike organizacije, a to je jasnoća pogleda na podatke o trošenju. Ovaj problem se javlja zbog nekoliko razloga od kojih su ključni podatkovni silosi, odnosno složenost struktura podataka za različite organizacije i odjeljenja i nekonzistentni formati podataka (u različitim regionima i državama se koriste potpuno različiti formati podataka prilikom njihovog unosa). Ovo dovodi do otežane ekstrakcije vrijednosti iz podatkovnih resursa. Međutim, zahvaljujući partnerstvu sa SpendHQ, PepsiCo je stekla sveobuhvatnu vidljivost trošenja kroz jedan izvor istine. To nabavnom timu omogućuje da donosi brže odluke, zahvaljujući brzom pristupu podacima, uvidima, trendovima i obrascima trošenja. Proces koji je trajao šest sedmica sveden je na nekoliko minuta i konačni rezultat je poboljšanje mogućnosti maksimizacije vrijednosti iz odnosa s dobavljačima. Jedno drugo partnerstvo s WNS Procurement, pokrenulo je izvrsnost nabavke, što omogućuje da PepsiCo otkriva prilike za troškovne uštede, inženjering vrijednosti, diverzifikaciju dobavljača, poboljšanje efikasnosti, naprednog pronalaženja izvora i menadžmenta rizika.<sup>27</sup> Iz ugla kompanije DHL Express, koja posluje u 220 država, upošljava 120.000 radnika i ostvaruje prihod od 28,4 milijarde dolara, moderni lanci opskrbe se odlikuju rastućom složnošću, oblikovani su distancom, potražnjom i dekarbonizacijom. U središtu ove pojave se nalazi intermodalni transport, logistički model koji koristi više načina transporta, ali koji osigurava da teret ostane u istoj load jedinici cijelim putem. Kompanija DHL je kreirala program GoGreen Plus koji kupcima omogućuje da umanje emisiju ugljika povezano sa njihovim pošiljkama tako što će investirati u gorivo održive avijacije (SAF). Ovaj program omogućuje kupcima da posjeduju ekološke koristi bez fizičkog posjedovanja ovog goriva. Od ukupne globalne ponude SAF-a u 2023. godini, DHL je kupio 15%. Kada se koriste različiti prevoznici tokom putovanja, povećava se složenost u određivanju cijena, praćenju i odgovornosti. Za takve situacije rješenja nude kompanije poput DHL-a, koja nudi uslugu s-kraja-na-kraj osiguravajući potpunu vidljivost i ugljenično izvještavanje. Radi podrške ovim aktivnostima, DHL koristi digitalni alat Carbon Dashboard koji simulira različite opcije isporuke kako bi prikazao ekološki utjecaj. Pored toga, GoGreen portofolio uključuje praćenje emisija u stvarnom vremenu, pojedinačne ugljenične izvještaje i optimizacijske usluge, što sve pomaže preduzećima da odaberu najefikasniji i najodrživiji put za svoj teret.<sup>28</sup> Prikazani slučajevi odabrane četiri kompanije koje generišu ogroman volumen poslovnih operacija na godišnjem nivou jasno ilustruju da su zelene prakse zaživjele, te da kompanije koriste, u skladu sa svojim širim poslovnim ciljevima, mogućnosti digitalnih alata kako bi producirale što značajnije učinke. Slučajevi ilustruju složenost modernih lanaca opskrbe koji su u tipičnom slučaju izrazito dugi i sežu do različitih geografskih područja, što kompanije podstiče da ulažu napore u povezivanje putem digitalnih alata kako bi se stekla vidljivost nad dešavanjima u lancima opskrbe. Upravo na tom mjestu nastaju izazovi vezani za sajber sigurnost, a koji mogu lance opskrbe dovesti u stanje bespomoćnosti i ogromnih gubitaka, kao što to

<sup>26</sup> Pripremljeno na osnovu Tom Chapman: Driving digital supply chain transformation at Marelli, Supply chain digital, maj 2025, 138-149.

<sup>27</sup> Pripremljeno na osnovu Aaron McMillan: How digital transformation is empowering PepsiCo's procurement, Supply chain digital, april 2025, 50-65.

<sup>28</sup> Pripremljeno na osnovu Libby Hargreaves: Sustainable intermodal growth at DHL Express Malaysia, Supply chain digital, juni 2025, 104-113.



ilustruje niz sajber napada na trgovce na malo tokom uskršnjeg vikenda u UK.<sup>29</sup> Pored toga, iako prezentirani slučajevi jednoglasno promovišu upotrebu alata temeljenih na vještačkoj inteligenciji zbog ogromnih mogućnosti eksploatacije podatkovnih resursa u smislu otkrivanja uvida, znanja i obrazaca, dojam je da se u dovoljnoj mjeri ne obraća pažnja na energiju koju upotreba ovih alata zahtijeva.

## Zaključak

Kada je u pitanju pojamovno određenje, potrebno je razlikovati objektivno postojanje lanaca opskrbe kao tržišnog aktera od upravljanja lancima opskrbe. Prema stepenu u kojem je u upravljačkim procesima zastupljeno ekološko razmišljanje, može se govoriti o upravljanju tradicionalnim lancima opskrbe (naglasak na ekonomskim dimenzijama), upravljanju održivim lancima opskrbe (ekonomske, ekološke i socijalne dimenzije), upravljanju lancima opskrbe sa zatvorenom petljom (uključenost povratnih tokova u lancima opskrbe) i upravljanju zelenim lancima opskrbe (integriranje ekološkog razmišljanja u sve faze lanca opskrbe). Uključivanje ekoloških aspekata u procese odlučivanja u značajnoj mjeri je potaknuto regulatornim zahtjevima, posebno na području EU. Kako bi poboljšala vidljivost i transparentnost u lancima opskrbe sa svrhom ispunjenja sve rigoroznijih zahtjeva koji proizlaze iz regulatornih okvira, preduzeća posežu za digitalnim alatima, često pokretanim vještačkom inteligencijom. Rast potrebe za digitalnom povezanošću i digitalnim sadržajima za preduzeća povećava opasnosti od sajber napada, dok upotreba vještačke inteligencije, iako nudi obilje mogućnosti za eksploataciju ogromnih volumena podatkovnih resursa, zahtijeva energetske resurse koji se, dojam je, često zanemaruju kada je u pitanju evaluacija doprinosa digitalnih alata temeljenih na vještačkoj inteligenciji i zelenoj orijentaciji.

---

<sup>29</sup> Libby Hargreaves: UK cyberattacks: restoring retail resilience, Supply chain digital, juni 2025, 130-141.



## GREEN SUPPLY CHAINS: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES IN THE APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES

**Summary:** The supply chain, from the perspective of operations management, has evolved from traditional, through sustainable and closed loop, to green, reflecting the gradual growth of the importance of environmental awareness in all phases — from product design, procurement of raw materials, production and delivery, all the way to product disposal after the end of its life.

Taking account of environmental problems, whether motivated by a certain type of coercion due to the increase in the number of regulations that treat the observed area or by expected benefits, brings complete supply chains into a context characterized by new shades of complexity. In order for green supply chains to navigate successfully through environments where the new requirements of participants are current and to be distinguished, among other things, by visibility (supply chain visibility, SCV) and resilience, the question of applying digital technologies and tools such as the Internet of Things (IoT), blockchain technologies, cloud computing, autonomous vehicles, big data analytics, additive manufacturing, etc. opportunities and challenges in the application of digital technologies in the context of greening supply chains, accepting that supply chains by nature include activities that can negatively affect the environment. The expected contribution of the work is threefold. In the academic aspect, a contribution is made to the discussion on green topics in the economy and business of Bosnia and Herzegovina. In the practical aspect, economic actors in Bosnia and Herzegovina are introduced to green solutions applied in other economic environments. Finally, through the presentation of green regulations relevant to supply chains, a contribution is made to the policy-making processes in Bosnia and Herzegovina, especially in the context of the country's aspirations for EU membership.

**Keywords:** green supply chains, application of digital technologies, supply chain resilience, supply chain visibility, green supply chain performance

### Literatura

1. Ambalažni otpad, [https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/packaging-waste\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/packaging-waste_en)
2. Aaron McMillan: How digital transformation is empowering PepsiCo's procurement, Supply chain digital, april 2025.
3. Baterije, [https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/batteries\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/batteries_en)
4. Craig R. Carter, Dale S. Rogers: A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory, International journal of physical distribution & logistics management, Vol. 38 No. 5, 2008.
5. Direktiva o čistim vozilima, [https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/clean-transport/clean-and-energy-efficient-vehicles/clean-vehicles-directive\\_en](https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/clean-transport/clean-and-energy-efficient-vehicles/clean-vehicles-directive_en)
6. Direktiva o obnovljivoj energiji, [https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en)
7. ELV direktiva, [https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/end-life-vehicles\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/end-life-vehicles_en)
8. Imadeddine Oubrahim, Naoufal Sefiani, Ari Happonen: The influence of digital transformation and supply chain integration on overall sustainable supply chain performance: an empirical analysis from manufacturing companies in Morocco, Energies, Vol. 16, No. 2, 2023.

9. John T. Mentzer, William DeWitt, James S. Keebler, Soonhong Min, Nancy W. Nix, Carlo D. Smith, Zach G. Zacharia: Defining supply chain management, *Journal of business logistics*, Vol. 22, No. 2, 2001.
10. Joseph Sarkis, Mahtab Kouhizadeh, Qingyun Serena Zhu: Digitalization and the greening of supply chains, *Industrial management & data systems*, Vol. 121, No. 1, 2021.
11. Kee-hung Lai, Yunting Feng, Qinghua Zhu: Digital transformation for green supply chain innovation in manufacturing operations, *Transportation research part E: logistics and transportation review*, Vol. 175, 2023.
12. Laura V. Lerman, Guilherme Brittes Benitez, Julian M. Müller, Paulo Renato de Sousa, Alejandro German Frank: Smart green supply chain management: a configurational approach to enhance green performance through digital transformation, *Supply chain management: an international journal*, Vol. 27, No. 7, 2022.
13. Libby Hargreaves: Sustainable intermodal growth at DHL Express Malaysia, *Supply chain digital*, juni 2025.
14. Libby Hargreaves: UK cyberattacks: restoring retail resilience, *Supply chain digital*, juni 2025.
15. Lingdi Liu, Wenyan Song, Yang Liu: Leveraging digital capabilities toward a circular economy: reinforcing sustainable supply chain management with Industry 4.0 technologies, *Computers & industrial engineering*, Vol. 178, 2023.
16. Mahak Sharma, Rakesh D. Raut, Rajat Sehrawat, Alessio Ishizaka: Digitalisation of manufacturing operations: the influential role of organisational, social, environmental, and technological impediments, *Expert systems with applications*, Vol. 211, 2023.
17. Manoj Kumar Tiwari, Bopaya Bidanda, Joseph Geunes, Kiran Fernandes, Alexandre Dolgui: Supply chain digitisation and management, *International journal of production research*, Vol. 62, No. 8, 2024.
18. RoHS direktiva, [https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/rohs-directive\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/rohs-directive_en)
19. Samir K. Srivastava: Green supply-chain management: a state-of-the-art literature review, *International journal of management reviews*, Vol. 9, No. 1, 2007.
20. Samuel Fosso Wamba, Maciel M. Queiroz: Industry 4.0 and the supply chain digitalisation: a blockchain diffusion perspective, *Production planning & control*, Vol. 33, No. 2-3, 2022.
21. Stefan Seuring, Martin Müller: From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management, *Journal of cleaner production*, Vol. 16, No. 15, 2008.
22. Than Tiep Le, Quynh Phan Vo Nhu, Thy Bui Ngoc Bao, Linh Vu Nguyen Thao, Vijay Pereira: Digitalisation driving sustainable corporate performance: the mediation of green innovation and green supply chain management, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 446, 2024.
23. Tom Chapman: Driving digital supply chain transformation at Marelli, *Supply chain digital*, maj 2025.
24. Tom Chapman: Harnessing digital to drive supply chain sustainability, *Supply chain digital*, maj 2025.
25. V. Daniel R. Guide Jr, Luk N. Van Wassenhove: OR FORUM-The evolution of closed-loop supply chain research, *Operations research*, Vol. 57, No. 1, 2009.
26. Veljko M. Mijušković: Upravljanje zelenim lancem snabdevanja i povratnom logistikom, Centar za izdavačku delatnost – Ekonomski fakultet u Beogradu, Beograd 2019.
27. WEEE, [https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee_en)
28. Yi Wang, Yafei Yang, Zhaixiang Qin, Yafei Yang, Li Jun: A literature review on the application of digital technology in achieving green supply chain management, *Sustainability*, Vol. 15, No. 11, 2023.

# **E-FAKTURA KAO ALAT ZA DEKARBONIZACIJU RAČUNOVODSTVENIH PROCESA U B2B SEKTORU**

**dr. sc. Amra Gadžo, van. prof.**  
Ekonomski fakultet, Univerzitet u Tuzli

**dipl. ing. Nedžad Jupić**  
Računovodstvena agencija Cortex d. o. o. Tuzla

**Sažetak:** U savremenim uslovima poslovanja digitalna transformacija predstavlja ključni aspekt strateškog razvoja. Osigurava usklađivanje poslovnih praksi s principima održivog razvoja kroz smanjenje operativnih troškova, racionalizaciju procesa i smanjenje ekološkog otiska. U sklopu digitalne transformacije, elektronsko fakturisanje (eFaktura) u poslovanju između pravnih lica (B2B) dobija sve veći značaj. Stoga se u radu istražuje značaj systemske implementacije eFaktura na nacionalnom nivou u funkciji dekarbonizacije računovodstvenih procesa. Pri tome se moraju poštovati zahtjevi definisani Direktivom 2014/55/EU o elektronskom fakturisanju u javnim nabavkama, sveobuhvatan regulatorni okvir predviđen ViDA (VAT in the Digital Age) paketom Evropske unije, kao i tehničke smjernice prema EN 16931 standardu za elektronske fakture. Upravo EN 16931 standard, koji definiše zajedničke tehničke specifikacije za eFakture u EU, pruža osnovu za harmonizaciju elektronskog fakturiranja među zemljama, čime omogućava lakšu i efikasniju implementaciju sistema eFaktura i doprinosi smanjenju operativnih i ekoloških troškova.

Uvođenje eFakture omogućava značajno smanjenje emisije CO<sub>2</sub> eliminacijom papirne dokumentacije, fizičkog transporta i arhiviranja, čime se doprinosi smanjenju ukupnog karbonskog otiska računovodstvene funkcije. Poseban akcenat dat je analizi koristi koje bi uspostavljanje ovakvog sistema imalo za zemlje koje se nalaze u procesu fiskalne digitalizacije i harmonizacije s EU normama, kao što je slučaj i s Bosnom i Hercegovinom. Stoga, rad uključuje komparativni prikaz iskustava zemalja koje su već uspostavile obavezne režime eFakturisanja. Također, sumirani su rezultati relevantnih istraživanja koja kvantifikuju doprinos eFaktursanja smanjenju emisije štetnih gasova, kao i proračuni mogućih ušteda za nacionalnu ekonomiju.

**Ključne riječi:** eFaktura, dekarbonizacija računovodstvenih procesa, B2B sektor, Bosna i Hercegovina

## **Uvod**

Digitalna transformacija predstavlja integraciju digitalnih tehnologija u poslovne procese. Možemo je posmatrati na nivou svakog pojedinca i pojedinačnog preduzeća do međunarodne ekonomije i društva u cjelini. Njen značaj je višestruk, od toga da smanjuje troškove poslovanja, povećava produktivnost i kvalitet usluga do smanjenja ekološkog otiska i povećanja poštivanja principa održivog razvoja. Kada je u pitanju digitalna transformacija preduzeća, Evropska komisija predlaže da se do 2030. ostvare sljedeće ambicije (Evropska komisija, 2021): 75% evropskih preduzeća koristi se uslugama računarstva u oblaku, velikim količinama podataka i umjetnom inteligencijom, te više od 90% evropskih malih i srednjih preduzeća dosegne barem osnovni nivo digitalnog intenziteta. Pri tome Indeks digitalnog intenziteta (DII) je mikroindeks kojim se mjeri

dostupnost 12 različitih digitalnih tehnologija na nivou preduzeća: pristup internetu za najmanje 50% zaposlenih, dostupnost stručnjaka za IKT, brza širokopojasna veza (najmanje 30 Mb/s), mobilni internetski uređaji za najmanje 20% zaposlenih, internetske stranice, internetske stranice s naprednim funkcijama, društveni mediji, plaćeni oglasi na internetu; kupnja naprednih usluga računarstva u oblaku; slanje e-računa, promet od e-trgovine koji čini više od 1% ukupnog prometa i internetska prodaja potrošačima (B2C) koja čini više od 10% ukupne prodaje putem interneta (Evropska komisija, 2021). Uvođenje eFaktura se posmatra kao značajan aspekt digitalizacije u računovodstvenim procesima. Naime, eFaktura je digitalni oblik fakture koji omogućava automatizovanu, bržu i sigurniju razmjenu računovodstvenih podataka između poslovnih subjekata. Za razliku od PDF fakture, koja je u osnovi elektronska verzija papirne fakture i nije strukturirana za automatsku obradu, eFaktura je standardizovani dokument za mašinsko čitanje koji značajno olakšava integraciju u računovodstvene sisteme. Također je osnova povezivanja s blockchain tehnologijom. eFakture osiguravaju veću transparentnost u poslovnim procesima i omogućavaju bolji nadzor od strane poreznih uprava u pogledu ostvarenog prometa u realnom vremenu.

Cilj ovog istraživanja je analiza značaja systemske implementacije eFaktura na nivou Bosne i Hercegovine u funkciji digitalne transformacije i dekarbonizacije računovodstvenih procesa. Rad je strukturiran u tri dijela. U prvom dijelu se obrađuje regulatorni okvir i historijat uvođenja eFaktura. Drugi dio rada elaborira značaj eFaktura za dekarbonizaciju računovodstvenog procesa, a treći dio rada se bavi problematikom trenutnog stanja i perspektiva uvođenja eFaktura u Bosnu i Hercegovinu.

## **Regulatorni okvir za eFakture u EU**

Prve elektronske razmjene podataka počele su se primjenjivati još 1960-tih godina. Ta elektronska razmjena podataka se odvijala posredstvom sistema EDI (Electronic Data Interchange). EDI se sastoji od specifičnih metoda razmjene podataka koje su dogovorene od strane tijela za standardizaciju. Glavni EDI standardi su X12 (standardiziran od strane ANSI-American National Standards Institute i primarno korišten u Sjevernoj Americi) i EDIFACT (Electronic Data Interchange for Administration, Commerce and Transport, standardiziran od strane Ujedinjenih nacija i uglavnom korišten izvan SAD-a). Iz ovoga su razvijeni i brojni drugi standardi koji su bili kompleksni i često neujednačeni između različitih zemalja. Zbog toga je Evropska unija napravila pomak ka XML formatu jer omogućava čitanje i obradu dokumenata od strane različitih softverskih platformi. U konačnici, EU je donijela propis EN 16931 koji predstavlja evropski semantički standard za eFakture. Sve eFakture na području EU radi interoperabilnosti moraju biti usklađene s ovim propisom.

Uvođenje eFaktura u EU započelo je još 2014. godine Direktivom 2014/55/EU (Direktiva 2014/55/EU, 2014). Ovom Direktivom elektronsko fakturisanje je postalo obavezno u javnim nabavkama, tj. u transakcijama B2G. Implementacija eFaktura u javnim nabavkama je bila obavezna do 18. 4. 2019. godine, odnosno do 18. 4. 2020. godine uz izuzeće, za sve članice EU. Prednosti uvođenja idu od smanjenja administrativnih troškova preko veće transparentnosti javne potrošnje i ugovorenih cijena u javnim nabavkama do dekarbonizacije samog procesa fakturisanja kroz njihovu digitalizaciju. Pozitivna iskustva u pogledu nadzora nad eFakturama kao i njihov doprinos ciljevima održivog

razvoja, dovela su da uvođenja eFaktura u B2B sektor. Evropska komisija je još 2022. godine započela razvijanje novog paketa mjera u sklopu reforme sistema poreza na dodanu vrijednost (PDV-a) u EU. Ovaj paket mjera poznat pod nazivom ViDA (Value-Added Tax in the Digital Age) zvanično je usvojen 11. marta 2025. godine. Glavni cilj reforme PDV sistema u EU bili su značajni gubici u naplati PDV-a te potreba za pojednostavljenjem sistema prijave i plaćanja poreza. Prema VAT GAP izvještaju 2023, zemlje EU izgubile su 99 milijardi eura prihoda od PDV-a u 2020. godini. Konzervativne procjene ukazuju da se četvrtina tih izgubljenih prihoda može direktno pripisati prevarama povezanim s unutarevropskom trgovinom (VAT GAP report 2023). Ključne mjere koje su predviđene su uvođenje eFaktura u B2B poslovanje u prekograničnim transakcijama. To će omogućiti praćenje prometa od strane poreznih uprava u realnom vremenu. Također, platforme za kratkoročni najam smještaja i prevoz putnika će biti oporezovani sistemom PDV-a. To su platforme Airbnb, Booking.com, Uber i slično. Pored ovoga, uvodi se One Stop Shop (OSS) sistem prijave i plaćanja poreza na dodanu vrijednost. To je elektronski portal koji će omogućiti preduzećima da jednostavno prijave i plate PDV za prekograničnu prodaju roba i usluga unutar Evropske unije iz svoje matične države u kojoj su registrovani.

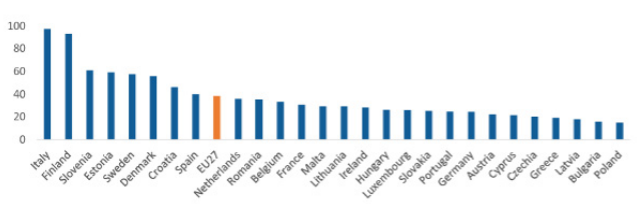
Uvođenjem eFaktura u B2B prekogranične transakcije spriječit će se tzv. karusel prevare. Očekuje se da će EU godišnje prikupiti do 18 milijardi eura više prihoda od PDV-a (Evropska komisija, Taxation and Customs Union). U Izvještaju VAT gap in the EU 2024 report (Evropska komisija, 2024) se navode procjene nenaplaćenog PDV-a po zemljama. Naprimjer, dok Finska naplati gotovo sav porez (samo 4% nenaplaćenog), Rumunija se suočava s ogromnim izazovima s čak 41% nenaplaćenog PDV-a. Karusel prevare su kružne prevare u prekograničnim transakcijama između više privrednih subjekata. Jedna kompanija izvozi robu po stopi PDV-a od 0%, kompanija koja uvozi i koja bi trebala platiti PDV ne plati ga (fiktivna firma), ali prodaje robu dalje kompaniji koja koristi ulazni PDV po tom osnovu. Uvođenjem eFaktura u prekogranične transakcije porezna uprava će moći pratiti prijavu poreza u realnom vremenu te će se osigurati bolja saradnja među poreznim upravama zemalja članica EU.

Prema Global List of Mandatory B2B E-invoicing Countries (2024) među EU zemljama koje su implementirale eFakture izdvajamo:

- Od 1. januara 2019. godine Italija je uvela obavezu elektronskog fakturisanja za sve B2B i B2C transakcije. Fakture se moraju dostavljati putem Sistema di Interscambio (SdI), platforme porezne uprave, u FatturaPA XML formatu.
- Od 1. jula 2021. godine Albanija je uvela obavezu elektronskog fakturisanja za sve B2B i B2C transakcije. Preduzeća moraju dostavljati e-fakture putem Centralnog informacionog sistema porezne uprave, čime se osigurava usklađenost s propisima o PDV-u. Ova obaveza se odnosi i na transakcije koje se obavljaju bezgotovinski i gotovinski.
- Od 1. januara 2024. godine Rumunija je uvela obavezno elektronsko fakturisanje za sva pravna lica registrovana za PDV koja učestvuju u B2B i B2G transakcijama. Preduzeća, kako rezidentna tako i nerezidentna, dužna su da fakture dostavljaju putem RO e-Factura platforme porezne uprave, čime se osigurava usklađenost s rumunskim propisima o PDV-u.
- Od 1. januara 2020. godine rezidentna preduzeća u Portugalu s prometom većim od 50.000 eura moraju koristiti certifikovani softver za fakturisanje koji je odobren od strane portugalske poreske uprave i pridržavati se SAF-T zahtjeva za elektronsko

dostavljanje podataka. Za nerezidentna preduzeća ova obaveza važi od 2021. godine. Većina država svijeta je trenutno u nekoj od faza implementacije eFakture. Od zemalja na Američkom kontinentu eFakture su implementirale: Brazil, Meksiko, Argentina i druge. Od azijskih zemalja to su: Indija, Malezija, Saudijska Arabija, Indonezija i druge. Od afričkih zemalja to su: Egipat, Kenija, Ruanda, Tanzanija, Zambija i druge.

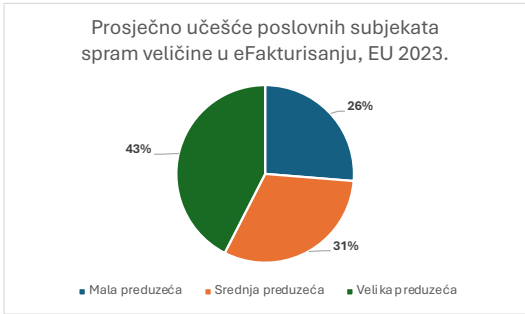
Prema Izvještaju Evropske komisije (Centre for European Policy Studies & Ernst and Young, 2024) zemlje koje u najvećoj mjeri primjenjuju eFakture su Italija i Finska, dok su zemlje koje imaju najniži rang u pogledu učešća poslovnih subjekata koji koriste eFakture Bugarska i Poljska (Slika 1). Razlozi ovakvog stanja leže u zakonskoj regulativi koja je u nekim zemljama obavezujuća, a u drugim dobrovoljna.



Slika 1 - Rang zemalja po učešću poslovnih subjekata koje šalju eFakture i EU 27, prosjek za 2023. g

Od EU zemalja u kojima je eFaktura već obavezna ili planirana da bude obavezna za B2B transakcije izdvajamo: Hrvatsku, Dansku, Estoniju, Finsku, Francusku, Italiju, Litvaniju, Luksemburg, Portugal, Rumuniju, Sloveniju, Španiju i Švedsku. Od zemalja u kojima je eFaktura parcijalno obavezujuća za B2B sektor izdvajamo: Austriju, Belgiju, Njemačku i Holandiju. U ostalim zemljama EU eFakturisanje za B2B sektor je moguće, ali nije obavezujuće.

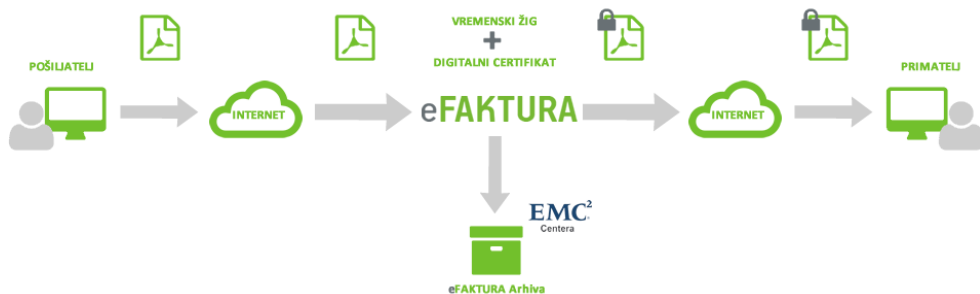
Prema Izvještaju Evropske komisije o efikasnosti Direktive 2014/55/EU (2024), cijene eFakture još uvijek su prepreka za mala i srednja preduzeća (MSP) u EU. Trošak po fakturi varira zavisno od vrste softverskog rješenja ili usluge koju privredni subjekat koristi, da li se plaća po fakturi ili postoji godišnja/fiksna naknada, obaveze dodatnih plaćanja za podršku, integraciju, nadogradnju sistema i broja faktura koje firma godišnje šalje. Troškovi variraju od 0,05 EUR (ako postoji veća fiksna startna naknada), do 0,30 EUR (uz godišnje članarine), pa čak i do 10 EUR za poslovne subjekte s vrlo malim brojem faktura. Učešće poslovnih subjekata u eFakturisanju spram njihove veličine, utvrđeno na bazi prosjeka za EU u 2023. godini, je prikazano na Slici 2.



Slika 2 - Učešće poslovnih subjekata spram veličine u eFakturisanju

## Značaj eFaktura u funkciji dekarbonizacije računovodstvenih procesa

Sam proces kreiranja i slanja eFakture otkriva koliko je ovaj proces pojednostavljen u odnosu na klasični način slanja printane fakture do kupce. Na Slici 3 prikazan je način slanja i arhiviranja eFaktura u Hrvatskoj. Pošiljatelj kreira eFakturu, nakon toga je šalje specijaliziranim kanalom do platforme porezne uprave. U tom procesu se koristi SSL/TLS enkripcija za zaštitu. Prije nego što faktura stigne do primatelja, ona se potpisuje digitalnim certifikatom (dokazuje identitet pošiljatelja) i dodaje se vremenski žig (dokaz kada je faktura poslana, za pravnu sigurnost). Nakon toga, faktura se šalje primatelju te ujedno i pamti u arhivu eFaktura gdje će se čuvati minimalno 10 godina. Većina zemalja je propisala čuvanje od 11 godina.



Slika 3 - Proces slanja i arhiviranja eFaktura

Faktura se osigurava elektronskim potpisom, digitalnim certifikatom i vremenskim žigom (TSA – Time Stamping Authority). Pored toga, u nekim zemljama eFaktura posjeduje i jedinstveni identifikator dokumenta ili QR kod. Kada je u pitanju arhiviranje eFaktura, u nekim zemljama (npr. Italija i Srbija) porezna uprava vodi arhivu. S druge strane, u nekim zemljama (npr. Hrvatska, Njemačka, Slovenija) usluge arhiviranja pružaju privatni servisi. Evropska komisija vodi javno dostupnu listu EU/EEA Trusted List Browser pružatelja usluga od povjerenja (Trust Service Providers – TSP). To su firme koje nude digitalne usluge kao što su digitalni certifikat, vremenski žig, sigurno čuvanje e-dokumenata i slično. Vođenje ove liste vezano je za regulative eIDAS (Electronic Identification, Authentication and Trust Services, Uredba br. 910/2014 Evropskog parlamenta i Vijeća, 2014.) i EUDI (European Digital Identity Framework, EUDI regulativa i Uredba br. 2024/1183 Evropskog parlamenta i Vijeća, 2024).

Dekarbonizacija računovodstvene funkcije kroz sistem eFaktura se odnosi na smanjenje emisije CO<sub>2</sub> kroz eliminaciju papirne dokumentacije, transporta i papirne arhive. Proces fakturisanja se digitalizira što omogućava i bolju integraciju u softverska rješenja za računovodstvo. Ujedno predstavlja osnovu automatizacije knjiženja i uvođenja AI alata u računovodstvene analize i interpretacije. Na Slici 4 su prikazane uštede sistema eFaktura u odnosu na tradicionalno papirnatu slanje. Uštede se odnose na smanjenje operativnih troškova preduzeća te u isto vrijeme i smanjenje ekološkog otiska računovodstvene funkcije. Drugim riječima, osiguravaju se finansijski i ekološki benefiti za preduzeća. S druge strane, država ima bolji nadzor nad poreznim sistemom te osigurava bolju naplatu javnih prihoda za općedrušvenu korist.





Slika 4 - Uštede sistema eFakturisanja

Prema istraživanju Tenhunen & Penttinen (2010), prelazak s papirnog na elektronsko fakturisanje smanjuje karbonski otisak jedne fakture tokom životnog ciklusa za 63%. Razlozi su eliminacije nepotrebnog ručnog rada, materijala i transporta i to što je fakture strukturirana u posebnom formatu (nije nestrukturirani elektronski format kao npr. PDF fajl). Karbonski otisak je mjera ukupne količine gasova s efektom staklene bašte koji su direktno ili indirektno emitovani od strane osobe, firme, proizvođača, ili neke druge posmatrane jedinice izražena u ekvivalentu ugljen-dioksida ( $\text{CO}_2\text{e}$ ). Prema istraživanju Tenhunen & Penttinen (2010), karbonski otisak papirne fakture iznosi: za zaprimljenu fakturu 214,62 g  $\text{CO}_2$ , dok za poslatu iznosi 336,66 g  $\text{CO}_2$ . S druge strane, karbonski otisak primljene eFakture iznosi 48,39 g  $\text{CO}_2$ , a poslane 154,82 g  $\text{CO}_2$ . Prema istraživanju Hoorik et al. (2010), za 10 miliona faktura koje preduzeća godišnje šalju javnoj upravi (B2G) u Holandiji, ušteda energije iznosi oko 3 TJ, a smanjenje emisije skoro 200 tona  $\text{CO}_2$  – što odgovara potrošnji gasa za oko 55 domaćinstava ili emisiji  $\text{CO}_2$  koju proizvede 20 prosječnih građana. Prema istraživanju Bojanc, Pucihar & Lenart (2024), procjenjuje se da Evropa može smanjiti za oko 1 milion tona  $\text{CO}_2$  godišnje kroz prelazak na e-fakturiranje (otprilike 30 milijardi faktura godišnje), prvenstveno smanjenjem upotrebe papira i energetske troškove za transport. Čak i uz konzervativne pretpostavke, ušteda emisije digitalizacijom jedne kompletne trgovinske transakcije jednaka je sadnji 1,5 stabala. Za Aziju i Pacifik to implicira uštede od oko 13 miliona tona  $\text{CO}_2\text{e}$  godišnje, što je ekvivalentno ugljeniku koji apsorbuje 400 miliona stabala (Duval & Hardy, 2021). Agcom - talijanski regulatorni organ za komunikacije izvještava (2023) da je tradicionalna pošta (kovrte, pisma) u Italiji pala za 31,6 % u posljednjih pet godina – s 3.15 milijarde pošiljki u 2018. na 2.158 milijarde u 2022. Ovo je rezultat uvođenja eFakture, čime se ostvaruju znatne uštede u emisiji  $\text{CO}_2$  u fazi transporta. Prema Tinexta Infocert (2024), koji je upravljao procesima e-fakturisanja za više od 61.000 preduzeća, što je rezultiralo obradom 186 miliona e-fakture putem rješenja Legalinvoice u Italiji u 2023. godini. Ovaj prelazak na digitalne fakture doveo je do značajnih ušteda u pogledu zaštite okoliša, uključujući spašavanje oko milion stabala od sječe i smanjenje emisije  $\text{CO}_2$  za približno 8.000 tona. Ovo smanjenje emisije  $\text{CO}_2$  ekvivalentno je emisijama koje proizvodi skoro 6.500 malih automobila koji godišnje pređu po 10.000 km.

Prema saopštenju za javnost Evropske komisije (2019), procjena je da je tokom perioda 2015-2017. korištenjem eFakture rezultiralo uštedama od 920 miliona EUR.

### Uvođenje eFakture u BiH i izazovi u procesu fiskalne digitalizacije

U našoj zemlji ne postoji jedinstvena legislativa koja bi regulisala eFakture na području

Bosne i Hercegovine. U Federaciji BiH usvojen je Nacrt Zakona o fiskalizaciji koji predviđa uvođenje eFakture, a čije se usvajanja očekuje u toku 2025. godine. U Republici Srpskoj ne postoji zakon koji reguliše eFakture, a trenutno je na snazi Zakon o fiskalizaciji koji reguliše fiskalizaciju maloprodajnih računa u realnom vremenu. Novi zakon o fiskalizaciji FBiH predviđa uvođenje elektronskih fiskalnih sistema (EFS) i eFaktura, zatim uspostavljanje centralne platforme za fiskalizaciju (CPF), jedinstveni verifikacioni broj (VBR) kao i sigurnosni broj računa (SBR). U članu 12. Nacrta Zakona definisan je sadržaj eFaktura, dok je članom 15. definisano da se u transakcijama s javnim organima izdaju, šalju i prihvataju kao eFakture.

Predloženim Nacrtom Zakona mijenja se u tehničkom pogledu cjelokupan sistem fiskalizacije u FBiH. Bit će potrebna značajna novčana sredstva za njegovo uspostavljanje. Za izgradnju ili kupovinu Centralne platforme za fiskalizaciju, prema procijenjenoj vrijednosti od strane Ministarstva finansija, troškovi bi iznosili oko 49 miliona KM. Ukoliko se Vlada Federacije BiH opredijeli za subvencioniranje sigurnosnih modula, kao tehničkog elementa novog sistema fiskalizacije koji će komunicirati sa CPF, procijenjeni trošak bi iznosio oko 45 miliona KM za oko 103.000 korisnika. S druge strane, Porezna uprava RS-a je već raspisala tender u iznosu od 37 miliona KM za nabavku novog sistema fiskalizacije, dok bi trošak nabavke ili subvencioniranja uređaja bio oko 13 miliona KM za oko 40.000 korisnika (Glas Srpske, 2021).

Prema zvaničnim podacima Porezne uprave Federacije BiH, u 2024. godini evidentiran je ukupan promet putem fiskalnih uređaja u iznosu od 68.011.111.999,22 KM. U ovom prometu učestvuju svi fiskalni uređaji kako u transakcijama B2C, tako i u B2B i B2G sektoru. S obzirom na to da najveći broj fiskalnih računa potječe iz B2C transakcija, možemo napraviti jednostavnu i konzervativnu pretpostavku da na B2B i B2G transakcije otpada cca 8% ukupnog broja transakcija. Uzimajući u obzir prosječnu vrijednost od 2.000 KM po transakciji, dolazimo do procjene da je u toku 2024. godine izdato oko 2,72 miliona faktura u te svrhe. S obzirom da se faktura izdaje najmanje u 2 primjerka (jedan za kupca i jedan za potrebe internog računovodstvenog evidentiranja i arhiviranja), to je oko 5,44 miliona papirnih faktura godišnje koje se printaju na klasičnom A4 formatu. Poznato je da se od jednog stabla može proizvesti u prosjeku oko 8.000 listova standardnog A4 papira. To znači da je samo za potrebe izdavanja faktura u B2B i B2G sektoru u Federaciji BiH, prema ovoj konzervativnoj procjeni, potrebno približno 680 stabala u jednoj godini. Za jednu tonu papira koristi se u prosjeku 3,5 m<sup>3</sup> sirovog drvnog materijala (Ervasti, 2016). Poređenja radi, u 2024. godini prodato je 3.546.951 m<sup>3</sup> drvnog asortimana iz šuma u BiH (Agencija za statistiku BiH, 2025). Ukupna proizvodnja papira i kartona u 2024. godini dostigla je 77,8 miliona tona, uz zabilježen porast u većini kategorija papira i kartona u svim zemljama članicama CEPI - Confederation of European Paper Industries (Cepi Preliminary Statistics, 2024).

Kada je u pitanju spremnost poslovnih subjekata za uvođenje eFaktura u BiH, prema posljednjem dostupnom izvještaju (WB DESI 2022 Report), napredne tehnologije se skromno koriste u bosanskohercegovačkim preduzećima: 7% koristi cloud rješenja, 4% koristi big data, a 2% koristi vještačku inteligenciju (AI). E-fakture koristi 19% preduzeća, što je veća stopa korištenja u poređenju s prosjekom Zapadnog Balkana. Kada je riječ o IKT-u za ekološku održivost, 54% preduzeća koristi IKT u svrhu zaštite okoliša, dok je prosjek Zapadnog Balkana 56%. Prema istraživanju Jupić & Gadžo (2025), kada

je u pitanju digitalna zrelost računovodstva, tj. nivo u kome su digitalne tehnologije i AI integrisani u računovodstvene procese: 23,2% ispitanika (MSP u BiH) smatra da se nalazi u početnoj fazi (procesi su pretežno ručni, bez standardizacije), 39,4% ispitanika smatra da su u drugoj fazi razvoja “digitalno svjesni” (prepoznata je potreba za digitalizacijom i pokrenute su osnovne inicijative), 27,3% smatra da su u trećoj fazi “digitalno aktivni” (uvedeni digitalni alati, djelimična automatizacija), 8,1% ispitanika smatra da su u četvrtoj fazi “napredno digitalni” (integrisani sistemi i analitika, visoka efikasnost) i svega 2% ispitanika smatra da su u petoj fazi “inovativna” (koriste AI, prediktivnu analitiku, ima strateški utjecaj).

Pored nedovoljnog korištenja naprednih tehnologija od strane poslovnih subjekata u BiH, za uvođenje eFaktura postoji i niz drugih prepreka koje je potrebno prevazići. Bosna i Hercegovina nema usvojen jedinstven tehnički standard za eFakture, pa tako ni Evropski standard EN 16931. Softveri u kojima se izrađuju fakture uglavnom formiraju PDF format za razmjenu faktura. Zahtijevani XML format za eFakture se rijetko koristi za izradu faktura trenutno u praksi. Međutim, trenutno se XML format koristi za izradu određenih dokumenata i izvještaja za potrebe entitetskih poreznih uprava i Uprave za indirektno oporezivanje BiH. Potrebno je da pri uvođenju eFaktura u BiH bude propisan tehnički standard koji će biti interoperabilan sa sistemima EU. Naime, PEPPOL (Pan-European Public Procurement Online) je međunarodna mreža i standard koji omogućava sigurnu i interoperabilnu razmjenu e-dokumenata (poput eFaktura, narudžbenica, otpremnica) između poslovnih subjekata i javnih institucija u različitim državama. PEPPOL koristi evropski standard EN 16931 za eFakture, zajedničku infrastrukturu dostupnu preko tzv. Access Point čvorova i definisane procedure za validaciju i sigurnost podataka. Iako EU ne propisuje direktno ni jednom svojom regulativom obavezu korištenja PEPPOL mreže (postoje i druge: EDI mreže, GS1 mreža i druge nacionalne) ona je trenutno najprihvaćenija. Ukoliko bosanskohercegovačke firme žele sarađivati s firmama i institucijama iz EU, Norveške, Švicarske, Velike Britanije i drugih zemalja koje koriste PEPPOL, onda naše eFakture moraju biti kompatibilne s tom mrežom. Kompatibilnost s PEPPOL-om znači da bosanskohercegovačke firme mogu učestvovati u javnim nabavkama i poslovnim procesima u EU bez dodatnih tehničkih prepreka. Ukoliko BiH razvije tehničko rješenje koje nije kompatibilno s PEPPOL-om, dugoročno će morati praviti dodatne tehničke prilagodbe, što će povećati troškove kako za državu, tako i za privredu. Potrebno je voditi računa da uvođenje sistema eFaktura bude usklađen s EN 16931 i kompatibilan s PEPPOL-om.

Druga značajna prepreka uvođenju eFaktura i fiskalnoj digitalizaciji će biti nedovoljna harmonizacija između FBiH, RS-a i Brčko Distrikta. Za funkcionalnost novog sistema, uz što niže buduće troškove i sa što manje komplikacija u tehničkim rješenjima, bit će potrebno da BiH ima jedinstven ili u potpunosti harmonizovan sistem među entitetima. Stoga, kao glavne preporuke za uspješnu implementaciju eFaktura i fiskalnu digitalizaciju u BiH možemo sumirati sljedeće:

- Promovisati prednosti eFaktura.
- Osigurati bolju saradnju između entiteta FBiH, RS i BD u cilju harmonizacije tehničkih rješenja.
- Usvajanje jedinstvenog tehničkog standarda EN 16931, XML format i kompatibilnost s PEPPOL mrežom.
- Vlada treba snositi troškove inicijalne fiskalizacije obaveznika u FBiH, RS i BD.

- Obavezati se na primjenu novog sistema prvo u B2G transakcijama, a onda u kasnijoj fazi i u B2B transakcijama.
- Osigurati postepenu fazu implementacije koja će podrazumijevati uvođenje prvo velikih preduzeća u sistem, zatim srednjih, malih i mikro, freelancere i obrte.

Proces koji predstoji u pogledu uvođenja eFaktura i fiskalne digitalizacije je neminovan, ali svi zajedno trebamo raditi na što uspješnijem i bezbolnijem prelasku na novi sistem. U tom pogledu potreban je zajednički rad nadležnih organa, akademske zajednice, poslovnih subjekata i IT sektora kako bi se osiguralo da rješenja budu tehnički izvodiva, zakonski utemeljena i prilagođena kapacitetima domaće privrede. Samo kroz koordiniran i inkluzivan pristup može se osigurati efikasna digitalna transformacija fiskalnog sistema te osigurati dugoročne koristi za privredu i javni sektor u Bosni i Hercegovini.

## **Zaključak**

Prelazak na eFakture donosi značajne ekološke i ekonomske koristi. Osim što povećava transparentnost i smanjuje rizik od poreske evazije, implementacija eFaktura predstavlja ključni doprinos dekarbonizaciji računovodstvenih procesa. Uštede se ogledaju u smanjenju potrošnje papira, tonera, koverata, usluga slanja faktura, njihovog arhiviranja i slično. Digitalizacija eFaktura omogućava bolju automatizaciju samog procesa knjiženja i osnova su uvođenja AI alata u računovodstveno-informacione sisteme. Javna uprava i privredni subjekti u Bosni i Hercegovini dužni su se organizovano i sistemski uključiti u primjenu savremenih tehnoloških rješenja. Ona su neophodna za efikasno i neometano učešće na globalnom tržištu. Izbjegavanje digitalnih inovacija neizbježno vodi ka tržišnoj izolaciji, što predstavlja neprihvatljivu alternativu.

Uvođenje eFaktura u BiH je u fazi početka s brojnim predstojećim izazovima koje je potrebno prevazići. Dosadašnja praksa je pokazala mogućnost uspješnog prilagođavanja savremenim tržišnim zahtjevima, pa ni eFakture neće biti izuzetak. Dodatno, koncept Quadruple Helix modela, koji uključuje saradnju između četiri ključna aktera: akademskog sektora, privrede, vlade i civilnog društva i medija, pruža održiv okvir za podršku digitalnoj transformaciji. U ovom modelu, univerziteti generišu znanje, industrija uvodi inovacije, javna administracija kreira regulative i infrastrukturu podršku, dok civilno društvo i mediji igraju ključnu ulogu u stvaranju javnog konsenzusa o važnosti digitalnih promjena. Ova sinergija osigurava inkluzivnost procesa i povećava vjerodostojnost i prihvaćenost reformi u širem društvenom kontekstu.

Preporuka za buduće istraživanje bi bila utvrditi prosječan broj faktura koji izdaju velika, srednja, mala i mikro preduzeća u BiH, kao i njihovu prosječnu vrijednost, kako bi se tačnije izvršila procjena utjecaja uvođenja eFaktura na dekarbonizaciju računovodstvenih procesa.

## E-INVOICING AS A TOOL FOR THE DECARBONISATION OF ACCOUNTING PROCESSES

**Summary:** In contemporary business environments, digital transformation constitutes a cornerstone of strategic development. It ensures the alignment of corporate practices with the principles of sustainable development by reducing operational costs, streamlining processes, and diminishing the ecological footprint. Within this broader framework of digital transformation, electronic invoicing (eInvoicing) in business-to-business (B2B) transactions is gaining increasing prominence. Accordingly, this paper examines the significance of systematic implementation of eInvoicing at the national level as a mechanism for decarbonising accounting processes. Such implementation must duly observe the requirements set forth in Directive 2014/55/EU on electronic invoicing in public procurement, the comprehensive regulatory framework envisaged by the EU's VAT in the Digital Age (ViDA) package, as well as the technical guidelines prescribed by the EN 16931 standard for electronic invoices. The EN 16931 standard, which establishes a common technical specification for eInvoices across the EU, provides the foundation for harmonisation of eInvoicing practices among member states, thereby facilitating more efficient system adoption and contributing to the reduction of both operational and environmental costs. The adoption of eInvoicing enables a substantial reduction in CO<sub>2</sub> emissions by eliminating the use of paper documentation, physical transport, and storage, thus directly reducing the carbon footprint of the accounting function. Particular emphasis is placed on the analysis of benefits that such systems may offer to countries undergoing fiscal digitalisation and striving to align with EU standards, as is currently the case with Bosnia and Herzegovina. Accordingly, the paper includes a comparative overview of countries that have already established mandatory eInvoicing regimes. In addition, it synthesises findings from relevant empirical research quantifying the environmental benefits of eInvoicing, alongside estimates of potential savings for the national economy.

**Keywords:** eInvoicing, decarbonisation of accounting processes, B2B sector, Bosnia and Herzegovina.

### Literatura

1. Agcom (2023). Izvještaj: Poste, Amazon, Dhl, Brt and more, what happens to the parcel market. Agcom Report. Dostupan na: [https://www.vogon.today/startmag/poste-amazon-dhl-brt-and-more-what-happens-to-the-parcel-market-agcom-report/2023/09/11/?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.vogon.today/startmag/poste-amazon-dhl-brt-and-more-what-happens-to-the-parcel-market-agcom-report/2023/09/11/?utm_source=chatgpt.com)
2. Agencija za statistiku BiH (2025). Saopštenje za javnost: POLJOPRIVREDA I ŠUMARSTVO. Dostupno na: [https://bhas.gov.ba/data/Publikacije/Saopstenja/2025/FOR\\_03\\_2024\\_Y1\\_1\\_BS.pdf](https://bhas.gov.ba/data/Publikacije/Saopstenja/2025/FOR_03_2024_Y1_1_BS.pdf)
3. BOJANC, R., PUCIHAR, A. & LENART, G. (2024). E-invoicing: A Catalyst for Digitalization and Sustainability. Organizacija, Volume 57. DOI: 10.2478/orga-2024-0001
4. Centre for European Policy Studies & Ernst and Young (2024). EU Payment Observatory How electronic invoicing helps reduce late payments in commercial transactions 3rd Thematic Report. Dostupno na: [https://single-market-economy.ec.europa.eu/document/download/8970b069-89d5-4153-a417-fcd908988ca7\\_en?filename=E-invoicing%20Thematic%20Report\\_Final\\_N.pdf](https://single-market-economy.ec.europa.eu/document/download/8970b069-89d5-4153-a417-fcd908988ca7_en?filename=E-invoicing%20Thematic%20Report_Final_N.pdf)
5. Cepi Preliminary Statistics (2024). PRELIMINARY 4 European pulp & paper industry. Dostupno na: <https://www.cepi.org/wp-content/uploads/2025/02/FINAL-Cepi-Preliminary-Statistics-2024.pdf>
6. Direktiva 2014/55/EU (2014). DIREKTIVA 2014/55/EU EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA o elektroničkomizdavanjuračuna u javnoj nabavi. Dostupno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TEXT/HTML/?uri=CELEX:32014L0055>

7. Duval, Y., & Hardy, S. (2021). Climate Change and Trade Facilitation: Estimating Greenhouse Gas Emission Savings from Implementation of Cross-Border Paperless Trade in Asia and the Pacific. *Journal of Asian Economic Integration*, 3(2), 190-210. <https://doi.org/10.1177/26316846211035567> (Original work published 2021)
8. Ervasti I. (2016). Wood fiber contents of different materials in the paper industry material chain expressed in roundwood equivalents (RWEs). *Silva Fennica* vol. 50 no. 4 article id 1611. 21 p. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1611>.
9. EU/EEA Trusted List Browser. Dostupnna: eIDAS Dashboard
10. European Commission: Directorate-General for Taxation and Customs Union, Center for Social and Economic Research (CASE), Oxford Economics, Syntesia, Bonch-Osmolovskiy, M. et al., VAT gap in the EU – 2024 report, Poniatowski, G.(editor), Publications Office of the European Union, 2024, <https://data.europa.eu/doi/10.2778/2476549>
11. Evropskakomisija, European Digital Identity (EUDI) Regulation. Dostupnna: European Digital Identity (EUDI) Regulation | Shaping Europe's digital future
12. Evropska komisija (2021). KOMUNIKACIJA KOMISIJE EUROPSKOM PARLAMENTU, VIJEĆU, EUROPSKOM GOSPODARSKOM I SOCIJALNOM ODBORU I ODBORU REGIJA -Digitalni kompas 2030.: europski pristup za digitalno desetljeće. Dostupnnaeur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021DC0118
13. Evropska komisija, REPORT FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL on the effects of Directive 2014/55/EU on the Internal Market and on the uptake of electronic invoicing in public procurement (2024). Dostupno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52024DC0072>
14. Evropskakomisija, Taxation and Customs Union. VAT in the Digital Age (ViDA). Dostupnna: VAT in the Digital Age (ViDA) - European Commission
15. Glas Srpske (2021). Novi sistem za upravljanje fiskalizacijom: Biće omogućeno praćenje cjelokupne robe i usluga. Dostupno na: Novi sistem za upravljanje fiskalizacijom: Biće omogućeno praćenje cjelokupne robe i usluga - Glas Srpske
16. Global List of Mandatory B2B E-invoicing Countries (2024). Dostupnna: Blog | Global List of Mandatory B2B E-invoicing Countries (2024)
17. Hoorik, P.V., Harmelen, T.V., Head, M.J., &Meulenhoff, P.J. (2010). Energie- en CO2-besparing door elektronischfactureren.
18. Infocert (2024). The link between €8 billion in uncollected VAT and CO2 emissions. Dostupno na: [https://infocert.digital/press-releases/the-link-between-e8-billion-in-uncollected-vat-and-co2-emissions/?utm\\_source=chatgpt.com](https://infocert.digital/press-releases/the-link-between-e8-billion-in-uncollected-vat-and-co2-emissions/?utm_source=chatgpt.com)
19. Jupić, N., Gadžo, A. (2025). ENHANCING SMALL AND MEDIUM ENTERPRISE PERFORMANCE THROUGH ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTEGRATION IN ACCOUNTING. Naučnakonferencijasa-međunarodnimučesćem, Univerzitet u NovomPazaru, Novi Pazar, Srbija, 3.6.2025. godine.
20. Saopštenju za javnost Evropske komisije (2019). eInvoicing: New electronic invoicing standard facilitates public procurement contracts in Europe, dostupnna: [https://single-market-economy.ec.europa.eu/news/einvoicing-new-electronic-invoicing-standard-facilitates-public-procurement-contracts-europe-2019-04-17\\_en?utm\\_source=chatgpt.com](https://single-market-economy.ec.europa.eu/news/einvoicing-new-electronic-invoicing-standard-facilitates-public-procurement-contracts-europe-2019-04-17_en?utm_source=chatgpt.com)
21. Scanse. (n.d.). How much paper comes from one tree?Scanse. Retrieved June 10, 2025, from <https://scanse.io/blog/how-much-paper-comes-from-one-tree/>
22. Tenhunen, Maija and Penttinen, Esko, "Assessing the Carbon Footprint of Paper vs. Electronic Invoicing" (2010). ACIS 2010 Proceedings. 95. <https://aisel.aisnet.org/acis2010/95>
23. UREDBA (EU) 2024/1183 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA (2024). Dostupno na: Uredba - EU - 2024/1183 - EN - EUR-Lex
24. UREDBA (EU) br. 910/2014 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA (2014). Dostupno na: L\_2014257HR.01007301.xml
25. VAT GAP REPORT 2023. Dostupno na: [https://taxation-customs.ec.europa.eu/system/files/2023-10/VAT%20Gap%20Report%202023\\_0.pdf](https://taxation-customs.ec.europa.eu/system/files/2023-10/VAT%20Gap%20Report%202023_0.pdf)
26. WB DESI 2022 Report. WESTERN BALKANS DIGITAL ECONOMY SOCIETY INDEX • WB DESI 2022 Report, Regional Cooperation Council, 2022. Available at: <https://www.rcc.int/pubs/159/western-balkans-digital-economy-society-index-wb-desi-2022-report>

# **DIGITALNA TRANSFORMACIJA RADNOG MJESTA KAO POKRETAČ ODRŽIVOSTI I ZELENE EKONOMIJE: LEKCIJE IZ POSTPANDEMIJSKOG DOBA**

**doc. dr. Ljubiša Mičić**

Ekonomski fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci

**Sažetak:** U radu se istražuje kako digitalna transformacija radnog mjesta, ubrzana pandemijom COVID-19, podržava održivost i rast zelene ekonomije. Kroz rad se ističu prednosti poput nižih troškova, fleksibilnog rada i smanjenih emisija CO<sub>2</sub>, uz izazove poput ulaganja u tehnologiju i kibernetičke sigurnosti. Na osnovu pregleda literature, rad nudi preporuke za politike za održivi razvoj.

**Ključne riječi:** digitalna transformacija radnog mjesta, zelena ekonomija, održivost, pandemija COVID-19

## **Uvod**

Kriza izazvana pandemijom COVID-19 značajno je ubrzala digitalnu transformaciju radnog mjesta. Prije pandemije, usvajanje digitalnih tehnologija bilo je postepeno i neujednačeno. Međutim, početkom 2020. godine organizacije širom svijeta bile su prisiljene da brzo pređu na rad na daljinu. Gotovo 40% radnika u EU prešlo je na rad na daljinu s punim radnim vremenom tokom aprila 2020. godine, u poređenju s manje od 5% u jugoistočnoj Evropi prije pandemije (Milasi et al., 2020). Ovo je saželo godine digitalnih promjena u mjesec. Kao što je primijetio izvršni direktor IBM-a, transformacija za koju se očekivalo da će trajati godinama dogodila se u djeliću vremena (Gillin, 2020). Mnoge kompanije u jugoistočnoj Evropi prvi put su usvojile hibridni i rad na daljinu, označavajući fundamentalnu promjenu u organizaciji rada. Kako se kriza razvijala, postalo je jasno da ove promjene nisu bile privremene. Pojavila se “nova normalnost” koja je kombinovala rad na daljinu i u kancelariji, uz podršku digitalnih alata i radnih procesa. U radu se istražuje kako digitalna transformacija radnog mjesta u postpandemijskom dobu doprinosi održivosti i zelenom rastu. Procjenjujemo ekonomske, društvene i ekološke uticaje, ispitujuemo izazove i nudimo strategije za iskorištavanje digitalnih promjena za podršku ciljevima održivog razvoja. Digitalna transformacija radnog mjesta uključuje rad na daljinu, saradnju u oblaku, automatizaciju i razvoj organizacijskih kultura – a sve to mijenja budućnost rada.

## **Pandemija kao akcelerator promjena**

Prije 2020. godine rad na daljinu je, uglavnom, bio ograničen na tehnološki napredne sektore i visokokvalifikovane stručnjake, ali globalne mjere zatvaranja u martu 2020. godine izazvale su brzi i veliki prelazak na rad na daljinu. Otprilike dva od pet radnika u EU radilo je od kuće tokom rane pandemije (Milasi et al., 2020), dok je u jugoistočnoj Evropi došlo do porasta rada na daljinu sa skoro 0% na oko 10% (Eurostat, 2022). Mnoge firme su u roku od nekoliko sedmica usvojile usluge u oblaku i digitalne tokove rada, otkrivajući da je više poslova bilo moguće raditi na daljinu nego što se očekivalo i ističući otpornost digitalizovanih organizacija. Prema IBM-u (2020), 59% kompanija prijavilo je ubranu digitalnu transformaciju tokom krize prevazilazeći prethodni otpor promjenama. Ova promjena proširila se izvan tehnologije i uključivala je kulturne

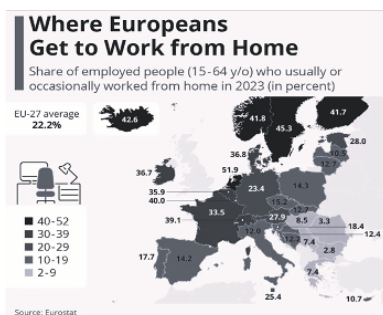


i organizacijske reforme, jer su kompanije prilagođavale tokove rada, uspostavljale politike rada na daljinu i prešle na upravljanje orijentisano na rezultate. Do kraja 2020. i 2021. godine mnogi rukovodioci su planirali održavanje hibridnih modela rada i daljnja ulaganja u digitalne alate (IBM, 2020), što pokazuje da je digitalna transformacija radnog mjesta uzrokovana pandemijom postala trajna promjena u načinu poslovanja preduzeća.

## Ključne komponente digitalnog radnog mjesta

Digitalno radno mjesto obuhvata tehnologije i okruženje koje omogućava zaposlenima da sarađuju, komuniciraju i obavljaju svoje uloge u digitalnom svijetu, besprijekorno se proširujući izvan fizičke kancelarije. Njegove ključne komponente uključuju:

Modeli rada na daljinu i hibridni modeli: Fleksibilni aranžmani u kojima zaposleni rade od kuće ili u drugim lokacijama (na daljinu) dio ili cijelo vrijeme, u kombinaciji s povremenim radom uživo (hibrid). Ovaj model postao je uobičajen nakon 2020. godine, a mnoge organizacije su uspostavile formalne politike hibridnog rada. Rad na daljinu omogućen je brзом internet konekcijom, sigurnim udaljenim pristupom sistemima kompanije i komunikacijskim platformama. Ankete pokazuju da je do 2023. godine oko 22% zaposlenih u EU radilo od kuće barem povremeno (9% obično, 13% povremeno), u odnosu na oko 5% prije pandemije (Voronoi, 2023). Zemlje sjeverne Evrope, s naprednom digitalnom infrastrukturom, prednjače u usvajanju rada na daljinu – npr. preko polovine radnika u Holandiji radilo je na daljinu 2023. godine – dok neke zemlje istočne Evrope i dalje prijavljuju ispod 5% (Voronoi, 2023). Slika 1 ilustruje regionalne varijacije u prihvatanju rada na daljinu unutar Evrope.



Slika 1 - Udio radnika koji su radili od kuće (barem povremeno) u Evropi u 2023. Tamnije sjenčenje označava veći postotak radnika na daljinu u radnoj snazi zemlje. Sjeverne i zapadne zemlje EU pokazuju najveće stope rada na daljinu, dok dijelovi istočne Evrope imaju manju zastupljenost.

Platforme za saradnju u oblaku: Korištenje softvera zasnovanog na oblaku za komunikaciju, dijeljenje datoteka i upravljanje projektima obilježje je digitalnog radnog mjesta. Alati poput Microsoft Teamsa, Slacka, Zooma i Google Workspacea postali su zadani radni prostori za dislocirane timove tokom pandemije. Do 2021–2022. godine preko polovine preduzeća u EU održavalo je sastanke na daljinu putem interneta i oslanjalo se na cloud rješenja za e-poštu i dokumente (Eurostat, 2023). Ove platforme omogućavaju saradnju u stvarnom vremenu bez obzira na lokaciju, u suštini virtualizirajući kancelariju. Evropska komisija primijetila je značajan porast korištenja cloud computinga od strane preduzeća u periodu 2020–2021. godine, jer su firme tražile skalabilne

digitalne alate za podršku udaljenom radu.

Automatizacija digitalnih poslovnih procesa: Organizacije su ubrzale automatizaciju rutinskih zadataka koristeći digitalne tokove rada, robotsku automatizaciju procesa (engl. Robot Process Automatization, nadalje RPA) i sisteme vođene vještačkom inteligencijom. To smanjuje oslanjanje na fizičku papirologiju i ručne procese. Naprimjer, kompanije su digitalizovale lance snabdijevanja, korisničku podršku (putem chatbota) i interna odobrenja. Pandemija je istakla vrijednost takve automatizacije u održavanju kontinuiteta poslovanja sa smanjenim brojem zaposlenih koji su prisutni uživo. Istraživanje IBM-a iz 2020. godine pokazalo je da je 60% rukovodilaca ubrzalo automatizaciju procesa i prešlo na aktivnosti zasnovane na oblaku kao direktan odgovor na pandemiju (IBM, 2020). Automatizacija ne samo da poboljšava efikasnost već može i smanjiti upotrebu resursa (papira, energije) doprinoseći održivosti.

Poboljšana sajber sigurnost i digitalna infrastruktura: S obzirom na to da je više podataka i radnih procesa dostupno online, kompanije su investirale u jače mjere sajber sigurnosti i IT infrastrukturu. Virtuelne privatne mreže (engl. Virtual Private Networks, nadalje VPN), višefaktorska autentifikacija i alati za sigurnost u oblaku postali su neophodni za zaštitu udaljenog pristupa. Osiguravanje sigurne i pouzdane povezanosti za udaljene radnike sada je fundamentalna komponenta digitalnog radnog mjesta. Slično tome, infrastruktura za pohranu i obradu podataka premještena je u centre podataka u oblaku koji mogu biti energetske efikasniji od disperzovanih lokalnih servera ako se njima pravilno upravlja (posebno kada se koriste obnovljivi izvori energije u centrima podataka).

Upravljanje organizacionim promjenama i vještinama: Važno je napomenuti da se transformacija digitalne radne sredine ne odnosi samo na implementaciju tehnologije – ona zahtijeva paralelne promjene u organizacijskim praksama i vještinama zaposlenih. Istraživači naglašavaju da uspješna digitalna transformacija zavisi od usklađivanja ljudi i procesa s novim tehnologijama. Kompanije su morale ulagati u obuku zaposlenih za digitalne vještine, uspostaviti nove norme za virtuelnu saradnju i njegovati kulturu povjerenja i fleksibilnosti. Gupta i George (2022) tvrde da usvajanje tehnologija digitalne radne sredine zahtijeva redizajniranje radnih procesa i podsticanje podrške zaposlenih, umjesto da se očekuje trenutni uspjeh samo od usvajanja tehnologije. U suštini, ljudski faktor je ključan: digitalno radno mjesto funkcioniše efikasno samo kada su zaposleni podržani u efikasnom korištenju alata, a menadžment se prilagođava vođenju distribuisanih timova.

## **Uticaji na održivost: ekonomske, društvene i ekološke dimenzije**

Digitalna transformacija radnog mjesta ima višestruke implikacije na održivost. Prihvatanje digitalnih načina rada može podstaći ekonomsku efikasnost i inovacije, promijeniti društvenu dinamiku rada i smanjiti uticaj na sredinu – sve su to ključni elementi prelaska na zelenu i održivu ekonomiju. Međutim, ovi uticaji nisu automatski pozitivni. Potrebno je pažljivo upravljanje kako bi se maksimizirale koristi i ublažili nedostaci. Ovaj odjeljak razmatra ekonomske, društvene i uticaje na sredinu.

### **Ekonomske uticaje**

Iz ekonomske perspektive digitalna transformacija radnog mjesta donijela je značajne uštede troškova i povećanje produktivnosti, iako ne bez izazova. Rad na daljinu i hibridni rad pomogli su kompanijama da smanje troškove vezane za kancelarijski prostor,

komunalije i operacije na licu mjesta. Tipičan američki poslodavac mogao bi uštediti 11.000 dolara po zaposleniku na daljinu s pola radnog vremena godišnje zbog povećane produktivnosti, smanjenog izostanka s posla i nižih troškova nekretnina (Global Workplace Analytics, 2021; Notta, 2024). U Evropi, firme koje su smanjivale kancelarije tokom pandemije prijavile su kontinuirane uštede i veće operativne marže. Digitalni alati su također omogućili brže donošenje odluka i poboljšanu efikasnost, omogućavajući firmama da automatizuju procese i optimizuju operacije. Nosike i saradnici (2024) otkrili su da inicijative poput digitalnih kontrolnih ploča i AI analitike poboljšavaju brzinu upravljanja i kvalitet odluka. Ove transformacije otvorile su nove tokove prihoda putem e-trgovine i virtuelnih usluga, posebno u sektorima poput obrazovanja i zdravstva, doprinoseći zelenom rastu smanjenjem ovisnosti o fizičkim resursima. Međutim, ova promjena je također donijela ekonomske terete, uključujući velika početna ulaganja u IKT infrastrukturu i obuku. Mala i srednja preduzeća su se često borila s troškovima i nedostatkom digitalnih vještina. Nosike i saradnici (2024) naglašavaju potrebu za kontinuiranim ulaganjima u sajber sigurnost i IT podršku. Rezultati produktivnosti su varirali - dok su neke firme zabilježile porast proizvodnje, druge su iskusile zastoje zbog problema s koordinacijom ili digitalnog zamora. Tranzicija je također uticala na tržišta rada automatizujući neke uloge a istovremeno povećavajući potražnju za digitalnim vještinama i omogućavajući zapošljavanje na daljinu iz različitih regija. IBM (2020) je primijetio da je 59% firmi ubrzalo digitalne inicijative tokom pandemije, ali inkluzivni rast zavisi od premošćivanja digitalnog jaza. Zaključno, digitalna transformacija radnog mjesta podržava ekonomsku otpornost i zeleni rast kroz isplativost i inovacije, ali se njome mora pažljivo upravljati kako bi se izbjeglo produbljivanje nejednakosti ili razlika u produktivnosti.

### **Društveni uticaji**

Digitalna transformacija radnog mjesta imala je široke društvene efekte povećavajući fleksibilnost, inkluziju i ravnotežu između poslovnog i privatnog života, a istovremeno je uvela izazove poput sagorijevanja na poslu, izolacije i nejednakosti. Rad na daljinu i hibridni rad omogućili su zaposlenima da uštede vrijeme na putovanju na posao i bolje upravljaju ličnim odgovornostima, što je koristilo njegovateljima, osobama s invaliditetom i onima u ruralnim područjima (Eurofund, 2024). Digitalni alati su izravnali hijerarhije i demokratizovali sastanke, dok su mnoge kompanije usvojile inicijative za dobrobit tokom pandemije (IBM, 2020). Međutim, zamagljene granice između posla i doma dovele su do prekomjernog rada i stresa. Molino i saradnici (2020) otkrili su povećano sagorijevanje na poslu povezano sa stalnim digitalnim zahtjevima i nedostatkom odvojenosti. Mičić i Mastilo (2022) primijetili su negativne efekte na mentalno zdravlje kada dom postane radno mjesto. Tehnostres, uzrokovan prekomjernom upotrebom informaciono-komunikacionih tehnologija, također je povećao nezadovoljstvo poslom (Molino i saradnici, 2020). Rad na daljinu oslabio je neformalnu interakciju, pri čemu je izolacija posebno pogodila novo ili mlađe osoblje (Lyzwinski, 2024), a prakse digitalnog nadzora izazvale su zabrinutost u vezi s privatnošću. Pojavila su se i pitanja jednakosti, jer nisu svi radnici imali jednake postavke doma ili pristup internetu, što je dovelo do pristranosti blizine. Mahapatra i Pillai (2022) zagovaraju digitalno blagostanje, empatično liderstvo i postavljanje granica (npr. pravo na isključivanje) kako bi digitalni rad bio društveno održiv. Ukratko, digitalno radno mjesto nudi društvene koristi, ali se njime mora upravljati pažljivo kako bi se izbjegla šteta po blagostanje, inkluziju i koheziju.

### Uticaji na sredinu

Digitalna transformacija radnog mjesta ima veliki potencijal za smanjenje uticaja rada na sredinu i podršku klimatskim ciljevima. Rad na daljinu i fleksibilan rad smanjuju emisije od putovanja na posao i smanjuju potrošnju energije u poslovnim zgradama, iako također izaziva zabrinutost poput povećane potrošnje energije u kućanstvima i elektroničkog otpada. Jedna od najznačajnijih ekoloških koristi je smanjenje svakodnevnog putovanja na posao. Automobili su glavni izvor emisija, a kada radnici ostaju kod kuće, to dovodi do trenutnog smanjenja emisija stakleničkih plinova i poboljšanja kvalitete zraka. Tokom zatvaranja 2020. godine, gradovi širom svijeta zabilježili su smanjenje prometa i zagađenja. Čak i hibridni rad može ublažiti zagušenja i poboljšati učinkovitost goriva (Barkham, 2023). Kvantitativni podaci naglašavaju ovaj učinak. Studija Cornell univerziteta i Microsofta iz 2023. godine otkrila je da prelazak s rada na licu mjesta na rad na daljinu s punim radnim vremenom u SAD-u može smanjiti emisije ugljendioksida povezane s poslom za 54% (Kacapyr, 2023). To je zbog eliminacije putovanja na posao i smanjene potrošnje energije u poslovnim prostorima. Ista studija je pokazala da hibridni rad ima značajne koristi: rad na daljinu 2-4 dana u sedmici smanjuje emisije za 11-29%, dok jedan dan u sedmici rezultira smanjenjem od oko 2% (Kacapyr, 2023). Ovi nalazi ističu ekološki obećavajući učinak modela rada na daljinu i hibridnih modela rada. Tabela 1 sažima ove nalaze prikazujući procijenjeno smanjenje emisija za različite učestalosti rada na daljinu.

| Radni aranžman                        | Smanjenje emisije ugljendioksida (približno)           |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Potpuno na daljinu (5 dana u sedmici) | ~54% niže emisije nego u kancelarijskim uslovima       |
| Hibridni (2–4 dana/sedmično)          | 11–29% niže emisije nego u kancelarijskim prostorijama |
| Hibrid (1 dan/sedmično)               | ~2% niže emisije nego u kancelarijskim prostorijama    |
| Rad u kancelariji (0 dana na daljinu) | (Osnovna vrijednost – bez smanjenja)                   |

Tabela 1 - Procijenjeno smanjenje ugljičnog otiska pojedinačnog zaposlenika povezanog s poslom uslijed rada na daljinu, na osnovu modeliranja Fengqi Youa i kolega (2023). Čak i rad na daljinu s nepunim radnim vremenom donosi značajne uštede emisija, pri čemu veća učestalost rada na daljinu donosi veće koristi. Međutim, jedan dan u sedmici od kuće ima minimalan uticaj, dok rad na daljinu s punim radnim vremenom može smanjiti više od polovine emisija ugljendioksida.

Digitalna transformacija radnog mjesta nudi velike ekološke prednosti, posebno smanjenjem putovanja na posao, poslovnih putovanja i potrošnje energije u kancelariji. Što više dana zaposleni rade na daljinu, to su veće uštede emisija - rad na daljinu s punim radnim vremenom omogućava kompanijama da smanje kancelarijski prostor i značajno smanje putovanja. Izvještaj Global Workplace Analyticsa procjenjuje da bi, ako bi svi kvalifikovani zaposleni u SAD-u radili od kuće polovinu radnog vremena, emisije mogle pasti za preko 50 miliona tona godišnje (Global Workplace Analytics, 2021; Notta, 2024). Rad na daljinu je također smanjio poslovna putovanja jer su virtualni sastanci zamijenili letove, a mnoge organizacije sada povezuju smanjena putovanja s ciljevima održivosti (Barkham, 2023). Potrošnja energije u poslovnim zgradama je opala, a neke firme prijavljuju smanjenje emisije ugljendioksida od preko 60% zatvaranjem kancelarija (Andela, 2024). Međutim, potražnja za energijom se pomjera na domove - grijanje, napajanje uređaja - i može poništiti neke dobitke. Hook i saradnici (2020) i Univerzitet u Sussexu (2020) ističu da uštede energije variraju zavisno o efikasnosti i ponašanju stambenog prostora. U nekim slučajevima povremeni rad na daljinu može čak povećati

potrošnju energije ako radnici žive dalje od gradova i održavaju i kućne i kancelarijske prostore (Barkham, 2023).

Pored energije i emisija, digitalizacija donosi i druge ekološke probleme. Potražnja za novim uređajima povećava elektronski otpad, a infrastruktura u oblaku troši energiju. Međutim, studija Cornella je primijetila da korištenje IT-a ima minimalan uticaj na sredinu i otisak radnika (Barkham, 2023), dijelom zato što podatkovni centri postaju efikasniji i sve više se napajaju obnovljivim izvorima energije. Ipak, praćenje uticaja tehnologije na sredinu ostaje ključno. Ostvarenje pune ekološke koristi digitalnog rada zahtijeva namjerno djelovanje: radnici usvajaju navike niskog uticaja, kompanije održivo smanjuju obim poslovanja i vlade potiču zelenu infrastrukturu. “Dvostruka tranzicija” digitalne i zelene transformacije mora biti strateški usklađena, kako naglašavaju Nosike i saradnici (2024), koji tvrde da alati zasnovani na oblaku mogu smanjiti emisije kada se integrišu sa širim inicijativama održivosti. Sveukupno, rad na daljinu nije lijek za klimatske promjene, ali, kada se pravilno implementira, može igrati snažnu ulogu u podršci razvoju ekonomije s niskom emisijom ugljendioksida.

### **Integracija digitalne transformacije sa strategijama održivosti**

Spomenuta analiza jasno pokazuje da digitalna transformacija radnog mjesta ima kapacitet da podstakne napredak u ekonomskoj efikasnosti, društvenom blagostanju i ekološkoj odgovornosti – tri stuba održivosti. Međutim, ove koristi nisu automatske. One zavise od toga koliko su dobro digitalne inicijative integrisane sa širom održivošću i korporativnim strategijama. U ovom odjeljku razmatramo važnost usklađivanja napora digitalne transformacije s ciljevima održivosti i pružamo uvid u politike i upravljačke prakse koje mogu osigurati da promjene na digitalnom radnom mjestu zaista unaprijeđe zelenu ekonomiju.

### **Strateško usklađivanje: dvostruka tranzicija**

Kreatori politika i poslovni lideri sve više govore o “dvostrukoj tranziciji” – misleći na digitalnu tranziciju i zelenu (ekološka) tranziciju – naglašavajući da bi se to dvojce trebalo međusobno pojačavati. Ideja je da digitalni alati mogu ubrzati održivi razvoj i obrnuto. Imperativi održivosti mogu usmjeriti digitalne inovacije ka rješavanju ekoloških i društvenih problema. EU, naprimjer, u svojoj viziji za 2030. godinu ima eksplicitne ciljeve i za digitalno usvajanje i za smanjenje emisija stakleničkih gasova, posmatrajući ih kao međusobno povezane agende (Evropska komisija 2025). Za organizacije to znači da strategije digitalnog radnog mjesta treba razvijati ruku pod ruku sa strategijama održivosti. Verhoef i saradnici (2021) tvrde da samo usvajanje digitalnih tehnologija radi efikasnosti nije dovoljno. Kompanije moraju osigurati da se ove tehnologije primjenjuju na načine koji podržavaju dugoročne ekološke i društvene ciljeve. Naprimjer, ako kompanija implementira novi sistem radnog procesa vođen vještačkom inteligencijom, trebala bi uzeti u obzir i potrošnju energije servera koji pokreću tu vještačku inteligenciju i možda odabrati dobavljača koji se napaja obnovljivom energijom. Ako firma pređe na hibridni rad, istovremeno bi mogla podsticati zelene opcije prevoza na posao za dane kada zaposleni dolaze (kao što je obezbjeđivanje električnih autobusa ili biciklističkih staza) kako bi se pojačale koristi od emisija. Verhoef i saradnici (2021) su posebno naveli: “Digitalizacija mora biti usklađena s dugoročnim strategijama zaštite sredina kako bi se ostvarile pune koristi od održivosti. Ovo usklađivanje može uključivati uključivanje ciljeva smanjenja ugljendioksida u analizu povrata ulaganja u digitalne projekte ili

korištenje digitalnih alata (kao što su IoT senzori, analiza podataka) za praćenje i poboljšanje ekoloških performansi. U praksi, kompanije koje vode u ovom području često dodjeljuju međufunkcionalne timove ili uloge, npr. glavni direktor za održivost koji blisko sarađuje s glavnim direktorom za digitalnu transformaciju, kako bi se osiguralo da se inicijative za digitalnu transformaciju procjenjuju kroz prizmu održivosti.”

### **Inovacije i stvaranje zelene vrijednosti**

Digitalna transformacija radnog mjesta može omogućiti nove oblike zelenih inovacija. Smanjenjem ovisnosti o fizičkim resursima i omogućavanjem optimizacije zasnovane na podacima, stvara se mogućnost za ono što Nosike, Okwara i Uju (2024) opisuju kao redefiniciju stvaranja vrijednosti imajući na umu održivost. Oni sugeriraju da se “zelena digitalna transformacija” ne odnosi samo na efikasnije obavljanje istih procesa, već na fundamentalnu transformaciju poslovnih modela kako bi se pružila održiva vrijednost. To bi moglo značiti, naprimjer, razvoj digitalnih proizvoda koji pomažu kupcima da smanje vlastiti uticaj na sredinu ili korištenje rada na daljinu za privlačenje talenata usmjerenih na rješenja održivosti preko granica. Jedan konkretan primjer je porast platformi za ekonomiju dijeljenja, koje su inherentno digitalne: one smanjuju otpad omogućavajući dijeljenje resursa, kao što su automobili, alati, prostor. Kompanije koje olakšavaju rad na daljinu mogle bi i same učestvovati u dijeljenju – npr. dijeljenje kancelarijskih prostora (coworking centri) između organizacija, čime se maksimizira iskorištenost i smanjuje potreba za novom izgradnjom. Drugi primjer je korištenje digitalnih blizanaca i softvera za simulaciju za dizajniranje održivijih proizvoda i procesa, minimizirajući upotrebu materijala i potrošnju energije u fazama razvoja. Ovo su načini na koje digitalna transformacija pokreće zeleniju ekonomiju, a koja prevazilazi samo direktne efekte rada na daljinu. U suštini, usklađivanje digitalne transformacije radnog mjesta sa zelenom ekonomijom znači stalno pitanje: Da li ova digitalna promjena pomaže u smanjenju uticaja na okolinu ili poboljšava društvenu dobrobit? Ako ne, kako je možemo prilagoditi da to učini? Ponekad je usklađivanje jednostavno (kao kod rada na daljinu koji smanjuje emisije uzrokovane putovanjima), a ponekad zahtijeva kreativno razmišljanje (poput korištenja fleksibilnosti digitalnog rada za implementaciju četverodnevničkih radnih sedmica, za koje neke studije sugeriraju da mogu smanjiti stres i emisije ugljendioskida). Ključ je način razmišljanja koji održivost tretira kao osnovni cilj digitalnih inovacija, a ne kao naknadnu misao.

### **Preporuke za politiku i organizacijske prakse**

Iz lekcija iz postpandemijskog doba proizlaze nekoliko preporuka za kreatore politika i organizacijske lidere kako bi iskoristili digitalnu transformaciju radnog mjesta kao pokretač održivosti:

Podsticanje hibridnog rada s održivim navikama: Vlade mogu podsticati organizacije da usvoje hibridne modele rada ažuriranjem propisa o radu (kako bi se omogućio rad na daljinu, osiguralo pravo na isključivanje, itd.) i nudeći podsticaje za rad na daljinu (kao što su poreski odbici za troškove rada na daljinu ili cijene zagušenja u gradovima kako bi se destimulisalo svakodnevno putovanje na posao). Istovremeno, politike mogu promovisati održive navike, npr. subvencije za poboljšanja energetske efikasnosti doma za radnike na daljinu ili ulaganja u širokopojasni internet u ruralna područja (smanjenje potrebe za preseljenjem u gradove). Kompanije bi, sa svoje strane, trebale formalizovati politike hibridnog rada koje pojašnjavaju očekivanja i pružaju podršku za



kućne kancelarije (oprema, ergonomski namještaj, itd.), osiguravajući da je rad na daljinu produktivan i zdrav. Također, mogu implementirati zelene inicijative za putovanje na posao za dane u kancelariji - poput programa za dijeljenje vožnje ili karata za javni prevoz - kako bi osigurale dio uštede emisija.

Smanjenje obima posla i zeleni kancelarijski otisak: Organizacije koje su dugoročno svjedočile prelasku dijela svoje radne snage na daljinu trebale bi procijeniti svoje potrebe za nekretninama. Mnoge mogu konsolidovati kancelarije ili se preseliti u manje, energetske efikasne prostore, smanjujući i troškove i potrošnju energije. Kancelarije koje ostaju u upotrebi mogu se rekonfigurirati kako bi podržale saradnju i korištenje radnih stolova za hibridne zaposlenike, umjesto namjenskih mjesta koja stoje prazna kada ljudi rade od kuće. Sve nove investicije u kancelarije trebale bi se pridržavati standarda zelene gradnje (izolacija, efikasan HVAC sistem, pametna rasvjeta). Vlade bi mogle podržati ovo davanjem grantova ili priznanja za nadogradnje zelenih zgrada. Kada više kompanija smanji prostor, postoji i mogućnost preuređenja viška kancelarijskih zgrada u stambene ili društvene prostore, što neki gradovi razmatraju - indirektno doprinoseći održivom urbanom razvoju.

Ulaganje u digitalne vještine i jednakost: Kako bi se osigurala široka rasprostranjenost društvenih koristi digitalnog radnog mjesta, ulaganje u obuku za digitalne vještine je ključno. Vlade i obrazovne institucije trebaju pojačati programe za poboljšanje digitalne pismenosti kako bi više radnika moglo učestvovati u mogućnostima rada na daljinu/digitalnog rada (ovo rješava probleme nejednakosti i nezaposlenosti). Organizacije trebaju osigurati kontinuiranu obuku za zaposlenike o novim alatima i praksama kibernetičke sigurnosti, što ne samo da povećava produktivnost već i osnažuje radnike i smanjuje tehnološki stres. Osim toga, važno je rješavanje digitalnog jaza - nemaju svi zaposleni brzi internet ili povoljno okruženje kod kuće. Kompanije mogu ponuditi internet stipendije ili partnerstvo s lokalnim vlastima kako bi poboljšale povezanost. Promocija raznolikosti i inkluzije u radu na daljinu također je ključna. Naprimjer, osigurati da zaposleni na daljinu imaju jednak pristup unapređenjima i da nisu marginalizovani u poređenju s osobljem u kancelariji - to može uključivati obuku o pristranostima za menadžere i uspostavljanje mentorskih mreža koje funkcionišu online.

Ugradnja metrika održivosti u digitalne inicijative: Organizacije bi trebale mjeriti i pratiti kako promjene na digitalnom radnom mjestu utiču na njihove metrike održivosti. Naprimjer, mogu izračunati smanjenje emisija uzrokovanih radom na daljinu i to uključiti u svoje izvještaje o korporativnoj održivosti. Kvantifikovanjem koristi jača se interna podrška za ove prakse. S druge strane, praćenje bilo kakvog povećanja potrošnje energije (poput povećanog opterećenja servera ili potrošnje energije u kućnim kancelarijama) može istaknuti područja koja treba poboljšati (npr. ulaganje u kredite za obnovljive izvore energije ili efikasniju IT infrastrukturu). Postavljanje ciljeva poput "smanjiti emisije ugljendoksida po zaposlenom za X% putem rada na daljinu i digitalnih alata do godine Y" može uskladiti timove prema zajedničkim ciljevima. Ovo odražava raniju poentu o usklađivanju - ako inicijativa ne pokazuje dobitke u održivosti, preispitajte je.

Promovirati kulturu održivog digitalnog rada: Konačno, i javne kampanje i korporativne kulture trebaju promovirati ideju da su digitalni načini rada dio održivog načina života. Naprimjer, podsticanje virtuelnih sastanaka po defaultu (radi uštede putovanja) ili podrška zaposlenima koji biraju održive opcije (poput vožnje bicikla radnim danima ili korištenja solarnih panela kod kuće za napajanje kućne kancelarije) može ojačati vezu između digitalnog rada i održivosti. Neke kompanije su uvele smjernice za "zeleni



IT” – isključivanje opreme kada se ne koristi, odabir postavki za uštedu energije, itd. Iako pojedinačno mala, ova ponašanja zajedno doprinose širem etosu održivosti. Vlade bi također mogle istaknuti i nagraditi najbolje prakse (naprimjer, nacionalnu nagradu za organizacije s inovativnim hibridnim modelima rada koji značajno smanjuju emisije ugljendioksida).

U suštini, lekcija iz postpandemijskog doba je da digitalna transformacija i održivost idu ruku pod ruku kada se namjerno povežu. Kada kompanije i društva svjesno usmjeravaju promjene na digitalnom radnom mjestu kako bi služile ekološkim i društvenim ciljevima, rezultat je otpornija, niskougljična i ljudima prilagođenija ekonomija. Kao što su Nosike i saradnici (2024) rječito rekli: “Zelena digitalna transformacija nije samo stvar povećanja efikasnosti - ona redefiniše način na koji organizacije stvaraju, isporučuju i hvataju održivu vrijednost. Redefinisanjem rada imajući na umu i tehnologiju i održivost, možemo inovirati nove načine za prosperitet, a istovremeno očuvati planetu i poboljšati kvalitet života.”

### **Zaključak i ključne lekcije iz postpandemijskog doba**

Pandemija COVID-19 nenamjerno je omogućila veliki eksperiment u digitalnoj transformaciji radnog mjesta. Iskustva iz perioda 2020–2022. nude vrijedne uvide u to kako prelazak na digitalne načine rada može potaknuti održivost i podržati zelenu ekonomiju. Iz predstavljene analize proizlazi nekoliko ključnih lekcija i zaključaka:

- Digitalna transformacija radnog mjesta povećava otpornost, agilnost i održivost.
- Dobici za sredinu su značajni, ali zahtijevaju mjere podrške.
- Blagostanje zaposlenih i organizacijska kultura su ključni za dugoročni uspjeh.
- Izazovi i dalje postoje, posebno u vezi s investicijama i nejednakošću.
- Politika i strategija trebale bi iskoristiti sinergiju između digitalne i zelene tranzicije.

Zaključno, transformacija radnog mjesta putem digitalne tehnologije je više od IT ili HR inicijative – ona je strateški pokretač održivog razvoja. Smanjenjem nepotrebnih putovanja i korištenja resursa doprinosi se ekološkim ciljevima; nudeći fleksibilnost, može poboljšati društvene rezultate; povećanjem efikasnosti podržava ekonomsku konkurentnost. Postpandemijsko doba je dokazalo da se mnogi poslovi i procesi mogu obavljati drugačije – i često bolje – digitalnim sredstvima. Izazov i prilika sada su konsolidacija ovih dobitaka i njihovo namjerno usmjeravanje ka izgradnji zelenije ekonomije. Donosioci odluka u javnom i privatnom sektoru trebali bi ove lekcije uzeti u razmatranje. Uz mudru politiku, kontinuirane inovacije i fokus na ljude, digitalna transformacija radnog mjesta može biti snažna poluga za postizanje budućnosti koja je ne samo digitalno povezana već i održiva i inkluzivna.

# DIGITAL TRANSFORMATION OF THE WORKPLACE AS A DRIVER SUSTAINABILITY AND GREEN ECONOMY: LESSONS FROM THE POST-PANDEMIC ERA

**Summary:** The paper investigates how the digital transformation of the workplace, accelerated by the COVID-19 pandemic, supports the sustainability and growth of the green economy. The work highlights advantages such as lower costs, flexible working and reduced CO<sub>2</sub> emissions, along with challenges such as investment in technology and cyber security. Based on the literature review, the paper offers policy recommendations for sustainable development.

**Keywords:** digital transformation of the workplace, green economy, sustainability, COVID-19 pandemic

## Literatura

1. Andela: The Environmental Impact of Remote Work: What IT Leaders Need to Know, <https://www.andela.com/blog-posts/the-environmental-impact-of-remote-work-what-it-leaders-need-to-know> (14.08.2024.)
2. Eurofound: Flexible work increases post-pandemic, but not for everyone, EUROFOUND online article, <https://www.eurofound.europa.eu/en/resources/article/2024/flexible-work-increases-post-pandemic-not-everyone> (11.04.2024.)
3. European Commission: Europe's Digital Decade: digital targets for 2030, EUROPEAN COMMISSION, [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/europes-digital-decade-digital-targets-2030\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/europes-digital-decade-digital-targets-2030_en) (accessed 15.05.2025.)
4. Eurostat: Digitalisation in Europe – 2023 edition, EUROSTAT interactive publication, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/interactive-publications/digitalisation-2023> (2023.)
5. Eurostat: 50 % of EU enterprises used remote meetings in 2022, EUROSTAT news article, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20230612-1> (12.06.2023.)
6. Gillin, P. (2020, May 5). IBM CEO says pandemic will be a turning point for digital transformation. SiliconANGLE. [siliconangle.com](https://siliconangle.com)
7. Global Workplace Analytics (2021). Latest Work-at-Home/Telecommuting/Remote Work Statistics. [Online report]. [globalworkplaceanalytics.com](https://globalworkplaceanalytics.com)
8. Gupta, S., & George, J. F. (2022). Organizational change management in digital workplace transformation.
9. Hook, A., Court, V., Sovacool, B. K., & Sorrell, S. (2020). A systematic review of the energy and climate impacts of teleworking. *Environmental Research Letters*, 15(9), 093003. [phys.org/phys.org](https://phys.org/phys.org)
10. IBM Institute for Business Value: COVID19 and the future of business, IBM IBV report, <https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/en-us/report/covid-19-future-business> (03.07.2020.)
11. Lynnette-Natalia Lyzwinski: Organizational and occupational health issues with working remotely during the pandemic: a scoping review of remote work and health, *Journal of Occupational Health*, Vol. 66, No. 1, Oxford University Press, 2024.
12. Mahapatra, M., & Pillai, R. (2022). Addressing digital stress and wellness in remote work.
13. Mičić, Lj., & Mastilo, Z. (2022). Digital Workplace Transformation: Innovative Approach After Covid-19 Pandemic. *Economics (Innovative and Economic Research)*, 10(2), 63–76.
14. Molino, M., Ingusci, E., Signore, F., Manuti, A., Giancaspro, M. L., Russo, V., Zito, M., & Cortese, C. G. (2020). Wellbeing costs of technology use during Covid-19 remote working: An investigation using the Italian technostress creators scale. *Sustainability*, 12(15), 5911.
15. Notta.ai: Remote Work Statistics: 50+ Key Facts to Know in 2025, NOTTA.AI blog, <https://www.notta.ai/en/blog/remote-work-statistics> (24.10.2024.)
16. Nosike, C. J. O., Okwara, K., & Uju, A. (2024). Green digital transformation and sustainable value creation.

17. Paul GILLIN: IBM CEO says pandemic will be a turning point for digital transformation, SILICONANGLE, <https://siliconangle.com/2020/05/05/ibm-ceo-says-pandemic-will-turning-point-digital-transformation/> (05.05.2020.)
18. Patrick BARKHAM: People who work from home all the time 'cut emissions by 54%' against those in office, THE GUARDIAN, <https://www.theguardian.com/environment/2023/sep/18/people-who-work-from-home-all-the-time-cut-emissions-by-54-against-those-in-office> (18.09.2023.)
19. Santo MILASI, Ignacio GONZÁLEZ-VÁZQUEZ i Enrique FERNÁNDEZ-MACÍAS: Telework in the EU before and after the COVID-19: where we were, where we head to, JRC POLICY BRIEF, (06. 2020.)
20. Tao, Y., Yang, L., & You, F. (2023). Climate mitigation potentials of teleworking are sensitive to changes in behavior. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(39), e2304099120. [news.cornell.edunews.cornell.edu](https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2304099120)
21. University of Sussex: Ending the daily work commute may not cut energy usage as much as one might hope, PHYS.ORG, <https://phys.org/news/2020-04-daily-commute-energy-usage.html> (30.04.2020.)
22. Verhoef, P. C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Qi, M., Dong, J., & Haenlein, M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research*, 122, 889–901
23. Voronoi: Where Europeans Get To Work From Home, VORONOI DEMOGRAPHICS, <https://www.voronoioapp.com/demographics/Where-Europeans-Get-To-Work-From-Home-2552> (2023.)

# KIBERNETIČKE PRIJETNJE I OBRAMBENI POTENCIJAL UMJETNE INTELIGENCIJE U ZAŠTITI ZELENE DIGITALNE TRAZNICIJE

dr. sc. Marko Banožić

Ministarstvo unutarnjih poslova Županije Zapadnohercegovačke;  
Pravni fakultet Sveučilišta u Mostaru

mag. med-lab dijag. Anica Džajić, doktorand  
Sveučilište Josip Juraj Strossmayer Osijek

**Sažetak:** Tranzicija prema zelenoj ekonomiji predstavlja ključan korak u borbi protiv klimatskih promjena, smanjenju ovisnosti o fosilnim gorivima i poticanju održivog razvoja. Globalni i neravnomjerni razvoj gospodarstva, izazovi klimatskih promjena, pad bioraznolikosti, sve veća potrošnja resursa zahtijevaju tranziciju dosadašnjeg načina rada, poslovanja, upravljanja, ali i obrazovanja. Tranzicija podrazumijeva digitalizaciju, odnosno integraciju digitalnih tehnologija poput pametnih mreža, umjetne inteligencije (UI) ili, izvorno engleski, Artificial Inteligency (akronim AI) i automatizacije u sektorima proizvodnje, distribucije i potrošnje resursa. Međutim, digitalizacija sa sobom nosi i rizike. Digitalna infrastruktura koja podržava zelenu ekonomiju – poput pametnih energetskih mreža, automatiziranih sustava za upravljanje vodama i digitalnih platformi za održivu poljoprivredu – sve je više na meti kibernetičkih napada. Ovi napadi mogu imati ozbiljne posljedice ne samo u pogledu ekonomskih gubitaka, već i na sigurnost građana i stabilnost okolišnih sustava. Kibernetički terorizam, kao specifičan oblik digitalnog napada motiviran ideološkim ili političkim ciljevima, postaje sve prisutnija prijetnja. Napadači mogu koristiti sofisticirane metode kako bi narušili funkcioniranje zelenih sustava, destabilizirali infrastrukturu i stvorili nepovjerenje u održive tehnologije. S obzirom na međupovezanost digitalnih i ekoloških sustava, posljedice takvih napada mogu biti višestruke i dalekosežne. U tom kontekstu, umjetna inteligencija se pojavljuje kao ključni alat za obranu od prijetnji. Od analize velikih količina podataka i otkrivanja anomalija do prediktivne sigurnosne analitike i automatiziranog odgovora na prijetnje, AI nudi inovativne načine za očuvanje sigurnosti digitalizirane zelene ekonomije. Cilj ovoga rada je istražiti međupovezanost digitalizacije zelene ekonomije, prijetnji kibernetičkog terorizma te uloge umjetne inteligencije u prevenciji i odgovoru na takve prijetnje. Kroz analizu postojećih primjera, trendova i tehnologija, rad nastoji pridonijeti razumijevanju kako zaštititi zelenu budućnost u digitalnom dobu.

**Ključne riječi:** zelena ekonomija, digitalizacija, kibernetičke prijetnje, umjetna inteligencija, kibernetički terorizam

## 1. Uvod

Kraj 1700. i početak 1800. godine okvirno je razdoblje u kojem se razvija Prva industrijska revolucija koju karakterizira prelazak društva s poljodjelskog na industrijsko, kao i tranzicija iz sela u gradove. Motor na vodeni i parni pogon okarakterizirali su navedenu revoluciju. Nakon toga, početkom 20. stoljeća, izumom telefona, uvođenjem čelika, potom vozila s unutarnjim sagorijevanjem te korištenjem električne energije započela je Druga industrijska revolucija koju karakterizira masovna proizvodnja. Kasnih 1950-ih počinje Treća industrijska revolucija koju karakterizira instalacija elektroničkih i

računalnih tehnologija u tvornicama. Obilježili su je osobna računala, internet i eksplozivni razvitak informacijske i komunikacijske tehnologije (tzv. ICT). Naprednom digitalizacijom u posljednjih nekoliko desetljeća počinje Četvrta industrijska revolucija koja traje i danas. U tom kontekstu zelena digitalna tranzicija predstavlja proces koji koristi te inovacije za prelazak na održivo, energetski učinkovito i niskougljično gospodarstvo. Sinergija između Četvrte industrijske revolucije i zelene tranzicije omogućava digitalna rješenja za praćenje emisija, optimizaciju potrošnje energije i razvoj pametne infrastrukture, čime se ubrzava ostvarenje ciljeva klimatske neutralnosti. Međutim, digitalizacija donosi i nove kibernetičke prijetnje koje mogu ugroziti kritičnu infrastrukturu zelene tranzicije, poput energetskih mreža i sustava za upravljanje okolišem. U tom kontekstu, umjetna inteligencija ima ključni obrambeni potencijal – ne samo kao alat za optimizaciju održivih rješenja, već i kao snažan mehanizam za detekciju, prevenciju i odgovor na sofisticirane kibernetičke napade.

## 2. Zelena digitalna tranzicija

Budućnost razvitka i napretka se ogleda u zelenoj ekonomiji, jer ona osigurava pravedniju raspodjelu resursa i sredstava, smanjuje siromaštvo i nejednakosti u društvu. Također, zelena ekonomija svakako je bolje pripremljena na učinke klimatskih promjena te bolje gospodari prirodnim resursima. K tome ide u prilog informacija kako u svijetu ima oko 2,5 milijuna zaposlenih u sektoru obnovljivih izvora. Nadalje, veoma je bitan energetski potencijal biomase koji je uvijek prisutan, bez obzira na vremenske prilike, odnosno neprilike (Gašić, 2013: 174). Zelena digitalna tranzicija predstavlja integrirani pristup kojim se digitalne tehnologije koriste za postizanje održivog razvoja i smanjenje negativnih utjecaja na okoliš. U središtu ove transformacije su alati poput umjetne inteligencije, Interneta stvari i blockchain tehnologije, koji omogućuju optimizaciju resursa, veću energetsku učinkovitost i poticanje kružne ekonomije (European Commission, 2020). Takva tranzicija nije ograničena samo na tehničke aspekte, već uključuje i društveno-političke promjene, uključujući reforme obrazovanja, zakonodavstva i tržišnih struktura.

Primjena digitalnih rješenja u prikupljanju i analizi podataka o okolišu omogućava donošenje informiranih i pravovremenih odluka (World Bank, 2022). Ipak, kako bi digitalizacija imala pozitivan neto učinak na okoliš, nužno je osigurati da sama digitalna infrastruktura bude ekološki prihvatljiva. U zemljama poput Bosne i Hercegovine ovakav razvojni smjer može značiti prekretnicu u ubrzanju gospodarskog rasta, ali i izazove u pogledu pristupa tehnologiji i digitalnim kompetencijama. Uspjeh ovog procesa ovisi o koordiniranoj suradnji između vlada, privatnog sektora i znanstvenih institucija.

## 3. Umjetna inteligencija

Umjetna inteligencija (UI) ili, izvorno engleski, Artificial Inteligency (akronim AI), jedna je od sedam dragocjenih novih, moćnih sastavnica 4. industrijske revolucije. To su redom: 1. Umjetna inteligencija 2. Robotika 3. Nanotehnologija 4. Internet stvari (Internet of Things, IoT) 5. Autonomna vozila 6. Kvantna računala 7. 3D tisak (Prister, 2019: 67). Jedinствена definicija umjetne inteligencije nije postignuta. Razlozi tomu mogu se potražiti u činjenici da se radi o interdisciplinarnom području koje uključuje računalne znanosti, matematiku, filozofiju, neuroznanost i druge discipline. Razlike u definiranju umjetne inteligencije mogu se potražiti i u brzom evoluciji navedene tehnologije, zatim

različitim pristupima i ciljevima stručnjaka u pojedinim područjima. Kao općeprihvatljiva definicija može se koristiti slijedeća: “Umjetna inteligencija je grana računalne znanosti koja se bavi stvaranjem računalnih sustava koji mogu izvoditi zadatke koji obično zahtijevaju ljudsku inteligenciju” (Russell, Norvig, 1996). Ovo uključuje algoritme strojnog učenja, duboko učenje, obradu prirodnog jezika, računalni vid i mnoge druge tehnike. Strojno i duboko učenje grane su umjetne inteligencije koje, uz pomoć označenih ili neoznačenih podataka, samostalno vrše izgradnju algoritama za rješavanje određenih problema. Dvije temeljne grane strojnog učenja su: nadzirano učenje i nenadzirano učenje, gdje je osnovna razlika u podacima jer nadzirano učenje zahtijeva da uzorak ima ulazne i izlazne podatke, a kod nenadziranog učenja zahtjev je samo na ulaznim podacima, dok su izlazni potpuno nepoznati (Volarić, Crnokić, 2022: 41). Duboko učenje podskup je algoritama strojnog učenja koji se odnosi na različite vrste dubokih neuronskih mreža koje su se pokazale superiornijima u odnosu na tradicionalne algoritme strojnog učenja (Volarić, Brajković, Sjekavica, 2014: 224).

#### 4. Kibernetičke prijetnje i kibernetički terorizam

U jutro 12. svibnja 2017. godine britanska Nacionalna zdravstvena služba (NHS) prestala je raditi. Tisuće njezinih ustanova diljem zemlje bile su blokirane jer im se IT sustav zamrznuo. U bolnicama osoblje je ostalo bez ključne medicinske opreme kao što su uređaji za magnetnu rezonancu i nisu mogli doći do podataka pacijenata. Tisuće dogovorenih zahvata moralo je biti otkazano. NHS je bio pod napadom računalnog programa koji služi za ucjene. Zvao se WannaCry (Suleyman, 2024: 184). Navedeni događaj, koji je tek jedan od mnogih, svjedoči koliko je opasan kibernetički terorizam i, s druge strane, koliko je bitna informacijska sigurnost. Kibernetički rizici jesu operativni rizici koji imaju potencijalno negativan učinak na kibernetičku sigurnost. Potonju definiramo kao aktivnosti i mjere kojima se postiže autentičnost, povjerljivost, cjelovitost te dostupnost podataka i infrastrukture unutar kibernetičkog prostora. Kibernetički prostor predstavlja virtualnu cjelinu unutar koje se realizira razmjena informacija između mrežnih i informacijskih sustava neovisno o njihovoj povezanosti na internet (CERT, 2016). Zelena digitalna tranzicija, koja podrazumijeva integraciju digitalnih tehnologija s ciljem postizanja održivog razvoja, sve je više izložena kompleksnim kibernetičkim prijetnjama. Digitalizacija energetskog sektora, upravljanje pametnim mrežama, digitalna regulacija emisija i automatizirani sustavi za očuvanje okoliša čine novu infrastrukturu koja je iznimno ranjiva na različite oblike kibernetičkih napada. S obzirom na to da se ključni procesi – poput proizvodnje i distribucije obnovljive energije – oslanjaju na umrežene sustave, rizik od zlonamjernih intervencija poput DDoS napada, ransomwarea ili manipulacije podacima, znatno se povećava. Upravo ta međuovisnost između digitalne i zelene komponente tranzicije otvara prostor za tzv. “dualnu ranjivost”, gdje jedan sigurnosni propust može imati višestruke posljedice – ne samo na informacijsku sigurnost, već i na okoliš i održivost sustava. Primjerice, kompromitacija sustava za upravljanje pametnim električnim mrežama može uzrokovati prekid u opskrbi energijom iz obnovljivih izvora, što u konačnici dovodi do povećane upotrebe fosilnih goriva kao rezerve. Također, neadekvatna zaštita podataka u sustavima za praćenje emisija CO<sub>2</sub> može rezultirati lažiranjem izvještaja i izbjegavanjem odgovornosti za onečišćenje. Osiguranje kibernetičke otpornosti stoga mora biti integralni dio svake politike digitalno-zelene tranzicije. To uključuje razvoj sofisticiranih modela upravljanja rizicima, standardizaciju sigurnosnih protokola te kontinuirano obrazovanje

stručnjaka u području kibernetičke sigurnosti. U Bosni i Hercegovini izazovi su dodatno pojačani zbog zastarjele infrastrukture, nedostatka stručnog kadra i ograničenih resursa za ulaganje u sigurnosne mehanizme. Stoga je nužna međunarodna suradnja i prijenos znanja kako bi se omogućila učinkovita i sigurna provedba zelene digitalne tranzicije u globalnom kontekstu.

#### **4.1. Bosna i Hercegovina i izazovi kibernetičke sigurnosti u zelenoj digitalnoj tranziciji**

Bosna i Hercegovina je kao zemlja u tranziciji suočena s nizom izazova u implementaciji zelene digitalne agende. Iako postoji deklarativna opredijeljenost za razvoj održivih energetskih i digitalnih politika – posebno kroz strateške dokumente poput Strategije razvoja energetskog sektora Federacije BiH i Digitalne agende za Zapadni Balkan – stvarna implementacija ostaje fragmentirana, spora i nedovoljno zaštićena u kibernetičkom smislu. Digitalizacija sektora energetike i okolišne politike u BiH uglavnom se odvija kroz pilot projekte, uz značajnu potporu međunarodnih donatora i organizacija poput EU, UNDP-a i GIZ-a. Međutim, mnogi ti sustavi – uključujući pametne mreže (smart grid), digitalne platforme za upravljanje otpadom i vodama te sustave za nadzor emisija – nisu adekvatno zaštićeni. Nedostatak jedinstvene strategije kibernetičke sigurnosti na državnoj razini, kao i nepostojanje centraliziranog Computer Security Incident Response Teama (CSIRT) za cijelu zemlju, ostavlja kritičnu infrastrukturu izloženom rizicima. Pored tehničkih nedostataka, institucionalna neusklađenost između različitih entiteta (Federacija BiH, RS i Brčko Distrikt) dodatno otežava uspostavu učinkovitog odgovora na kibernetičke prijetnje. Entitetski zakoni o informacijskoj sigurnosti i elektroničkom upravljanju nisu u potpunosti harmonizirani, što stvara praznine u odgovornosti i nadzoru. Dodatni problem predstavlja nedostatak kadrovskih kapaciteta – stručnjaka iz područja kibernetičke sigurnosti, održive energetike i digitalne transformacije nema dovoljno, a oni koji postoje često su koncentrirani u urbanim centrima i nevladinom sektoru. Iako je 2023. godine pokrenuto nekoliko projekata digitalizacije u području zelene infrastrukture (npr. pametna javna rasvjeta, sustavi za solarno napajanje), rijetki su imali procjenu kibernetičkog rizika kao dio početne faze planiranja. Bez značajnijih ulaganja u kibernetičku otpornost, BiH bi mogla postati ranjiva točka u regionalnim infrastrukturnim mrežama koje povezuju zemlje Zapadnog Balkana s energetskom i digitalnom infrastrukturom Europske unije.

#### **4.2. Studija slučaja: Projekt pametne javne rasvjete u gradu Trebinju i kibernetičke prijetnje**

Grad Trebinje je jedan od prvih gradova u Bosni i Hercegovini koji je proveo sveobuhvatan projekt pametne javne rasvjete temeljen na konceptima energetske učinkovitosti i digitalne automatizacije. Projekt, koji je implementiran između 2020. i 2022. godine uz podršku međunarodnih razvojnih agencija (npr. GIZ i UNDP), uključivao je zamjenu klasičnih svjetiljki LED tehnologijom te ugradnju digitalnih senzora i sustava za daljinsko upravljanje rasvjetom putem IoT mreže. Ova inicijativa značajno je smanjila potrošnju električne energije i emisije CO<sub>2</sub> te povećala učinkovitost Gradske uprave u upravljanju energetskim resursima. Ipak, studija nezavisnog konzultantskog tima iz 2023. godine ukazala je na ozbiljne kibernetičke ranjivosti sustava. Naime, u fazi planiranja i implementacije nije proveden nikakav kibernetički audit, a mreža koja je korištena za prijenos podataka nije imala osnovne mjere zaštite, poput enkripcije ili autentifikacije pristupa. Rezultat toga bio je stvarni incident u veljači 2023. godine, kada je došlo do prekida u radu sustava daljinskog upravljanja, uz sumnju na vanjski upad



putem nezaštićene Wi-Fi komunikacije između kontrolnog centra i pametnih uređaja. Iako nije bilo značajnije materijalne štete, incident je privremeno deaktivirao rasvjetu u nekoliko gradskih zona, što je izazvalo zabrinutost građana i pokrenulo širu raspravu o informacijskoj sigurnosti pametnih gradskih rješenja. Nakon incidenta, Gradska uprava je, u suradnji s Centrom za sigurnosne studije BiH i domaćim IT stručnjacima, izradila prvu lokalnu strategiju za digitalnu sigurnost pametnih rješenja koja uključuje sigurnosne protokole, obuku osoblja te obavezne sigurnosne provjere u fazi nabave i implementacije budućih projekata. Ova studija slučaja pokazuje kako zelena digitalna rješenja u urbanom kontekstu, iako korisna u smislu održivosti, mogu postati meta kibernetičkih prijetnji ako sigurnosni aspekti nisu planirani i integrirani od početka. Također, naglašava potrebu za usklađenom zakonodavnom i institucionalnom infrastrukturom koja će omogućiti siguran razvoj pametnih i zelenih tehnologija u BiH.

## 5. Obrambeni potencijal umjetne inteligencije

Informacijska sigurnost obuhvaća pet područja: sigurnosnu provjeru, fizičku sigurnost, sigurnost podataka, sigurnost informacijskog sustava i sigurnost poslovne suradnje (<https://www.soa.hr/hr/podrucja-rada/informacijska-sigurnost/> učitano 02.04.2025. godine). Zelena digitalna tranzicija podrazumijeva integraciju obnovljivih izvora energije, energetske učinkovite tehnologije i digitalnih rješenja u svrhu postizanja održivog razvoja. Uporaba umjetne inteligencije može pomoći u analizi ogromnih količina podataka kako bi se identificirali sumnjivi obrasci ponašanja, smanjujući pritom vrijeme potrebno za reakciju. Također, kada je riječ o unapređenju sustava informacijske sigurnosti tehnike, umjetne inteligencije se mogu koristiti za stvaranje naprednih sustava kojima se osigurava kontinuirana zaštita. Sustavi umjetne inteligencije mogu učiti iz prethodnih incidenata i iskustava kako bi poboljšali svoje sposobnosti detekcije i odgovora na buduće prijetnje. Integracija umjetne inteligencije u informacijsku sigurnost može značajno unaprijediti sposobnost organizacija da se zaštite od sve složenijih i naprednijih sigurnosnih prijetnji. Međutim, ovako kompleksan i umrežen sustav sve je više izložen sofisticiranim kibernetičkim prijetnjama koje mogu ugroziti ne samo informacijsku sigurnost, već i kontinuitet energetske tokove, okolišnu održivost te javnu sigurnost. U tom kontekstu, umjetna inteligencija (AI) postaje ključni obrambeni alat sposoban za anticipaciju, otkrivanje i neutralizaciju prijetnji u stvarnom vremenu. AI sustavi omogućuju naprednu analizu obrazaca ponašanja u mrežnim tokovima, otkrivajući anomalije koje mogu signalizirati napad čak i prije nego što dođe do štetne akcije. Tehnike strojnog učenja i dubokih neuronskih mreža primjenjuju se za razvoj prediktivnih modela kibernetičke obrane, koji uče iz prethodnih napada i stalno se prilagođavaju novim vektorima prijetnji. Ova sposobnost adaptacije od izuzetnog je značaja u sektorima zelene infrastrukture, gdje su sustavi često decentralizirani, ali međusobno povezani (npr. pametne električne mreže, sustavi za nadzor emisija, automatizirani pogoni za obnovljivu energiju). Dodatno, AI omogućuje automatizirano reagiranje na sigurnosne incidente, čime se smanjuje vrijeme potrebno za intervenciju i povećava otpornost sustava. U kontekstu nedostatka visokoobrazovanih stručnjaka u području kibernetičke sigurnosti, posebno u zemljama u razvoju, AI može djelovati kao multiplikator obrambenih kapaciteta. Ipak, implementacija AI sustava u obrambene svrhe mora biti pažljivo regulirana. Potrebno je osigurati etički nadzor nad autonomnim obrambenim sustavima, transparentnost algoritamskog odlučivanja i zaštitu privatnosti korisnika. U konačnici, umjetna inteligencija predstavlja nezaobilazan

obrambeni resurs u arhitekturi kibernetičke otpornosti zelene digitalne tranzicije, no njezina učinkovitost ovisi o sinergiji s ljudskim nadzorom, zakonodavnim okvirom i kontinuiranim tehnološkim razvojem. AI je najmoćnija tehnologija dostupna čovječanstvu danas i najveća greška koju itko može napraviti jeste zanemariti je (Marr, Ward, 2022: 2).

## 6. Zaključak

Zelena digitalna tranzicija predstavlja neizbježan put prema održivom i ekološki prihvatljivom društvu, no istovremeno donosi i složene sigurnosne izazove u obliku kibernetičkih prijetnji. Digitalizacija energetskeg sektora i integracija pametnih mreža otvaraju nove površine ranjivosti koje mogu biti iskorištene za različite oblike napada, ugrožavajući stabilnost i funkcionalnost kritične infrastrukture. Umjetna inteligencija, sa svojim sposobnostima napredne analize podataka, detekcije anomalija i automatiziranog odgovora, predstavlja snažan obrambeni alat koji može značajno povećati otpornost zelene digitalne infrastrukture na kibernetičke napade. Posebno je važno da se AI implementira uzimajući u obzir specifične izazove i kapacitete lokalnih sustava, kao što je to slučaj u Bosni i Hercegovini, gdje su institucionalni i tehnološki kapaciteti još uvijek u fazi razvoja. Uvođenje AI-a u kibernetičku sigurnost zelene tranzicije zahtijeva koordinirane napore između državnih institucija, privatnog sektora i akademske zajednice, uz odgovarajuće regulatorne okvire i kontinuiranu edukaciju stručnjaka. Samo takav holistički pristup može osigurati da prednosti digitalne transformacije budu ostvarene bez ugrožavanja sigurnosti i povjerenja u zelene tehnologije. Stoga, obrambeni potencijal umjetne inteligencije ne treba promatrati samo kao tehnološki inovativno rješenje, već i kao strateški imperativ za održivu i sigurnu digitalnu budućnost.

# CYBER THREATS AND THE DEFENSIVE POTENTIAL OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PROTECTING THE GREEN DIGITAL TRANSITION

**Summary:** The transition to a green economy is a key step in combating climate change, reducing dependence on fossil fuels and promoting sustainable development. Global and uneven economic development, the challenges of climate change, the decline in biodiversity, and the increasing consumption of resources require a transition in the current way of working, doing business, managing, and also in education. The transition involves digitalization, or the integration of digital technologies such as smart grids, artificial intelligence (AI) and automation in the sectors of production, distribution and resource consumption. However, digitalization also carries risks. The digital infrastructure that supports the green economy – such as smart energy grids, automated water management systems and digital platforms for sustainable agriculture – is increasingly being targeted by cyberattacks. These attacks can have serious consequences, not only in terms of economic losses, but also on the safety of citizens and the stability of environmental systems. Cyberterrorism, as a specific form of digital attack motivated by ideological or political goals, is becoming an increasingly present threat. Attackers can use sophisticated methods to disrupt the functioning of green systems, destabilize infrastructure, and create distrust in sustainable technologies. Given the interconnectedness of digital and ecological systems, the consequences of such attacks can be multiple and far-reaching. In this context, artificial intelligence (AI) is emerging as a key tool for defending against threats. From big data analysis and anomaly detection to predictive security analytics and automated threat response, AI offers innovative ways to keep the digitalized green economy secure. The aim of this paper is to explore the interconnectedness of the digitalization of the green economy, the threat of cyberterrorism, and the role of AI in preventing and responding to such threats. By analyzing existing examples, trends, and technologies, the paper seeks to contribute to understanding how to protect a green future in the digital age.

**Keywords:** green economy, digitalization, cyber threats, artificial intelligence, cyberterrorism

## Literatura

1. Gašić, M.: (2013): Zelena ekonomija, Učenje za poduzetništvo 3, br. 1, 174-180.
2. Prister, V. (2019): Umjetna inteligencija, Media, Culture and Public Relations, 10, 1, Zagreb
3. Rusell, S., Norvig, P. (2024): Umjetna inteligencija, moderan pristup, Zagreb, Naklada Mate d.o.o.
4. Smith, K., (2023): Cyberattacks on Energy Infrastructure: Threats and Mitigation Strategies, Journal of Energy Security 14, no. 3, 45-62.
5. Suleyman, M. (2024): Nadolazeći val, Egmont, Zagreb.
6. olarić, T., Crnokić, B. (2022): Umjetna inteligencija u obrazovanju i robotici, Mostar, Sarajevo, Zagreb: PRESSUM, Synopsis.
7. VOLARIĆ, T., BRAJKOVIĆ, E., SJEKAVICA, T. (2014): Integration of FAHP and TOPSIS Methods for the Selection of Appropriate Multimedia Application for Learning and Teaching, International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences, 8, New Jersey. Wang, J., (2022): Artificial Intelligence for Cybersecurity: Advances and Challenges, IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems 33, no. 2, 593-610.
8. <https://www.soa.hr/hr/podrucja-rada/informacijska-sigurnost>

# PRIMJENA DIGITALIZACIJE U PROCESU OBAVLJANJA INTERNE REVIZIJE

dr. sc. Azira Osmanović  
Univerzitet u Tuzli

prof. dr. sc. Damir Šarić

Zavod zdravstvenog osiguranja Tuzlanskog kantona

**Sažetak:** Promjene u načinu poslovanja u značajnoj su mjeri rezultat novih i inovativnih informacijsko-komunikacijskih tehnologija. U savremenim uslovima poslovanja za interne revizore svakako je jedan od najznačajnijih izazova da u svoj rad inkorporiraju nove digitalne tehnologije. Danas se način poslovanja bazira na mobilnom poslovanju, čuvanju podataka u oblaku, upotrebi i analizi velikih količina podataka, upotrebi interneta, robotike, 3D printanju, upotrebi dronova, tehnologiji 'lanca blokova', upotrebi umjetne inteligencije, pojavi rizika sajber sigurnosti, rizika prevara i sl. Savremene tehnologije iz temelja mijenjaju modele poslovanja i danas je za interne revizore neophodno da prate globalne trendove i inovacije koje oblikuju ovu profesiju. To u praksi nije jednostavan proces jer zahtijeva dodatne edukacije i promjenu načina rada, zbog čega često dolazi do otpora od strane internih revizora. Međutim, bez obzira na otpore, metodologija rada interne revizije zahtijeva primjenu digitalizacije u procesu obavljanja interne revizije. U radu će se analizirati način primjene digitalnih tehnologija u procesu obavljanja interne revizije. Poseban fokus će se staviti na upotrebu PIFC aplikacije koju koriste interni revizori u Bosni i Hercegovini. Cilj je identificirati značaj primjene digitalizacije, kao i važnost kontinuirane profesionalne edukacije internih revizora.

**Gljučne riječi:** interna revizija, digitalizacija, informacione tehnologije, digitalna transformacija poslovanja, upravljanje rizicima, Globalni standardi interne revizije

## Uvod

Funkcija interne revizije ima značajnu ulogu u upravljanju rizicima, jer svojim preporukama interni revizori značajno mogu utjecati na smanjivanje rizika i pri tome mogu doprinijeti da se unaprijedi poslovanje organizacije. Interna revizija ima zadatak da svojim djelovanjem pomogne organizaciji da ostvari svoje ciljeve kroz sistematičan, disciplinaran pristup ocjeni i poboljšanju efikasnosti upravljanja rizikom, kontrolama i procesima upravljanja. U sve složenijem i neizvjesnijem poslovnom okruženju neophodno je primjenjivati informacijsko-komunikacijske tehnologije u revizorskim aktivnostima. Ostvarivanje osnovne svrhe funkcije interne revizije značajno može doprinijeti primjena novih digitalnih tehnologija i prilagođavanjem interne revizije novim trendovima. Zbog toga se očekuje da će se u budućnosti desiti značajna transformacija u načinu rada i da će se tradicionalni način rada zamijeniti savremenim načinom rada, a koji će podrazumijevati upotrebu digitalizacije u poslovanju.

## 1. Digitalizacija u procesu obavljanja interne revizije

Pod pojmom digitalne tehnologije možemo razlikovati više značenja:<sup>1</sup>

- digitalne tehnologije podrazumijevaju granu naučnog ili inženjerskog znanja koje se bavi stvaranjem i praktičnom primjenom digitalnih ili kompjuterskih uređaja, metoda,

<sup>1</sup> Dostupno na: <http://www.dictionry.com/browse/digital-technology>, pristupljeno 20. 4. 2025.

sistema, kao npr. napredak u digitalnoj tehnologiji;

- digitalni uređaj, način, sistem, npr: korištenjem ovog znanja - izum interneta i drugih digitalnih tehnologija;

- primjenu znanja u praktične svrhe, kao u digitalnim komunikacijama i društvenim medijima.

Riječ "digitalno" dolazi od latinske riječi *digitus* koja znači prst i odnosi se na jedan od najstarijih alata za prebrojavanje, pri čemu digitalna tehnologija uključuje sve vrste elektronske opreme i aplikacija koje koriste informacije u obliku numeričkog koda. Digitalizacija predstavlja proces u kojem dolazi do pretvaranja informacija iz fizičkog formata u digitalni format. Primjena digitalizacije značajno utječe na poboljšanje poslovnih procesa kao i na promjenu poslovnog modela.

Fondacija za internu reviziju koja djeluje u okviru Globalnog instituta internih revizora (IIA) provela je veliko istraživanje koje je započelo u maju 2023. godine, u kojem je učestvovalo preko 7.000 ispitanika iz 155 zemalja svijeta, a koje je trajalo 12 mjeseci. U istraživanju su učestvovali svi zainteresovani za uspjeh profesije interne revizije, od internih revizora na svim nivoima, članova i predsjednika revizorskih odbora, rukovodilaca do edukatora. Rezultati ovog istraživanja sumirani su pod nazivom "Interna revizija: Vizija 2035" i zaključak ovog istraživanja bio je da će budućnost interne revizije biti determinisana brojnim tehnološkim inovacijama, a ukoliko se interna revizija ne suoči s novim digitalnim izazovima i ostane primjenjivati tradicionalni pristup u svom radu, profesija interne revizije u budućnosti može postati irelevantna.<sup>2</sup> Kako bi se na pravi način moglo pratiti turbulentno, neizvjesno i složeno poslovno okruženja, ali i zbog potrebe usklađivanja rada sa razvojem tehnologije, neophodno je da dođe i do promjene metodologije rada internih revizora. Danas je sve prisutnija potreba za prilagođavanjem internih revizora digitalizaciji u poslovanju, a sve kako bi interna revizija pomogla menadžmentu u ostvarivanju postavljenih poslovnih ciljeva. Svakodnevno svjedočimo ubrzanom tehnološkom razvoju i digitalnoj transformaciji, i s tim u vezi za očekivati je da će doći i do značajnih promjena u radu internih revizora. S uvođenjem digitalizacije u proces obavljanja interne revizije očekuje se da će se internim revizorima olakšati rad i da će sve više imati savjetodavnu ulogu u organizacijama. Za interne revizore od izuzetne je važnosti da ne budu pogrešno shvaćeni ili podcijenjeni u organizaciji i da imaju veću podršku od strane rukovodioca. Pored toga, jedan od najvećih izazova sa kojima će se suočiti interni revizori u budućnosti jeste potreba za dodatnim edukacijama iz oblasti digitalnih tehnologija i njihova primjena u procesu interne revizije. Dodatni izazovi s kojima se suočavaju interni revizori u Bosni i Hercegovini ogledaju se u činjenici da se zakoni o internoj reviziji donose na nivou BiH, na nivou Federacije BiH i na nivou Republike srpske. Priroda političkog okruženja može direktno utjecati na sposobnost funkcije interne revizije u budućnosti. Naime, ukoliko se uzme u obzir da interna revizija mora biti u korak sa sve složenijim poslovnim okruženjem, to podrazumijeva da se interni revizori moraju kontinuirano educirati, imati adekvatnu opremu i uslove rada, što u praksi često predstavlja problem. Savremene i nove digitalne tehnologije utječu na cjelokupan poslovni svijet pa tako i na rad interne revizije. Utjecaj digitalne tehnologije na rad interne revizije može se posmatrati iz dva ugla, s jedne strane dolazi do digitalne transformacije poslovanja organizacije i na taj način se mijenja objekt i predmet interne revizije, a, s druge strane, nove digitalne tehnologije mijenjaju način rada, odnosno revizijske pristupe interne revizije.<sup>3</sup>

Pod utjecajem novih digitalnih tehnologija u budućnosti poseban akcenat u radu

<sup>2</sup> Azira Osmanović, Damir Šarić: Budućnost interne revizije u vrijeme digitalne transformacije, X Međunarodna konferencija Ekonomskog fakulteta Brčko, Zbornik radova, 2024.

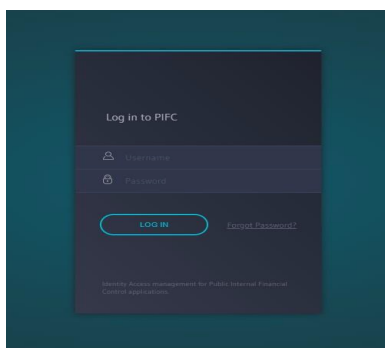
<sup>3</sup> Op.cit.

interne revizije mora se staviti na sajber sigurnost, koja će predstavljati strateški rizik kojim treba sveobuhvatno upravljati na nivou cijele organizacije. Digitalna transformacija i s njom pojava sajber kriminala podrazumijeva da se ovaj rizik treba uključiti u godišnji plan interne revizije. Neophodno je da interna revizija prati digitalnu transformaciju, jer ukoliko interna revizija presporo ili prebrzo djeluje, to može rezultirati rizikom pružanja pogrešnog uvjerenja ili gubitka kredibiliteta interne revizije. Kako se rizici konstantno mijenjaju, vrlo je važno da i planovi interne revizije budu fleksibilni i da se mogu prilagođavati pojavama novih rizika. S razvojem informacionih tehnologija postavlja se pitanje da li će u budućnosti tradicionalni model sastavljanja strateškog pa i godišnjeg plana interne revizije biti održiv, jer se izuzetno brzo mijenjaju poslovni rizici, a s tim u vezi trebaju se moći mijenjati i planovi interne revizije. Sveobuhvatnu analizu finansijskih i nefinansijskih podataka interni revizori trebaju razmatrati korištenje novih alata koje im pružaju informacione tehnologije. Danas, sa digitalnom transformacijom poslovanja i pojavom novih rizika, nije primjereno započeti revizijski angažman s listom očekivanih kontrola jer dolazi do znatno bržeg zastarijevanja. Fokus rada internih revizora treba biti na procesu upravljanja rizicima kako bi se na taj način omogućilo brže prihvatanje inovacija. Digitalna transformacija pred interne revizore stavlja izazov suočavanja s rastućim odgovornostima, upravljanja informacijama, ali i praćenja i usklađivanja svog rada s novim i rastućim poslovnim rizicima. Interni revizori trebaju uložiti maksimalan trud u edukaciju i izgraditi bazu znanja, vještina i sposobnosti. Primjena digitalizacije u procesu obavljanja interne revizije zahtijeva kontinuirano profesionalno usavršavanje i ulaganje u poboljšavanje i nadograđivanje postojećih i sticanja novih znanja, vještina i sposobnosti te povećavanje korištenja novih tehnologija. Važno je naglasiti da, bez obzira na sve izazove koje donosi digitalizacija procesa interne revizije i potrebna znanja koja se moraju usvojiti, tradicionalno revizijsko obrazovanje je važno i predstavlja temelj rada. Neophodna je kontinuirana nadogradnja postojećih znanja kroz edukacije i prilagođavanje novim okolnostima poslovanja. Sa novim Globalnim standardima interne revizije koji su u primjeni od januara 2025. godine važna je primjena principa 10, koji se odnosi na upravljanje resursima. Naime, budućnost rada internih revizora značajno će biti određena primjenom ovog principa u kojem se određuje da upravljanje resursima zahtijeva pribavljanje i efektivnu upotrebu finansijskih, ljudskih i tehnoloških resursa. Posebno se treba osvrnuti na standard 10.3 "Tehnološki resursi" u kojem se naglašava da izvršni rukovodilac revizije mora osigurati da funkcija interne revizije ima odgovarajuću tehnologiju kao podršku procesu interne revizije, pri čemu je važno da se redovno vrši provjera i vrednovanje tehnologije s ciljem poboljšanja efektivnosti i efikasnosti. Kako bi se mogli na pravi način koristiti tehnološki resursi, neophodno je i kontinuirano provođenje adekvatnih obuka. Tokom svog rada interni revizori u fazi planiranja i obavljanja revizorskih angažmana koriste različite digitalne tehnologije, jer njihova upotreba omogućava bolji uvid, kvalitetniji rad, veću produktivnost i efikasnost, ali doprinosi i znatnoj uštedi vremena koje se može kvalitetnije iskoristiti kod analize i evaluacije rezultata. Digitalne tehnologije sa sobom mogu donijeti brojne rizike, ali bez sumnje mogu doprinijeti kvalitetnijoj reviziji i neophodno ih je inkorporirati u rad internih revizora.

## 2. Implementacija PIFC aplikacije

S ciljem unapređenja sistema finansijskog upravljanja i kontrole i procesa interne revizije u Bosni i Hercegovini uvela se primjena PIFC aplikacije. Osnovni cilj PIFC aplikacije

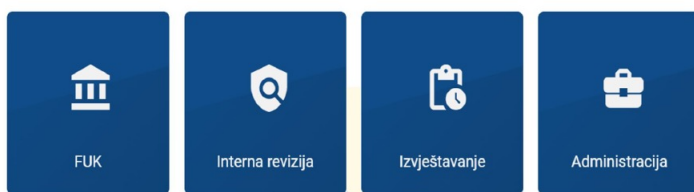
cija jeste da unaprijedi sistem internih kontrola. Radi se o softverskoj aplikaciji otvorenog koda koja je razvijena u okviru projekta “Unapređenje javne interne finansijske kontrole u Bosni i Hercegovini” koji je finansiran od strane Evropske unije. Za upotrebu i primjenu PIFC aplikacije u Bosni i Hercegovini nadležne su centralne harmonizacijske jedinice koje se nalaze u sastavu ministarstva finansija i to na nivou države i entiteta. PIFC aplikacija razvijena je za potrebe sva tri nivoa vlasti u BiH od strane eksperata Projekta EU “PIFC - 3”, u svrhu daljnjeg razvoja FUK-a i interne revizije, te osiguranja usklađenosti istih sa zahtjevima međunarodnih standarda i primjera dobre prakse. Osnovni cilj upotrebe PIFC aplikacija je da olakša izradu periodičnih izvještaja u svrhu efikasnijeg izvještavanja rukovodioca institucije o internim kontrolama u instituciji i centralnih harmonizacijskih jedinica u izradi godišnjeg konsolidovanog izvještaja interne revizije i godišnjeg konsolidovanog izvještaja o finansijskom upravljanju i



Slika 1 - Pristup PIFC aplikaciji

PIFC aplikaciju čine četiri dijela:

- finansijsko upravljanje i kontrola (FUK),
- interna revizija (IR),
- izvještavanje i
- administracija.

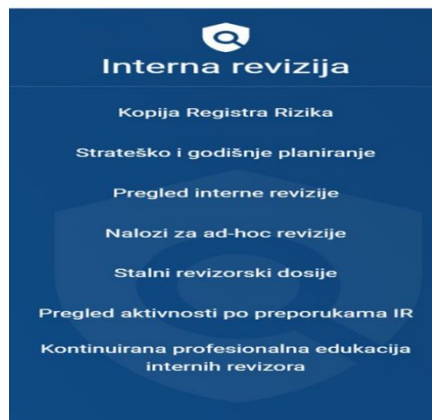


Slika 2 - Moduli u PIFC aplikaciji

Pristup modulu interne revizije sastoji se iz:

- kopija Registra rizika,
- strateško i godišnje planiranje,
- obavljanje interne revizije,
- revizorska dokumentacija,
- kontinuirana profesionalna edukacija internih revizora.





Slika 3 - Modul interne revizije

Za uspostavljanje i upotrebu PIFC aplikacije u BiH bilo je neophodno osigurati koordinaciju i harmonizaciju pri izradi okvirnih strateških dokumenata i propisa iz oblasti FUK-a i interne revizije na svim nivoima vlasti u Bosni i Hercegovini. Navedena koordinacija i harmonizacija vršila se putem Koordinacionog odbora centralnih jedinica za harmonizaciju koji čine rukovodioci Centralne harmonizacijske jedinice Ministarstva finansija i trezora BiH, Centralne harmonizacijske jedinice Federalnog ministarstva finansija i Centralne jedinice za harmonizaciju Ministarstva finansija Republike srpske. Centralne harmonizacijske jedinice učestvovala su u pripremi i izradi tehničkih karakteristika za PIFC aplikaciju. PIFC aplikacija je prvobitno bila planirana s namjenom isključivo za izvještavanje o sistemu FUK-a i interne revizije. Cilj je bio da PIFC aplikacija sadrži i funkcionalne pretpostavke za unapređenje i digitalizaciju cijelog sistema internih kontrola. Uvođenje PIFC-a jedan je od zahtjeva iz dokumenta Evropskog partnerstva sa Bosnom i Hercegovinom, pri čemu su osnov za uvođenje i razvoj PIFC-a u Bosni i Hercegovini bili zakoni o internoj reviziji, kao i drugi zakoni koji uređuju oblast finansijskog upravljanja i kontrole. Pretpostavke za testiranje PIFC aplikacije stvorene su u toku 2020. godine. Nakon što su okončane sigurnosne i tehničke provjere, u junu 2022. godine PIFC aplikacija za institucije BiH je instalirana na server Ministarstva finansija i trezora BiH. U toku 2022. godine Centralna harmonizacijska jedinica donijela je propise kojim su definirani način i uslovi pristupa PIFC aplikaciji, a to su: Pravilnik o korištenju Aplikacije za praćenje, upravljanje i izvještavanje o sistemu finansijskog upravljanja i kontrole i interne revizije u institucijama BiH (Službeni glasnik BiH, broj 21/22) i Odluka o imenovanju administratora za PIFC aplikaciju, broj: 01-1-02-2-214-1/22 od 25. 8. 2022. godine, koja je objavljena na internet stranici Ministarstva finansija i trezora BiH, u dijelu koji se odnosi na Centralnu harmonizacijsku jedinicu. Primjena PIFC aplikacije u institucijama BiH kroz modul interne revizije počela je 1. 3. 2023. godine. Međutim, zbog neadekvante i nepotpune podrške na održavanju servera na kojem je instalirana PIFC aplikacija, za izvještajni period 2023. godine jedinice interne revizije u institucijama BiH nisu mogle u kontinuitetu primjenjivati PIFC aplikaciju. Bez obzira na sve napore koje ulažu centralne harmonizacijske jedinice i dalje je prisutan problem funkcionalnosti PIFC aplikacije uslijed nedostatka memorije na serveru PIFC aplikacije, a koji je neophodan za pohranjivanje i čuvanje podataka i dokumentacije za FUK i internu reviziju. Aplikacija PIFC ima svoje brojne prednosti koje se, prije svega, ogledaju u sljedećem:

- Povećava se efikasnost u praćenju i kontroli, jer dolazi do automatizacije procesa pri čemu PIFC aplikacija omogućava automatsko praćenje i obavljanje kontrola u stvarnom vremenu. Pored toga, dolazi i do centralizacije podataka, jer su informacije o internim revizijama od naloga za pokretanje do plana aktivnosti za provođenje preporuka i konačnog revizorskog izvještaja pohranjene u jedinstvenoj bazi podataka što znatno olakšava pristup i upravljanje informacijama.

- Povećava se transparentnost i odgovornost, jer, kada interni revizor unosi podatke o procesu revizije, podaci su vidljivi i rukovodiocu interne revizije, a kasnije su svi ti podaci kroz godišnji izvještaj vidljivi i dostupni Centralnoj harmonizacijskoj jedinici. PIFC aplikacija omogućava generisanje automatizovanih izvještaja u skladu s regulatornim zahtjevima, smanjujući mogućnost grešaka ili previda.

- Bolje se upravlja rizicima s obzirom da se registar rizika kontinuirano mijenja i moguće je praćenje rizika kroz godine.

- Doprinosi se boljoj internoj kontroli jer se kroz PIFC aplikaciju mogu pratiti revizije od početka do kraja.

- Primjenom PIFC aplikacije značajno može doći do unapređenja rada javnih institucija kroz efikasniji proces praćenja i kontrole javnih finansija. Povećanje efikasnosti, smanjenje grešaka, bolja usklađenost sa zakonodavstvom i transparentnost su ključne prednosti koje omogućavaju da se javni resursi koriste odgovorno i s većom odgovornošću prema građanima.

### **3. Primjena PIFC aplikacije u Federaciji Bosni i Hercegovine - empirijsko istraživanje**

#### **3.1. Definisanje ciljeva, uzorka i metoda istraživanja**

Empirijskim istraživanjem koje je provedeno nastojalo se dokazati kakav je značaj primjene PIFC aplikacije za rad internih revizora u FBiH. Kao ciljna populacija u istraživanju bili su interni revizori zaposleni na teritoriji Federacije Bosne i Hercegovine. Anketirano je 68 internih revizora koji su uredno vratili popunjene anketne upitnike. U radu se postavio zadatak istražiti značaj primjene PIFC aplikacije za rad internih revizora, i zbog tog osnovnog zadatka, a s ciljem da se vrati što više popunjenih upitnika, postavljena su samo tri pitanja.

#### **3.2. Tehnike i metode istraživanja**

Istraživanje uključuje prikupljanje primarnih podataka metodom anketiranja putem anketnog upitnika namijenjenog internim revizorima u FBiH. Od ukupnog broja poslanih upitnika na 96 e-mail adresa u tromjesečnom istraživanju, vraćeno je uredno popunjeno 68 upitnika, što čini stopu odgovora od 70,83 % ukupnog uzorka. Stopa odgovora smatra se prihvatljivom za ovaj tip istraživanja, uz napomenu kako rezultati ovog istraživanja nisu pravilo, ali su svakako dobra smjernica za buduća istraživanja.

#### **3.3. Rezultati istraživanja**

Cilj provedenog empirijskog istraživanja predstavlja sintetizovanje saznanja o primjeni PIFC aplikacije i njenom značaju i utjecaju na kvalitet rada internih revizora.

Na osnovu provedenog istraživanja 73% ispitanika smatra da primjena PIFC aplikacije pozitivno utječe i olakšava rad internim revizorima, 26% ih smatra da možda primjena PIFC aplikacije pozitivno utječe i da možda olakšava rad internim revizorima, dok samo 1% ispitanika smatra da primjena PIFC aplikacije pozitivno ne utječe i ne olakšava rad internim revizorima. Ovi podaci prikazani su u narednoj Tabeli i Grafikonu.

|               | %           |
|---------------|-------------|
| da            | 73%         |
| ne            | 1%          |
| možda         | 26%         |
| <b>ukupno</b> | <b>100%</b> |

*Izvor: izrada autora*

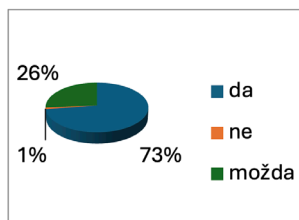


Tabela 1 i Grafikon 1 - Anketirani prema mišljenju utjecaja primjene PIFC aplikacije na rad internih revizora

U Tabeli 2 može se vidjeti da je srednja vrijednost ocjene utjecaja primjene PIFC aplikacije na kvalitet rada internih revizora 1,68 uz standardnu devijaciju od 0,901. Većina internih revizora ocjenjuje da primjena PIFC aplikacije pozitivno utječe na kvalitet rada internih revizora, s obzirom da se ocjene kreću oko srednje vrijednosti.

|                       |                |      |
|-----------------------|----------------|------|
| N                     | <u>Valid</u>   | 68   |
|                       | <u>Missing</u> | 0    |
| <u>Mean</u>           |                | 1.68 |
| <u>Median</u>         |                | 1.00 |
| <u>Mode</u>           |                | 1    |
| <u>Std. Deviation</u> |                | .901 |
| <u>Variance</u>       |                | .793 |
| <u>Range</u>          |                | 2    |

Tabela 2 - Utjecaj primjene PIFC aplikacije na kvalitet rada internih revizora

Istraživanjem se nastojalo doći i do preciznijih odgovora. Provedenim istraživanjem došlo se do podatka da najviše ispitanika (71%) primjenjuje PIFC aplikaciju u svom radu, njih 21% ponekad primjenjuje aplikaciju PIFC, a 8% ispitanika ne primjenjuje nikako aplikaciju PIFC u svom radu. Ovi podaci prikazani su u Tabeli 3 i Grafikonu 2.

|               | %           |
|---------------|-------------|
| da            | 71%         |
| ne            | 8%          |
| ponekad       | 21%         |
| <b>ukupno</b> | <b>100%</b> |

*Izvor: izrada autora*

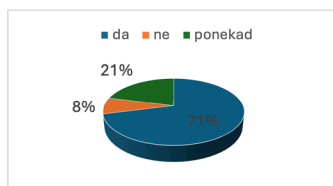


Tabela 3 i Grafikon 2 - Anketirani prema primjeni PIFC aplikacije u radu

## Zaključak

Intrerni revizori moraju pratiti savremeni način poslovanja koji podrazumijeva upotrebu digitalnih tehnologija u radu. U narednom periodu od internih revizora će se sve više očekivati da imaju savjetodavnu ulogu i primjena digitalnih tehnologija znatno će doprinijeti uštedi vremena. Ono što se svakako ne smije zanemariti jeste da primjena digitalnih tehnologija sa sobom nosi i nove rizike koje će biti potrebno na vrijeme identifikovati kako bi organizacija ostvarila svoje poslovne ciljeve. Da bi se došlo do digitalne transformacije interne revizije, neophodno je izvršiti investiranje u dodatne

edukacije, kako bi se povećalo znanje, vještine i sposobnost u njihovoj primjeni od strane internih revizora. Značajan će biti utjecaj digitalne transformacije na internu reviziju u budućnosti, jer, s jedne strane, digitalna transformacija poslovanja organizacije mijenjat će objekt, predmet, kriterije za ocjenu i kriterije koji određuju postupak provođenja interne revizije, a, s druge strane, nove tehnologije mijenjat će način rada internih revizora u smislu veće primjene digitalnih tehnologija. Proces prilagođavanja novim načinima rada i digitalnoj transformaciji sigurno će biti znatno sporiji u Bosni i Hercegovini zbog ograničenosti i nedostatka revizijskih resursa, kao i ograničenih finansijskih i ljudskih resursa, a dodatni izazov je i nerazumijevanje upravljačkih struktura organizacije o potrebi digitalne transformacije za djelovanje interne revizije. Primjena PIFC aplikacije u Bosni i Hercegovini još uvijek je u fazi razvoja i adaptacije. Centralne harmonizacijske jedinice u Bosni i Hercegovini raspolazu s informacijama o broju korisnika kojima je dodijeljen kredencijal za pristup PIFC aplikaciji. Međutim, problem je u broju aktivnih korisnika koji svakodnevno koriste ovu aplikaciju u svom radu. Još uvijek postoji određen otpor u primjeni aplikacije i ona se uglavnom koristi samo na kraju godine kako bi se putem nje unio godišnji izvještaj o radu interne revizije. Ono što je za svaku pohvalu jeste da se u Bosni i Hercegovini sprovode kontinuirane obuke i edukacije za internu reviziju koje u fokusu imaju korištenje PIFC aplikacije. Održivost profesije interne revizije zavisiće od njene spremnosti i umijeća prilagođavanja te prihvatanja promjena, a jedan od načina je svakako i uvođenje digitalizacije u proces obavljanja interne revizije.

## APPLICATION OF DIGITALIZATION IN THE INTERNAL AUDIT PROCESS

**Summary:** Significant changes in the way of doing business are the result of new and innovative information and communication technologies. In modern business conditions, one of the most significant challenges for internal auditors is certainly to incorporate new digital technologies into their work. Today, the way of doing business is based on mobile business, cloud data storage, use and analysis of large amounts of data, use of the Internet, robotics, 3D printing, use of drones, 'blockchain' technology, use of artificial intelligence, emergence of cybersecurity risks, fraud risks, etc. Modern technologies fundamentally change business models, and today it is necessary for internal auditors to follow global trends and innovations that shape this profession. In practice, this is not a simple process because it requires additional training and a change in the way of working, which is why there is often resistance from internal auditors. However, regardless of resistance, the methodology of internal audit requires the application of digitalization in the process of performing internal audit. This paper will analyze the application of digital technologies in the process of internal audit. Special focus will be placed on the use of the PIFC application used by internal auditors in Bosnia and Herzegovina. The aim is to identify the importance of the use of digitization, as well as the importance of continuous professional education of internal auditors.

**Keywords:** internal audit, digitization, information technology, digital transformation of business, risk management, Global Internal Audit Standards

### Literatura

1. Azira Osmanović, Damir Šarić, Budućnost interne revizije u vrijeme digitalne transformacije, X. Međunarodna konferencija Ekonomskog fakulteta Brčko, 2024.
2. Boris Tušek, Lajoš Žager, Ivana Barišić, Interna revizija, Hrvatska zajednica računovođa i financijskih djelatnika, Zagreb, 2014.
3. Chartered Institute of Internal Auditors, dostupno na: <https://www.iaa.org.uk/resources/it-auditing-and-cyber-security/impact-of-digitisation-on-the-internal-audit-activity/>, [pristupljeno 21.02.2025.]
4. Metodologija rada interne revizije u javnom sektoru u Federaciji Bosne i Hercegovine ("Sl. novine FBiH" broj: 20/23)
5. Mile Stanišić, Interna kontrola i revizija, Univerzitet Singidunum, Beograd, 2014.
6. The Institute of Internal Auditors Global, dostupno na: <https://global.theiia.org/standards-guidance/mandatory-guidance/Pages/Definition-of-Internal-Auditing.aspx>, [pristupljeno 22.02.2025.]
7. The Institute of Internal Auditors Global, Okvir za efikasnost interne revizije – Novi Međunarodni okvir profesionalnog djelovanja, The IIA Global, Altamonte Springs, Florida, dostupno na: <https://na.theiia.org/standards-guidance/Pages/Standards-and-Guidance-IPPF.aspx> [pristupljeno 22.02.2025.]
8. The Institute of Internal Auditors Global, Preporučene smjernice – Provedbene smjernice, dostupno na: <https://global.theiia.org/standards-guidance/recommended-guidance/Pages/Practice-Advisories.aspx>, [pristupljeno 22.02.2025.]
9. The Institute of Internal Auditors Global, Preporučene smjernice – Dodatne smjernice, dostupno na: <https://na.theiia.org/standards-guidance/recommended-guidance/practice-guides/Pages/Practice-Guides.aspx> [pristupljeno 22.02.2025.]
10. Zakon o internoj reviziji u javnom sektoru u Federaciji Bosne i Hercegovine ("Sl. novine FBiH" broj: 47/08 i 101/16)
11. Pravilnik o korištenju aplikacije za praćenje, upravljanje i izvještavanje o sistemu finansijskog upravljanja i kontrole i interne revizije u institucijama BiH (Službeni glasnik broj 21/22)

## **PAMETNI GRADOVI U KONTEKSTU ZELENE EKONOMIJE: ŠTA MISLE MLADI?**

**dr. sc. Mirela Mabić**

Ekonomski fakultet, Sveučilište u Mostaru

**dr. sc. Dražena Gašpar**

Ekonomski fakultet, Sveučilište u Mostaru

**dr. sc. Ivica Ćorić**

HERA d. o. o. Mostar

**Sažetak:** Razvijene zemlje ubrzano “stvaraju” pametne gradove koristeći napredne digitalne tehnologije, podatkovnu analitiku, obnovljive izvore energije i participativno upravljanje. Gradovi poput Kopenhagena, Singapura ili Barcelone već u svakodnevnom uslugama implementiraju integrirane sustave za pametni promet, digitalno upravljanje energijom, javnu participaciju putem aplikacija i Internet stvari (IoT). Ovi gradovi ulažu u održivu mobilnost, zelenu infrastrukturu i korištenje velikih podataka za donošenje odluka u stvarnom vremenu. Nasuprot tome, Bosna i Hercegovina se još uvijek suočava s infrastrukturnim izazovima, ograničenim ulaganjima u digitalizaciju javnih usluga i nedovoljnom institucionalnom podrškom za razvoj pametnih rješenja. Ipak, projekti poput električnih romobila, pilot-projekti energetske efikasnosti, pametne rasvjete i drugi pojedinačni pokušaji uvođenja pametnih rješenja pokazuju da interes i potencijal postoje, ali izostaje integrirani, sustavni, planirani i strateški pristup. Kako bi se uhvatio korak s razvijenim zemljama, nužno je ulagati ne samo u infrastrukturu nego i u razvoj svijesti građana te njihovo aktivno uključivanje u procese digitalne i zelene transformacije urbanih sredina. U tom procesu posebnu ulogu imaju mladi - generacije koje su odrasle uz digitalne tehnologije, koje ih prirodno doživljavaju kao pomoćnike u svakodnevnom životu, ali i generacije na kojima sve ostaje - budući stručnjaci, donositelji odluka i korisnici urbanih rješenja. No, postavlja se pitanje: znaju li mladi dovoljno o konceptu pametnih gradova i jesu li spremni aktivno sudjelovati u njihovom razvoju? Ta su pitanja poslužila kao polazište za istraživanje provedeno među mladima s ciljem ispitivanja njihovih stavova, razine informiranosti i spremnosti na uključivanje u inicijative vezane uz pametne gradove, posebno u kontekstu zelene ekonomije i digitalizacije urbanih sredina. Dobiveni rezultati pružaju uvid u razinu svijesti, prihvaćanja i potencijal mladih za uključivanje u digitalno-zelene inicijative u svim sredinama. Nadalje, pridonose boljem razumijevanju uloge mladih u oblikovanju strategija održivog razvoja kroz digitalne inovacije jer njihova spremnost na prihvaćanje i razvijanje svrsishodnih tehnoloških rješenja, kao i svijest o važnosti održivog razvoja, presudni su za stvaranje pametnih gradova koji neće biti samo tehnološki napredni, već i društveno uključivi i ekološki odgovorni.

**Ključne riječi:** pametni gradovi, zelena ekonomija, digitalna tehnologija, mladi ljudi

### **Uvod**

Pametni gradovi predstavljaju jedan od ključnih koncepata suvremenog urbanog razvoja i globalnog tehnološkog napretka. Temelje se na integraciji informacijskih i komunikacijskih tehnologija (IKT) radi poboljšanja kvalitete života građana, povećanja

učinkovitosti javnih usluga i smanjenja negativnog utjecaja na okoliš (Albino, Berardi & Dangelico, 2015). Korištenjem digitalnih tehnologija poput Interneta stvari (IoT), umjetne inteligencije (AI) i sustava za upravljanje podacima, pametni gradovi nastoje stvoriti efikasnija, održivija i otpornija okruženja na društvene, ekonomske i okolišne izazove (Joss et al., 2019; Pereira et al., 2018; Bibri & Krogstie, 2020). IKT se integriraju u razne sfere, posebno urbane – od prometa, energetske učinkovitosti, javne sigurnosti, do gospodarenja otpadom i vodom. Te tehnologije omogućuju prikupljanje i analizu podataka u stvarnom vremenu, što vodi do bržih, kvalitetnijih odluka i boljih usluga (Joss et al., 2019; Pereira et al., 2018). Takvi sustavi povećavaju operativnu učinkovitost i smanjuju ekološki otisak urbanih područja, što je ključno u doba klimatskih promjena i iscrpljivanja resursa (Ahvenniemi et al., 2017). Pametni gradovi nisu samo tehnički projekti, već složeni sustavi koji zahtijevaju integrirani pristup gdje tehnologija podržava društvene i ekonomske procese, a ne samo infrastrukturne kapacitete (Ahvenniemi et al., 2017). Ovaj model razvoja povezan je s konceptima zelene ekonomije i održivog razvoja, s naglaskom na smanjenje negativnih utjecaja na okoliš kroz učinkovito korištenje resursa, obnovljive izvore energije, smanjenje emisija i upravljanje otpadom (Szczepańska, Kaźmierczak & Myszkowska, 2023). Ta povezanost pametnih gradova i zelene ekonomije ključan je element moderne urbane politike. Zelena ekonomija podrazumijeva djelovanje društva koje osigurava dobrobit ljudi i socijalnu jednakost, smanjujući okolišne rizike i štetu (OECD, 2012). Rješenja poput obnovljivih izvora energije, energetske učinkovitosti zgrada, pametnog upravljanja prometom i električnih vozila direktno doprinose zelenoj ekonomiji (Ahvenniemi et al., 2017). Također, zelena ekonomija potiče razvoj kružne ekonomije u gradovima koja uključuje recikliranje, ponovno korištenje resursa, smanjenje otpada i inovacije u ekološkim tehnologijama (Szczepańska, Kaźmierczak & Myszkowska, 2023). Digitalizacija je ključni pokretač razvoja pametnih gradova jer omogućava prikupljanje i analizu velikih količina podataka u stvarnom vremenu, olakšavajući donošenje brzih i informiranih odluka. Digitalna rješenja poput pametnih prometnih sustava, upravljanja energijom i e-uprave doprinose većoj operativnoj učinkovitosti i poboljšanju kvalitete života (Chatterjee & Kar, 2018). Digitalizacija i zelena ekonomija su usko povezane jer pametna rješenja smanjuju potrošnju energije i emisije štetnih plinova, ostvarujući ekološke ciljeve i boreći se protiv klimatskih promjena (Ahvenniemi et al., 2017). Uspješna implementacija pametnih gradova ne ovisi samo o tehnologiji i infrastrukturi, već i o uključivanju građana, osobito mladih, u planiranje i upravljanje resursima (Pereira et al., 2018; Molnár et al., 2021). Istraživanja pokazuju da često izostaje uključivanje lokalne zajednice, a u digitalnim inicijativama postoje prepreke poput digitalnog jaza, nedostatka povjerenja u institucije i zabrinutosti oko privatnosti i sigurnosti podataka (Lehtiö et al., 2023). Rješenje problema nedovoljne uključenosti zajednice moglo bi biti u mladima koji su najveći korisnici digitalnih tehnologija, nositelji održivosti i inovacija te imaju visoku ekološku svijest i spremnost za nove tehnologije (Bakar, Hamid & Hussain, 2023). Zbog toga su neprocjenjivi u razvoju pametnih gradova kao najotvoreniji za inovacije i promjene. Mladi su ključni u oblikovanju održivih i digitalno povezanih zajednica, no često nisu dovoljno uključeni u odlučivanje i planiranje (Habib et al., 2023; Georgiadis, Christodoulou & Zinonos, 2021). Njihova digitalna pismenost i ekološka svijest čine ih idealnim pokretačima transformacije gradova, ali prepreke poput nedostatka participacije, nepovjerenja u institucije i zabrinutosti oko privatnosti često ograničavaju njihovu aktivnu ulogu (Lehtiö et al., 2023). Istraživanja pokazuju da se mladi osjećaju isključenima i nemaju prilike za sudjelovanje u oblikovanju pametnih gradova (Habib



et al., 2023; Georgiadis, Christodoulou & Zinonos, 2021). Percepcije i stavovi mladih o pametnim gradovima i digitalnim rješenjima utječu na spremnost za sudjelovanje. Molnár i sur. (2021) navode da mladi koji razumiju koristi pametnih tehnologija i izražavaju veću spremnost za njihovu podršku i korištenje. Izazovi u implementaciji uključuju digitalni jaz, socijalnu nejednakost i tehničke te organizacijske prepreke (Habib et al., 2023; Mańka-Szulik, Krawczyk & Wodarski, 2023).

S obzirom na složenost koncepta pametnih gradova i njihovu važnost za održivi urbani razvoj, nužno je dublje razumjeti kako mladi percipiraju ovaj koncept, njihove stavove prema digitalizaciji i zelenoj ekonomiji, te koje prepreke i poticaje vide za uključivanje u razvoj i korištenje pametnih rješenja. Takvo razumijevanje ključno je za oblikovanje politika i praksi koje će biti prihvatljive i učinkovite te osigurati inkluzivan razvoj pametnih gradova usmjeren na stvarne potrebe građana, posebice mladih. Stoga se autorima nametnulo pitanje: Kako mladi u njihovoj okolini doživljavaju i razumiju koncept pametnih gradova, koje stavove imaju prema digitalizaciji i zelenoj ekonomiji, te koje prepreke i poticaje prepoznaju u sudjelovanju u razvoju i primjeni pametnih rješenja? Odgovor na ovo pitanje važan je za oblikovanje politika i praksi koje omogućuju uključivanje mladih kao aktivnih sudionika u transformaciji gradova u održive i tehnološki napredne cjeline. Spomenuto pitanje okosnica je rada koji se nastavlja opisom metodologije, prezentiranjem rezultata te osvrtnom i smjernicama za daljnje istraživanje.

## Metodologija

Za potrebe rada provedeno je empirijsko istraživanje realizirano anketiranjem mladih ljudi. Instrument istraživanja bio je anketni upitnik koji su pripremili autori. Upitnik je pripremljen temeljem sličnih radova dostupnih u literaturi, a strukturiran je u pet cjelina koje su se odnosile na: 1) informiranost i razumijevanje pametnih gradova; 2) stavove o digitalizaciji i zelenoj ekonomiji; 3) ulogu i sudjelovanje mladih; 4) prepreke i potencijale te 5) postojeća i željena pametna rješenja. Pored navedenih cjelina, upitnik je sadržavao i dodatne dvije cjeline. Jedna se odnosila na navike korištenja digitalne tehnologije, a druga na stavove o utjecaju pametnih rješenja na različite aspekte života i poslovanja. Dodatno, ispitanici su dali odgovore na pitanja o spolu, dobi i prebivalištu. Pitanja su ponuđena kao zatvorena pitanja, a tvrdnje su ocjenjivane Likertovom skalom od pet ocjena (od 1 – nikako se ne slažem do 5 – u potpunosti se slažem).

Empirijsko istraživanje provedeno je na prigodnom uzorku tijekom 4. mjeseca 2025. godine. Uključilo je 110 mladih osoba, 67 (60,9%) djevojaka i 43 (39,1%) mladića, starih od 18 do 30 godina. Prosječna dob ispitanika bila je 22,5 godina ( $SD=3,8$ ). Većina ispitanih mladih ljudi živi u centru grada (53; 48,2%), 38 (34,5%) ih živi u predgrađu, a 19 (17,3%) na selu.

Provedeno je online istraživanje, a anketni upitnik je pripremljen korištenjem Google Formsa. Link za pristup anketi dijeljen je mailom i aplikacijama za komunikaciju (Viber i WhatsApp). Sudjelovanje u istraživanju bilo je dobrovoljno, a popunjavanje upitnika je trajalo 6-7 minuta.

Deskriptivna statistička analiza prikupljenih podataka napravljena je u programu Microsoft Office Excel 2016. Rezultati su iskazani kao broj odgovora i postotak te aritmetičke sredina i standardna devijacija, a prikazani su u tablicama.

## Rezultati

### I. Navike korištenja digitalne tehnologije

Rezultati provedenog istraživanja pokazuju visoku razinu digitalne uključenosti među mladima. Većina mladih svakodnevno koristi digitalne alate i aplikacije poput Google Mapsa ili mobilnog bankarstva, a gotovo svi koriste barem jedan pametni uređaj povezan na Internet (Tablica 1). Nešto manji interes prisutan je za redovno praćenje vijesti i sadržaja o tehnologiji i inovacijama. Mladi umjereno pozitivno procjenjuju vlastite digitalne vještine, što ukazuje na postojanje potencijala za aktivno sudjelovanje u razvoju pametnih gradova, ali i na potrebu za dodatnim obrazovanjem u tom području. Prisutnost pametnih rješenja u njihovoj okolini varira, što može odražavati razlike u stupnju digitalnog razvoja lokalnih zajednica iz kojih dolaze.

|                                                                                                                                 | M    | SD   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
| 1 Koristim aplikacije i digitalne alate u svakodnevnom životu (npr. Google Maps, mobilno bankarstvo, komunikacijske platforme). | 4,62 | 0,72 |
| 2 Pametna rješenja (npr. e-romobili, digitalni info-panoi) prisutna su u mojoj okolini.                                         | 3,58 | 1,22 |
| 3 Redovno pratim vijesti i sadržaje o tehnologiji i inovacijama.                                                                | 3,41 | 1,11 |
| 4 Koristim barem jedan pametni uređaj povezan na internet (npr. pametni sat, pametni telefon, pametna rasvjeta).                | 4,69 | 0,70 |
| 5 Imam dovoljno digitalnih vještina za aktivno sudjelovanje u razvoju pametnih gradova.                                         | 3,89 | 1,04 |
| M – aritmetička sredina; SD – standardna devijacija                                                                             |      |      |

Tabela 1

### II. Informiranost i razumijevanje pametnih gradova

Prije tvrdnji kojima se istraživala informiranost i razumijevanje pametnih gradova, mladi su zamoljeni da napišu prvu asocijaciju na pojmove “pametni grad” i “održivi grad”. Asocijacije mladih na pojam “pametni grad” jasno pokazuju dominantnu vezu između pametnih gradova i tehnologije. U njihovim odgovorima najčešće se spominju pojmovi poput digitalizacije, pametne rasvjete, interneta, umjetne inteligencije, 5G mreže te digitaliziranih svakodневnih usluga. U odgovorima su prisutne i konkretne reference na tehnološki napredne gradove poput Tokija i Kopenhagena, što dodatno potvrđuje percepciju pametnog grada kao visoko tehnološkog i inovativnog urbanog prostora. Mladi pametne gradove prvenstveno doživljavaju kroz prizmu tehnološke infrastrukture i umreženosti. Asocijacije mladih na pojam “održivi grad” pokazuju da mladi održivost prvenstveno povezuju s ekologijom i zaštitom okoliša. Često se spominju pojmovi poput reciklaže, obnovljivih izvora energije, solarnih panela, zelenih površina, parkova i sadnje drveća. U odgovorima se ističu i konkretni primjeri gradova poput Ljubljane, Züricha i Beča, koji su prepoznati kao primjeri održivih urbanih sredina. Za razliku od pametnog grada, održivi grad se percipira kao prostor s manje tehnologije, a više prirodnih elemenata, što ukazuje na snažnu ekološku dimenziju u doživljaju mladih. Nadalje, dobiveni rezultati ukazuju da mladi prepoznaju važnost i koristi digitalnih tehnologija u urbanom kontekstu, ali da njihova informiranost o pojmu “pametni grad” i obrazovna podrška u tom području ostaju ograničene (Tablica 2). Iako većina mladih razumije kako digitalne tehnologije mogu poboljšati kvalitetu života u gradu i slažu se da pametni gradovi uključuju i tehnološki napredak i održivost, prosječna razina upoznatosti s pojmom “pametni grad” ostaje ispod srednje ocjene. Također, gotovo polovina ispitanih mladih osoba nije sigurna razlikuju li jasno pojmove “pametni grad” i “održivi grad”. Indikativno je da većina mladih smatra kako ih fakultet ne informira dovoljno o temama vezanima uz pametne gradove, što upućuje na potrebu za jačanjem obrazovnih sadržaja u ovom području.

|                                                                                  | M    | SD   |
|----------------------------------------------------------------------------------|------|------|
| 1 Upoznat/a sam s pojmom "pametni grad".                                         | 2,99 | 1,15 |
| 2 Razumijem kako digitalne tehnologije mogu poboljšati kvalitetu života u gradu. | 4,12 | 0,91 |
| 3 Pametni gradovi uključuju i tehnološki napredak i održivost.                   | 4,38 | 0,77 |
| 4 Razlikujem pojmove "pametni grad" i "održivi grad".                            | 3,50 | 1,14 |
| 5 Fakultet me dovoljno informira o temama vezanima uz pametne gradove.           | 2,35 | 1,10 |

M – aritmetička sredina; SD – standardna devijacija

Tabela 2

### III. Stavovi o digitalizaciji i zelenoj ekonomiji

Rezultati prikupljeni analizom napisanih asocijacija na pojam zelena ekonomija ukazuju na izraženu osviještenost mladih o ekološkim i društvenim aspektima održivog razvoja. Dominantna skupina odgovora odnosi se na zaštitu okoliša, upotrebu obnovljivih izvora energije i praksu recikliranja. U dobivenim odgovorima najčešće se spominju pojmovi poput reciklaža, obnovljivi izvori energije, očuvanje okoliša, smanjenje emisije štetnih gasova te ekološki prihvatljivo, što potvrđuje da mladi prepoznaju osnovne elemente koji čine temelj zelene ekonomije. Značajan dio ispitanika pojam povezuje s ekonomijom koja djeluje u skladu s principima održivosti i društvene odgovornosti. Odgovori poput ekonomija koja ne šteti planeti, ekonomija koja brine o društvu i ulaganje u održivost ukazuju na razumijevanje zelene ekonomije kao modela koji podrazumijeva ravnotežu između ekonomskog rasta i očuvanja resursa za buduće generacije. Posebno je zanimljivo primijetiti i odgovore koji reflektiraju osobne ili simbolične asocijacije, kao što su bicikl, trava, cvijeće, zdravlje, zeleni grad. Ovi odgovori ilustriraju emocionalnu povezanost s prirodom i svakodnevni doživljaj održivosti. Istovremeno, pojmovi poput Švicarska, online obrasci, marketing i super posložena ekonomija svjedoče o nešto širem, možda apstraktnijem tumačenju pojma, ali i o pokušaju povezivanja zelene ekonomije sa širim društvenim i tehnološkim kontekstom. Odgovor nemam asocijaciju jer prvi put čujem pojam ukazuje na potrebu dodatne edukacije i pojašnjenja koncepta među mladima, što otvara prostor za daljnji rad u obrazovnom procesu. Ostali rezultati u okviru ovog segmenta ukazuju na izrazito pozitivan stav mladih prema ulozi digitalizacije i zelene ekonomije u razvoju gradova (Tablica 3). Najveći stupanj slaganja zabilježen je za tvrdnju koja implicira da gradovi trebaju više ulagati u zelenu infrastrukturu, kao što su biciklističke staze i zelene površine. Ovaj nalaz potvrđuje da mladi jasno prepoznaju važnost fizičkog prostora koji doprinosi kvaliteti života i očuvanju okoliša. Slično, visok stupanj slaganja uočen je i kod tvrdnji koje se odnose na važnost zelene ekonomije za budućnost gradova te na potrebu da obnovljivi izvori energije postanu prioritet u urbanom planiranju (Tablica 3). Ovi rezultati ukazuju da mladi principe održivog razvoja smatraju smjernicama za budući rast i razvoj zajednica, kako lokalnih tako i globalnih, kako ruralnih tako i urbanih. Pozitivni stavovi izraženi su i kada je riječ o digitalizaciji javnih usluga. Mladi prepoznaju da digitalizacija doprinosi kako dostupnosti, tako i efikasnosti usluga koje pružaju javne institucije. Također, prisutna je svijest o tome da pametne tehnologije mogu igrati značajnu ulogu u očuvanju okoliša, čime se potvrđuje sve izraženija povezanost između digitalne transformacije i ekološke održivosti.

|                                                                                                     | M    | SD   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
| 1 Digitalizacija javnih usluga poboljšava njihovu dostupnost.                                       | 4,25 | 0,92 |
| 2 Digitalizacija javnih usluga poboljšava njihovu efikasnost - bolje služe građanima.               | 4,35 | 0,79 |
| 3 Korištenje obnovljivih izvora energije trebalo bi biti prioritet za gradove.                      | 4,53 | 0,73 |
| 4 Pametnim tehnologijama se može doprinijeti očuvanju okoliša.                                      | 4,25 | 0,85 |
| 5 Gradovi trebaju više ulagati u zelenu infrastrukturu (npr. biciklističke staze, zelene površine). | 4,65 | 0,63 |
| 6 Zelena ekonomija važna je za budućnost gradova.                                                   | 4,53 | 0,69 |

M – aritmetička sredina; SD – standardna devijacija

Tabela 3

#### IV. Uloga i sudjelovanje mladih

Rezultati pokazuju da ispitani mladi ljudi snažno podržavaju veću uključenost mladih u oblikovanje urbanih politika. Prepoznaju svoju generaciju kao važnog sudionika u procesima promjene, posebno u kontekstu razvoja pametnih i održivih gradova. Istaknuta je i jasna svijest o važnosti građanskog sudjelovanja kroz digitalne alate, poput aplikacija, što ukazuje na razumijevanje suvremenih mehanizama participacije i njihove koristi za lokalne zajednice.

Međutim, kada je riječ o osobnoj uključenosti u konkretne inicijative, rezultati pokazuju nešto umjerenije stavove. Iako postoji određena spremnost za sudjelovanje u projektima vezanim uz pametne gradove, razina motivacije varira. Slično se može primijetiti i kod percepcije vlastitog doprinosa digitalnoj i zelenoj transformaciji, gdje su stavovi uglavnom pozitivni, ali manje izraženi u odnosu na opće podržavanje koncepta.

Ovi rezultati sugeriraju da mladi prepoznaju važnost transformacijskih procesa u urbanom razvoju i sebi pripisuju značajnu ulogu u tim promjenama. Ipak, razlike u razini izražene spremnosti na osobno angažiranje ukazuju na potrebu za dodatnim osnaživanjem i uključivanjem mladih kroz konkretne prilike, platforme i projekte koji bi im omogućili aktivniju participaciju u oblikovanju održivih gradova.

|                                                                                        | M    | SD   |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
| 1 Mladi trebaju imati veću ulogu u oblikovanju urbanih politika.                       | 4,32 | 0,80 |
| 2 Voljan/voljna sam uključiti se u inicijative vezane uz pametne gradove.              | 3,71 | 1,03 |
| 3 Sudjelovanje građana putem digitalnih alata (npr. aplikacija) korisno je i potrebno. | 4,26 | 0,82 |
| 4 Vjerujem da mogu doprinijeti digitalno-zelenoj transformaciji grada.                 | 3,83 | 0,96 |
| 5 Ako se pruži prilika, uključio/la bih se u projekt pametnog grada.                   | 3,67 | 1,18 |
| M – aritmetička sredina; SD – standardna devijacija                                    |      |      |

Tabela 4

#### V. Prepreke i potencijali

Rezultati pokazuju da mladi umjerenom vjeruju u potencijal svojih gradova i zemlje za razvoj pametnih gradova (Tablica 5). Iako prepoznaju određene mogućnosti, njihova percepcija ukazuje na određenu rezerviranost, što može biti rezultat uočenih prepreka u implementaciji pametnih rješenja. Kao najveće prepreke razvoju pametnih gradova izdvajaju nedostatak strateškog pristupa, ograničena ulaganja lokalnih vlasti i slabosti infrastrukture. Posebno je izražen stav da lokalne vlasti ne ulažu dovoljno u razvoj pametnih rješenja, što se percipira kao ključna zapreka napretku u ovom kontekstu (Tablica 5). Također, njihovi odgovori ukazuju da fizička i tehnološka infrastruktura još uvijek nije na razini koja bi omogućila širu primjenu pametnih tehnologija.

Mladi su istakli i nezadovoljstvo razinom uključivanja mladih u procese urbanog planiranja. Percepcija nedovoljne participacije mladih u razvoju urbanih sredina dosljedna je ranije izraženom stavu o potrebi za većim uključivanjem ove populacije u donošenje odluka. Kada je riječ o kadrovskim kapacitetima, odgovori pokazuju blago rezerviran stav o postojanju dovoljnog broja stručnjaka koji bi mogli razvijati pametna rješenja (Tablica 5). Iako se stručni potencijal ne negira u potpunosti, mladi ipak izražavaju određenu nesigurnost u pogledu dostupnosti znanja i kompetencija potrebnih za realizaciju pametnih urbanih inicijativa.

|                                                                                | M    | SD   |
|--------------------------------------------------------------------------------|------|------|
| 1 Moj grad ima potencijal da bude pametni grad.                                | 3,52 | 1,23 |
| 2 Moja zemlja ima potencijal za razvoj pametnih gradova.                       | 3,49 | 1,18 |
| 3 Najveća prepreka razvoju pametnih gradova je nedostatak strateškog pristupa. | 3,90 | 0,99 |
| 4 Lokalne vlasti ne ulažu dovoljno u razvoj pametnih rješenja.                 | 4,46 | 0,81 |
| 5 Nedostatak infrastrukture koči primjenu pametnih tehnologija.                | 4,31 | 0,94 |
| 6 Mladi nisu dovoljno uključeni u planiranje razvoja urbanih sredina.          | 4,12 | 0,99 |
| 7 Postoji dovoljno stručnjaka koji bi mogli razvijati pametna rješenja.        | 3,45 | 1,06 |
| M – aritmetička sredina; SD – standardna devijacija                            |      |      |

Tabela 5

## VI. Postojeća i željena pametna rješenja

Četvrtina ispitanika (28; 25,5%) smatra da u njihovom gradu postoje pametna rješenja, dok ih 27,3% (n=30) smatra da takvih rješenja nema. Značajan dio (52; 47,3%) nije siguran ili ne zna postoje li pametna rješenja u njihovoj lokalnoj zajednici.

U otvorenom pitanju o prepoznatim pametnim rješenjima u lokalnoj zajednici naveli su niz primjera koji upućuju na prisutnost određenih oblika digitalno-tehnološke infrastrukture, najčešće vezane uz urbanu mobilnost, obnovljive izvore energije i digitalizaciju usluga. Najčešće spominjani primjeri uključuju električne romobile i aplikacije za njihov najam, digitalno plaćanje usluga (npr. parking, javni prijevoz) te korištenje aplikacija za praćenje vozila u stvarnom vremenu. Pored mobilnosti, mladi su prepoznali i pametne klupe – često opisane kao solarne klupe, opremljene punjačima i informativnim displejima – kao jedan od najočitijih oblika pametne urbane opreme. Ipak, dio odgovora sugerira da se te tehnologije danas koriste u manjoj mjeri nego ranije, što može ukazivati na problem održavanja ili ograničenu funkcionalnost u praksi.

Dio mladih naveo je i složenije sustave, poput reciklomata, digitalnih servisa gradske uprave i sustava e-ticketinga, što potvrđuje postojanje šireg razumijevanja koncepta pametnog grada. Ipak, dio negativnih i indiferentnih odgovora pokazuje da nemaju svi jednako razvijena svijest o pametnim rješenjima u svojoj okolini. Ovakvi rezultati mogu biti posljedica nevidljivosti određenih tehnologija, slabije informiranosti ili nedostatka promocije postojećih inicijativa. U odgovorima na pitanje koja pametna rješenja mladi smatraju korisnima za vlastiti svakodnevni život, najčešće su se izdvajala ona koja doprinose boljoj organizaciji vremena, efikasnijem kretanju i jednostavnijem obavljanju administrativnih i financijskih zadataka. Najviše mladih istaknulo je rješenja vezana za praćenje javnog prijevoza u stvarnom vremenu, smatrajući ih korisnima zbog lakšeg planiranja kretanja i smanjenja stresa u urbanom prometu. Znatno broj naveo je i digitalne javne usluge kao važno sredstvo uštede vremena, izbjegavanja gužvi i pojednostavljenja administrativnih procedura. Online i mobilno plaćanje, uključujući plaćanje parkinga i korištenje mobilnog bankarstva, također su prepoznati kao rješenja koja doprinose svakodnevnoj praktičnosti i dostupnosti servisa. Pojedini su naglasili važnost pametnih prometnih rješenja, poput pametnih semafora, pametnog parkinga i dinamičkog upravljanja saobraćajem, koji omogućavaju bolje upravljanje urbanim tokovima. Također su prepoznata rješenja iz domene upravljanja energijom u domaćinstvu – automatsko gašenje uređaja i sustavi za racionalniju potrošnju električne energije – s naglaskom na sigurnost i energetske učinkovitost. Nekoliko mladih navelo je aplikacije za prijavu komunalnih problema i digitalnu participaciju građana kao važan alat za unapređenje komunikacije između građana i lokalne uprave. U manjim omjerima spominjane su pametne klupe, pametna javna rasvjeta, reciklažni sustavi, e-romobili, pametne kante za otpad, ali i šira digitalna rješenja poput online prijave, digitalnih potpisa, pa čak i korištenje AI alata poput ChatGPT-a. Kao rješenja koja je najpotrebnije uvesti u njihovom mjestu/prebivalištu istaknuli su: 1) aplikacije za prijavu komunalnih problema; 2) digitalne javne usluge (npr. online prijave, plaćanja, informacije); 3) pametne parking sustave; 4) pametnu javnu rasvjetu (automatsko prilagođavanje svjetla); 5) pametne kante za otpad (senzori pune kante, optimizacija odvoza).

S druge strane, tri rješenja koja su potrebna, no njihovo uvođenje nije hitno su: 1) digitalna participacija građana (npr. glasanje, prijedlozi, ankete); 2) interaktivne mape grada (kulturne točke, dostupne usluge, e-turizam); 3) pametni prijevoz (npr. širenje mreže e-romobila, aplikacije za najam).

VII. Stavovi o utjecaju pametnih rješenja na...

Dobiveni rezultati pokazuju da mladi u visokoj mjeri prepoznaju višestruke koristi koje pametna rješenja imaju za urbani razvoj i kvalitetu života. Najvišu prosječnu ocjenu dobila je tvrdnja da pametna rješenja olakšavaju svakodnevni život, što jasno ukazuje na orijentaciju mladih prema praktičnim i funkcionalnim aspektima digitalno-tehnološkog razvoja. Također, visok stupanj slaganja zabilježen je kod tvrdnji koje povezuju pametna rješenja s povećanjem zadovoljstva građana, smanjenjem zagađenja, povećanjem sigurnosti u prometu, kao i s doprinosom održivosti urbanih sredina (Tablica 6). Uočava se da mladi prepoznaju potencijal pametnih rješenja u unapređenju zdravlja, boljem upravljanju resursima i poboljšanju kvalitete zraka, što govori o većoj osviještenosti utjecaja tehnologije na okoliš i društvenu dobrobit. Nešto nižu, ali i dalje pozitivnu ocjenu, dobila je tvrdnja o poticanju otvaranja novih radnih mjesta, što može sugerirati umjerenu dozu rezerve kada je riječ o neposrednim ekonomskim koristima za tržište rada, ali i ukazivati na potrebu dubljeg razumijevanja ekonomskih dimenzija zelene i digitalne transformacije.

| Pametna rješenja...                                              | M    | SD   |
|------------------------------------------------------------------|------|------|
| 1 ... značajno doprinose smanjenju zagađenja i očuvanju okoliša. | 4,25 | 0,84 |
| 2 ... značajno poboljšavaju kvalitetu zraka u urbanim sredinama. | 4,10 | 0,88 |
| 3 ... pomažu boljem upravljanju resursima.                       | 4,31 | 0,89 |
| 4 ... smanjuju prometne gužve i povećavaju sigurnost na cestama. | 4,24 | 0,91 |
| 5 ... povećavaju zadovoljstvo građana.                           | 4,28 | 0,83 |
| 6 ... olakšavaju svakodnevni život.                              | 4,39 | 0,83 |
| 7 ... doprinose boljem zdravlju građana.                         | 4,11 | 0,93 |
| 8 ... potiču ekonomski rast.                                     | 4,26 | 0,92 |
| 9 ... potiču otvaranje novih radnih mjesta.                      | 3,87 | 1,12 |
| 10 ... doprinose održivosti urbanih sredina.                     | 4,24 | 0,92 |
| M – aritmetička sredina; SD – standardna devijacija              |      |      |

Tabela 6

## Zaključna razmatranja

U ovom radu analizirani su stavovi i percepcija mladih ljudi o digitalnoj uključenosti, konceptu pametnih i održivih gradova te ulozi digitalizacije i zelene ekonomije u urbanom razvoju. Dobiveni rezultati pokazuju visoku razinu svakodnevne upotrebe digitalnih tehnologija među mladima, ali i određene nedostatke u informiranosti i razumijevanju pojmova pametnih i održivih gradova. Mladi prepoznaju prednosti pametnih rješenja u olakšavanju svakodnevnog života i zaštiti okoliša, no izražena je i potreba za jačanjem obrazovnih sadržaja kako bi se njihovo znanje produbilo i omogućilo aktivnije sudjelovanje u digitalno-zelenoj transformaciji urbanih sredina.

Praktične implikacije ovog istraživanja naglašavaju važnost osnaživanja mladih kroz formalno i neformalno obrazovanje, ali i kroz konkretne prilike za sudjelovanje u oblikovanju pametnih i održivih gradova. Rezultati sugeriraju da obrazovne institucije trebaju integrirati sadržaje o digitalnim tehnologijama i zelenoj ekonomiji u svoje kurikulume, dok lokalne vlasti i organizacije trebaju razvijati platforme i projekte koji će potaknuti veću uključenost mladih. Također, postoji potreba za većom promocijom i vidljivošću pametnih rješenja u zajednicama kako bi se povećala svijest i angažman građana. Glavno ograničenje istraživanja je mali i prigodni uzorak, što ne dopušta generalizaciju rezultata na širu populaciju. Buduća istraživanja trebala bi obuhvatiti veće i raznovrsnije uzorke te dodatno istražiti faktore koji utječu na motivaciju mladih za sudjelovanje u digitalno-zelenoj transformaciji. Dodatno, bilo bi dobro provesti i dublju analizu obrazovnih programa i evaluacija njihovog utjecaja na razumijevanje i prihvatanje koncepta pametnih gradova među mladima.

## SMART CITIES IN THE CONTEXT OF THE GREEN ECONOMY: WHAT DO YOUTH THINK?

**Summary:** Developed countries are rapidly "creating" smart cities using advanced digital technologies, data analytics, renewable energy sources, and participatory governance. Cities like Copenhagen, Singapore, or Barcelona are already implementing integrated systems for smart traffic, digital energy management, public participation through applications, and the Internet of Things (IoT) in their daily services. These cities are investing in sustainable mobility, green infrastructure, and the use of big data for real-time decision-making. In contrast, Bosnia and Herzegovina still faces infrastructural challenges, limited investments in the digitalization of public services, and insufficient institutional support for the development of smart solutions. Nevertheless, projects such as electric scooters, pilot projects for energy efficiency, smart lighting, and other individual attempts to introduce smart solutions demonstrate that there is interest and potential; however, an integrated, systematic, planned, and strategic approach is lacking. To catch up with developed countries, it is necessary to invest not only in infrastructure but also in the development of citizens' awareness and their active involvement in the digital and green transformation of urban environments.

In this process, young people play a special role - the generations that grew up with digital technologies, who naturally perceive them as assistants in everyday life, as well as the generations that will inherit everything - future experts, decision-makers, and users of urban solutions. However, the question arises: Do young people know enough about the concept of smart cities, and are they ready to participate actively in their development? These questions served as a starting point for a survey conducted among young people to examine their attitudes, level of information, and readiness to engage in initiatives related to smart cities, particularly in the context of the green economy and the digitalization of urban environments. The results obtained provide insight into the level of awareness, acceptance, and potential of young people to engage in digital and green initiatives across all environments. Furthermore, they contribute to a better understanding of the role of young people in shaping sustainable development strategies through digital innovations because their readiness to accept and develop purposeful technological solutions, as well as awareness of the importance of sustainable development, are crucial for creating smart cities that will be not only technologically advanced but also socially inclusive and environmentally responsible.

**Keywords:** smart cities, green economy, digital technology, young people

### Literatura

1. Ahvenniemi, H., Huovila, A., Pinto-Seppä, I., & Airaksinen, M. (2017). What are the differences between sustainable and smart cities? *Cities*, 60, 234–245. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.009>
2. Albino, V., Berardi, U., & Dangelico, R. M. (2015). Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. *Journal of Urban Technology*, 22(1), 3–21. <https://doi.org/10.1080/10630732.2014.942092>
3. Bakar, A. A., Hamid, N. A., & Hussain, M. S. (2023). Assessing factors influencing citizens' behavioral intention towards smart city living. *Smart Cities*, 6(6), 138. <https://doi.org/10.3390/smartcities6060138>
4. Bibri, S. E., & Krogstie, J. (2020). Smart sustainable cities of the future: An extensive



interdisciplinary literature review. *Sustainable Cities and Society*, 61, 102283. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102283>

5. Chatterjee, S., & Kar, A. K. (2018). Effects of successful adoption of information technology enabled services in proposed smart cities of India: From user experience perspective. *Journal of Science and Technology Policy Management*, 9(2), 189–209. <https://doi.org/10.1108/JSTPM-05-2018-0051>
6. Georgiadis, A., Christodoulou, P., & Zinonos, Z. (2021). Citizens' perception of smart cities: A case study. *Applied Sciences*, 11(6), 2517. <https://doi.org/10.3390/app11062517>
7. Habib, M., Alanzi, B., Rauf, H. A., & Alhazmi, A. K. (2023). Assessing factors influencing citizens' behavioral intention towards smart city living. *Smart Cities*, 6(6), 138. <https://doi.org/10.3390/smartcities6020138>
8. Joss, S., Sengers, F., Schraven, D., Caprotti, F., & Dayot, Y. (2019). The smart city as global discourse: Storylines and critical junctures across 27 cities. *Journal of Urban Technology*, 26(1), 3–34. <https://doi.org/10.1080/10630732.2018.1558387>
9. Lehtiö, A., Hartikainen, M., Ala-Luopa, S., Olsson, T., & Väänänen, K. (2023). Understanding citizen perceptions of AI in the smart city. *AI & Society*, 38, 1123–1134. <https://doi.org/10.1007/s00146-022-01589-7>
10. Mańka-Szulik, M., Krawczyk, D., & Wodarski, K. (2023). Residents' perceptions of challenges related to implementation of smart city solutions by local government. *Sustainability*, 15(11), 8532. <https://doi.org/10.3390/su15118532>
11. Molnár, L., Nagy, Z., Péter, Z., Szép, T., & Szendi, D. (2021). Miskolc as a “Smart City” – Experiences of a Questionnaire Survey. *Theory, Methodology, Practice – Review of Business and Management*, 17(Special Issue), 11–21. <https://doi.org/10.18096/TMP.2021.01.02>
12. OECD (2012). *Green growth and sustainable development: OECD insights*. OECD Publishing.
13. Pereira, G. V., Parycek, P., Falco, E., & Kleinhans, R. (2018). Smart governance in the context of smart cities: A literature review. *Information Polity*, 23(2), 143–162. <https://doi.org/10.3233/IP-170067>
14. Szczepańska, A., Kaźmierczak, R., & Myszkowska, M. (2023). Smart City Solutions from a Societal Perspective-A Case Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(6), 5136. <https://doi.org/10.3390/ijerph20065136>

# INFORMACIJSKO-KOMUNIKACIJSKE TEHNOLOGIJE KAO ASISTIVNE TEHNOLOGIJE U EKOLOŠKOM ODGOJU I OBRAZOVANJU

doc. dr. sc. Aida Rizvanović  
Rektorat, Univerzitet u Zenici

prof. dr. sc. Izet Pehlić  
Islamski pedagoški fakultet, Univerzitet u Zenici

**Sažetak:** U radu se analizira uloga i potencijali informacijsko-komunikacijskih tehnologija (ICT) i asistivnih tehnologija (AT) u kontekstu ekološkog odgoja i obrazovanja. Polazeći od sve prisutnijih izazova održivosti i potrebe za inkluzivnijim obrazovanjem, u rad se istražuje na koji način informacijsko-komunikacijska asistivna tehnologija može doprinijeti razvoju ekološke pismenosti kod djece i mladih, posebno onih s teškoćama u razvoju. Kroz detaljnu razradu osnovnih pojmova, klasifikaciju asistivnih tehnologija, prikaz njihovih funkcija u procesu učenja, kao i primjere dobre prakse iz obrazovnih institucija u regiji, ukazuje se na njihovu sposobnost da povećaju pristupačnost, angažman i kvalitet obrazovnog procesa. Iako su prednosti primjene asistivnih tehnologija u obrazovanju brojne, u radu se također razmatraju tehničke, obrazovne i etičke prepreke koje ograničavaju njihovu širu implementaciju. Posebna pažnja posvećena je njihovom doprinosu održivom razvoju, stvaranju globalnih ekoloških zajednica učenika i osnaživanju učenika s invaliditetom za aktivno sudjelovanje u ekološkim projektima. Na osnovu istraživačkih uvida, iznesene su preporuke za daljnja istraživanja, razvoj edukativnih alata i unapređenje obrazovnih politika s ciljem stvaranja inkluzivnog i ekološki osviještenog obrazovnog sistema.

**Ključne riječi:** ekološki odgoj, asistivna tehnologija, informacijsko-komunikacijska tehnologija, inkluzija u obrazovanju, održivi razvoj, digitalna pristupačnost

## 1. Uvod

Ekološki odgoj i obrazovanje zauzimaju sve značajnije mjesto unutar savremenih obrazovnih politika i kurikulumu, budući da se globalni izazovi poput klimatskih promjena, zagađenja i smanjenja biološke raznolikosti nameću kao urgentni problemi našeg vremena (Tilbury, 1995: 203). Ekološki odgoj ima za cilj razviti svijest, znanja, vrijednosti i ponašanja koja podržavaju održivi razvoj i odgovoran odnos prema okolišu. U tom kontekstu, integracija informacijsko-komunikacijskih tehnologija (IKT), a posebno asistivnih IKT rješenja, postaje izuzetno važna jer omogućava inkluzivnije, pristupačnije i interaktivnije oblike učenja za sve učenike, uključujući i one s teškoćama u razvoju (UNESCO, 2020: 15). Asistivne tehnologije, poput komunikacijskih uređaja, specijaliziranih softvera, senzorskih sistema ili prilagođenih digitalnih obrazovnih materijala, osnažuju učenike u procesu savladavanja nastavnog sadržaja i aktivnijem uključivanju u obrazovni proces (Al-Azawei, Serenelli & Lundqvist, 2016: 94). U kombinaciji s principima ekološkog obrazovanja, ove tehnologije ne samo da pomažu inkluziji već i doprinose razvoju ekološke pismenosti kod šireg spektra učenika (Havu-Nuutinen et al., 2022: 6).

I pored rastućeg interesa za održivi razvoj i digitalnu transformaciju obrazovanja,

uvođenje IKT asistivnih tehnologija u područje ekološkog odgoja još uvijek nije dovoljno istraženo niti sistemski implementirano u obrazovnim institucijama u regiji jugoistočne Europe. Često se ekološki sadržaji prezentiraju na načine koji nisu dovoljno dostupni djeci s različitim razvojnim potrebama, što može dovesti do isključenosti i ograničenog razumijevanja ključnih pojmova održivosti (Đokić, 2019: 137; Bešić, 2021: 112). Značaj ove teme ogleda se upravo u potrebi za razvijanjem inovativnih i inkluzivnih obrazovnih pristupa koji koriste informacijsko-komunikacijske asistivne tehnologije kako bi omogućili ravnopravan pristup ekološkom učenju svim učenicima. Time se ne samo poboljšava kvalitet obrazovanja, već se i doprinosi širem društvenom cilju stvaranja održive i inkluzivne zajednice (Pantić & Wubbels, 2010: 466).

Cilj ovog preglednog rada jeste da istraži i kritički analizira ulogu informacijsko-komunikacijskih i asistivnih tehnologija u promociji ekološke svijesti i unapređenju obrazovne inkluzije u kontekstu ekološkog odgoja. Svrha rada je ukazati na konkretne mogućnosti koje asistivne tehnologije pružaju u obrazovanju djece s teškoćama, ali i prikazati na koji način one mogu doprinijeti sveukupnoj transformaciji obrazovnog sistema prema inkluzivnijem i održivijem modelu. Poseban fokus bit će stavljen na:

- klasifikaciju i funkcije najčešće korištenih informacijsko-komunikacijskih alata asistivne tehnologije u obrazovanju;
- evaluaciju primjera dobre prakse u obrazovnim ustanovama u Bosni i Hercegovini, Hrvatskoj i Srbiji;
- preporuke za daljnji razvoj obrazovne politike i prakse u ovom području.

Ovaj rad nastoji doprinijeti teorijskom i praktičnom razumijevanju važnosti povezivanja tehnologije, inkluzije i održivosti u savremenom obrazovanju.

## 2. Definicija i osnovni pojmovi

### Asistivna tehnologija

Asistivna tehnologija (AT) predstavlja širok spektar alata, uređaja, softverskih rješenja i metoda dizajniranih da poboljšaju funkcionalne sposobnosti osoba s invaliditetom i drugim razvojnim teškoćama. Prema definiciji koju nude Hersh i Johnson (2008: 2), asistivne tehnologije su "bilo koji predmet, oprema, softver ili sistem koji se koristi za povećanje, održavanje ili poboljšanje funkcionalnih sposobnosti pojedinaca s invaliditetom". U obrazovnom kontekstu, ove tehnologije omogućavaju učenicima s posebnim obrazovnim potrebama ravnopravan pristup sadržajima, participaciju u nastavnim aktivnostima i razvoj kompetencija.

U obrazovnim ustanovama, AT uključuju niz rješenja: od jednostavnih pomagala (kao što su tekstualni povećivači ili pomagala za pisanje), preko softverskih aplikacija za čitanje teksta (npr. screen readers), do složenih komunikacijskih uređaja koji omogućavaju izražavanje misli putem simboličkog jezika ili glasovnih sinteza (Bešić, 2021: 113). Primjena AT u obrazovanju ne samo da podupire individualizaciju nastave već i jača inkluzivnost školskog okruženja (Đokić, 2019: 135).

### Ekološki odgoj i obrazovanje

Ekološki odgoj i obrazovanje predstavljaju sistematičan proces kroz koji pojedinci razvijaju svijest, znanje, vrijednosti, stavove i vještine potrebne za razumijevanje i rješavanje problema životne sredine, te za aktivno učešće u očuvanju prirode i održivom razvoju (UNESCO, 2018: 7). Ovaj pristup učenja zasnovan je na principima interdisciplinarnosti,

participacije i akcije, s ciljem oblikovanja ekološki osviještenih građana koji razumiju kompleksne odnose između prirode, društva i tehnologije (Jurdana & Bagarić, 2014: 62).

U kontekstu predškolskog i školskog obrazovanja, ekološki odgoj često uključuje projektno učenje, boravak u prirodi, praktične aktivnosti recikliranja i očuvanja resursa, te integraciju sadržaja o održivosti u različite nastavne predmete (Marković & Komlenović, 2020: 91). Iako se sve više prepoznaje važnost ove vrste obrazovanja, još uvijek postoji prostor za jačanje njene implementacije kroz digitalne i inovativne pristupe.

#### **IKT u obrazovanju**

Informacijsko-komunikacijske tehnologije (IKT) u obrazovanju odnose se na korištenje digitalnih alata, softvera i mrežnih resursa u svrhu unapređenja nastavnog i obrazovnog procesa. IKT u obrazovanju obuhvata upotrebu računala, interaktivnih ploča, aplikacija za učenje, internetskih platformi, kao i specijaliziranih softvera za obrazovne svrhe (Redecker, 2017: 21). U savremenom obrazovanju ove tehnologije doprinose personalizaciji učenja, većoj interaktivnosti i boljoj dostupnosti nastavnog materijala. Integracija IKT alata postaje ključna i u kontekstu ekološkog obrazovanja jer omogućava učenicima da na inovativan način istražuju ekološke teme – putem virtualnih simulacija, digitalnih mapa, edukativnih igara i mrežnih istraživačkih projekata (Stanić, 2020: 142). Osim toga, IKT alati su posebno značajni za učenike koji koriste asistivne tehnologije jer omogućavaju fleksibilan pristup informacijama i potiču aktivno učenje. U kombinaciji, IKT i AT stvaraju moćan alat za inkluzivno i održivo obrazovanje koje odgovara potrebama današnjeg društva i izazovima sutrašnjice.

### **3. Uloga asistivnih tehnologija u obrazovanju**

Asistivne tehnologije potpomognute IKT alatima u obrazovnom kontekstu obuhvataju širok spektar rješenja koja se mogu klasificirati kao softverske, hardverske i hibridne tehnologije. Softverske tehnologije uključuju aplikacije i digitalne alate koji omogućavaju čitanje teksta, prepoznavanje glasa, komunikaciju putem simbola ili specijalizirano učenje. Primjeri su screen readers (čitači ekrana), softver za predikciju teksta i edukativne aplikacije sa vizuelno-auditivnom podrškom (Smith & Smith, 2010: 38).

Hardverske tehnologije uključuju uređaje poput Brajevih pisača, komunikacijskih uređaja s glasovnom sintezom, specijaliziranih tastatura i miševa, te drugih fizičkih pomagala koja omogućavaju pristup učenju učenicima sa fizičkim, senzornim ili kognitivnim teškoćama. Hibridne tehnologije predstavljaju integraciju softverskih i hardverskih rješenja – primjer su pametne ploče koje omogućuju interaktivno učenje uz zvučne i vizuelne elemente, u kombinaciji s pristupnim prilagodbama za učenike s invaliditetom.

Prema klasifikaciji koje nudi Smith & Smith (2010: 41), asistivne tehnologije u obrazovanju treba posmatrati kroz prizmu funkcionalnosti, a ne samo tehničke složenosti – važno je da budu prilagođene individualnim potrebama učenika i obrazovnom kontekstu.

#### **Tehnologije za pristup i učenje**

Uloga asistivnih tehnologija u procesu učenja ogleda se u njihovoj sposobnosti da učenicima pruže alternativne načine pristupa informacijama, izražavanja znanja i uključivanja u nastavni proces. Primjena digitalnih audiovizuelnih materijala, mobilnih aplikacija i multimedijalnih sadržaja omogućava učenje kroz slike, zvukove i interakciju, što je posebno važno za učenike s poteškoćama u čitanju, pisanju ili verbalnoj

komunikaciji (Burgstahler, 2015: 11). Naprimjer, korištenje pametnih ploča u kombinaciji s vizuelnim prikazima ekoloških ciklusa, simulacija i edukativnih videomaterijala, može pomoći djeci da bolje razumiju kompleksne ekološke pojave (Stanić, 2020: 145). Također, aplikacije koje podržavaju učenje kroz igru i zadatke sa povratnom informacijom povećavaju motivaciju i angažovanost učenika s teškoćama (Bešić, 2021: 118). Asistivne tehnologije tako omogućuju inkluzivnije učenje jer personaliziraju pristup sadržajima i pomažu učenicima da savladaju prepreke u učenju koje proizlaze iz invaliditeta ili razvojnog profila.

#### Pristupačnost i inkluzija

Jedan od ključnih doprinosa asistivnih tehnologija jeste kreiranje inkluzivnog odgojno-obrazovnog okruženja koje omogućava ravnopravno učešće svih učenika. Pristupačnost (engl. accessibility) u obrazovanju ne podrazumijeva samo fizički pristup prostoru, već i prilagođenost nastavnog sadržaja, metoda i tehnologija različitim sposobnostima učenika (UNESCO, 2020: 19).

Učionice koje koriste asistivne tehnologije postaju prostori učenja u kojima se smanjuju barijere i gdje svi učenici imaju jednake šanse za uspjeh. To uključuje korištenje digitalnih knjiga sa mogućnošću uvećavanja teksta ili konvertovanja u audioformat, kao i platforme koje omogućuju dvosmjernu komunikaciju između nastavnika i učenika putem simboličkog jezika ili glasovnih komandi (Đokić, 2019: 138).

Inkluzija se ne odnosi samo na fizičko prisustvo djece s teškoćama u redovnim razredima, već na njihovo aktivno sudjelovanje u učenju – što asistivne tehnologije u velikoj mjeri omogućavaju. Time se ostvaruju ciljevi jednakosti, kvaliteta i društvene pravde u obrazovanju (Pantić & Wubbels, 2010: 471).

### 4. Integracija IKT u ekološki odgoj i obrazovanje

#### Digitalni alati u ekološkom obrazovanju

Razvoj digitalnih tehnologija stvorio je nove mogućnosti za inovativne i interaktivne pristupe u obrazovanju za održivi razvoj. Digitalni alati u ekološkom obrazovanju omogućuju vizuelizaciju kompleksnih procesa, kao što su klimatske promjene, ciklus vode ili biodiverzitet, čime se olakšava razumijevanje ekoloških principa kod učenika različitih sposobnosti. Među najčešće korištenim alatima su interaktivne edukativne igre, simulacije okoliša, vizuelni scenariji, videolekcije i platforme za zajedničko istraživanje (Zeng et al., 2019: 4). Naprimjer, edukativne aplikacije poput EcoKids i WWF Together omogućavaju djeci da putem igre uče o zaštiti okoliša i održivim praksama. Ove aplikacije često nude opcije pristupačnosti, kao što su audionaracija, prilagodba veličine fonta, kontrasta i interaktivni kvizovi, što ih čini pogodnima za korištenje u inkluzivnim učionicama (Stanić, 2020: 147). Također, upotreba digitalnih plakata, digitalnih priča (storytelling) i virtuelnih laboratorija omogućava učenicima s različitim stilovima učenja da se aktivnije uključe u sadržaje vezane za ekologiju.

#### Primjeri uspješnih praksi

Integracija IKT asistivnih tehnologija u ekološko obrazovanje već je prisutna u nekim obrazovnim praksama koje mogu poslužiti kao modeli za širu primjenu. U Hrvatskoj je, naprimjer, u okviru projekta e-Škole, nekoliko osnovnih škola implementiralo ekološke teme kroz digitalne udžbenike i interaktivne zadatke prilagođene učenicima s posebnim odgojno-obrazovnim potrebama (Jurdana & Bagarić, 2014: 72).

Slično tome, u Srbiji su u okviru projekta Inkluzija kroz digitalnu ekologiju realizovane radionice za učenike s poteškoćama u razvoju, koristeći VR naočale i taktilne ekrane kako bi se djeca "uronila" u simulirane prirodne ekosisteme i time razvila emocionalnu povezanost s prirodom (Đokić, 2019: 139). U Bosni i Hercegovini, neke obrazovne institucije su implementirale virtualne ekološke laboratorije, koji omogućavaju djeci da putem tableta i pametnih tabli istražuju teme poput reciklaže, obnovljivih izvora energije i zaštite biljnog svijeta, uz podršku asistivnih alata za učenike s komunikacijskim teškoćama (Bešić, 2021: 120).

Ovi primjeri ukazuju na to da korištenje dostignuća IKT u asistivnoj tehnologiji može imati snažan uticaj na ekološko obrazovanje kada se pravilno planira i poveže s didaktičkim ciljevima.

#### Potencijal za pristupačnost i motivaciju

Jedan od ključnih razloga za primjenu IKT asistivnih tehnologija u ekološkom obrazovanju jeste njihova sposobnost da povećaju pristupačnost sadržaja i motivaciju učenika. Djeca koja imaju poteškoće u učenju često nailaze na prepreke u tradicionalnim oblicima nastave, dok asistivne tehnologije omogućuju da i oni postanu aktivni učesnici odgojno-obrazovnog procesa (Burgstahler, 2015: 17).

Korištenjem tehnologija koje uključuju vizuelne, auditivne i kinestetičke elemente, učenici ne samo da lakše razumiju kompleksne pojmove, već i razvijaju osjećaj kompetencije i pripadnosti. Motivacija se dodatno pojačava uključivanjem učenika u interaktivne projekte, kao što su digitalni dnevници posmatranja prirode, ekološke akcije dokumentovane putem mobilnih aplikacija ili virtualne prezentacije učenika o lokalnim ekološkim problemima.

Tehnologija tako postaje alat za osnaživanje učenika, omogućavajući im da aktivno doprinesu zaštiti okoliša i razvoju zajednice, bez obzira na njihove individualne teškoće.

### 5. Izazovi i prepreke u implementaciji IKT/AT

Iako IKT u funkciji asistivne tehnologije pružaju značajne prednosti u inkluzivnom i ekološkom obrazovanju, njihova implementacija u odgojno-obrazovni sistem suočava se s brojnim izazovima. Ove prepreke mogu se klasifikovati na tehničke, obrazovne te socijalne i etičke, pri čemu svaka kategorija ima svoje specifičnosti koje usporavaju ili otežavaju širu primjenu ovih tehnologija u praksi.

#### Tehničke prepreke

Jedan od najčešćih izazova u primjeni informacijsko-komunikacijskih asistivnih tehnologija jeste nedostatak tehničkih resursa. Mnoge odgojno-obrazovne institucije, naročito u zemljama u razvoju, nemaju dovoljno finansijskih sredstava za nabavku opreme, softverskih licenci ili osiguranje tehničke podrške. To se posebno odnosi na škole u ruralnim sredinama, gdje je infrastruktura često zastarjela ili nedovoljno razvijena (Đokić, 2019: 140). Također, složenost nekih digitalnih platformi i aplikacija može predstavljati prepreku za njihovu svakodnevnu upotrebu. Iako su mnoge tehnologije razvijene s ciljem povećanja dostupnosti, njihova konfiguracija, integracija u nastavni proces i održavanje često zahtijevaju dodatne tehničke kompetencije koje nastavnici nemaju (Stanić, 2020: 149). Uz to, softverske greške, nekompatibilnost uređaja i nedostatak internet konekcije dodatno otežavaju pouzdanu upotrebu asistivne tehnologije.

## Obrazovni izazovi

Pored tehničkih, značajne prepreke postoje i na obrazovnom nivou, prije svega u nedovoljnoj edukaciji i profesionalnoj pripremi nastavnika za korištenje asistivnih tehnologija. Mnogi nastavnici, iako pozitivno ocjenjuju ideju inkluzije i digitalizacije, izražavaju nesigurnost u vezi sa vlastitim kompetencijama za njihovu praktičnu primjenu (Bešić, 2021: 122).

Nadalje, često ne postoji sistematska podrška u obliku radionica, mentorstva ili digitalne didaktike koja bi omogućila nastavnicima da tehnologiju koriste kao sastavni dio nastavnog plana i programa, posebno u kontekstu ekološkog odgoja. Bez odgovarajuće obuke i jasno definisanih metodoloških smjernica, tehnologija ostaje marginalizovana i koristi se povremeno, više kao dodatak nego kao suštinski alat za inkluzivno i ekološki osviješteno obrazovanje (Jurdana & Bagarić, 2014: 74).

## Socijalne i etičke prepreke

Primjena IKT asistivnih tehnologija u obrazovanju otvara i niz etičkih i socijalnih pitanja, naročito u kontekstu zaštite privatnosti, digitalne sigurnosti i ravnopravnosti. Kako ističe Selwyn (2016: 83), postoji opasnost od digitalne marginalizacije, pri kojoj učenici iz siromašnijih sredina ili manjinskih grupa nemaju jednak pristup tehnologiji, čime se produbljuju postojeće obrazovne nejednakosti.

Također, korištenje personalizovanih digitalnih alata koji prikupljaju podatke o učenicima (npr. napredak, potrebe, ponašanje) postavlja pitanje privatnosti i zaštite podataka djece. U odgojno-obrazovnim sistemima gdje ne postoje jasne smjernice o prikupljanju i obradi ovakvih podataka, postoji rizik od zloupotrebe ili nenamjernog kršenja prava učenika (UNESCO, 2020: 23). Osim toga, ako se tehnologija koristi bez uzimanja u obzir kulturnih i jezičnih razlika, može doći do digitalne diskriminacije, gdje alati favorizuju određene oblike komunikacije i isključuju druge (Pantić & Wubbels, 2010: 469). Ovo je posebno relevantno u multikulturnim učionicama, gdje je neophodno osigurati ravnopravnu dostupnost i prilagodbu sadržaja svim učenicima.

## 6. Prednosti i potencijali IKT u ekološkom odgoju

Savremeno obrazovanje sve više prepoznaje važnost uključivanja IKT u obrazovne procese, posebno u oblasti ekološkog odgoja i obrazovanja. Ove tehnologije nude niz prednosti koje nisu samo tehničke prirode, već doprinose kreiranju inkluzivnijeg, globalno povezanog i održivog odgojno-obrazovnog sistema.

### Povećanje inkluzivnosti u obrazovanju

Jedna od najočitijih prednosti IKT rješenja kao asistivne tehnologije jeste njihova sposobnost da povećaju inkluzivnost odgojno-obrazovnog procesa. Djeca sa smanjenim fizičkim, senzornim ili kognitivnim sposobnostima često se suočavaju s preprekama u usvajanju nastavnog sadržaja, posebno kada je riječ o složenim temama poput klimatskih promjena ili očuvanja biodiverziteta. Asistivne tehnologije – kao što su čitači ekrana, softveri za prepoznavanje glasa, interaktivne table i komunikacijski uređaji – omogućuju ovim učenicima da ravnopravno učestvuju u obrazovnim aktivnostima (Burgstahler, 2015: 19). Kada se primjenjuju u okviru ekološkog odgoja, ove tehnologije pomažu djeci da vizueliziraju prirodne fenomene, učestvuju u ekološkim eksperimentima i izraze svoje mišljenje o pitanjima zaštite okoliša, čak i kada imaju ograničene verbalne ili motoričke sposobnosti (Bešić, 2021: 117). Time se ne samo poboljšava njihovo



razumijevanje ekoloških tema, već se i jača osjećaj pripadnosti i samopouzdanja.

Kreiranje globalne ekološke zajednice

Digitalne tehnologije omogućile su razvoj obrazovnih mreža koje nadilaze geografske granice, čime su stvoreni uslovi za formiranje globalne ekološke zajednice učenika, nastavnika i odgojno-obrazovnih institucija. Platforme poput eTwinning, Eco-Schools i UNESCO-ovih digitalnih edukativnih programa omogućuju djeci iz različitih zemalja da zajednički rade na projektima vezanim za ekologiju, razmjenjuju iskustva i razvijaju globalnu ekološku svijest (UNESCO, 2020: 31).

Asistivne tehnologije u tom kontekstu imaju ključnu ulogu jer osiguravaju da i učenici s invaliditetom mogu učestvovati u ovim međunarodnim inicijativama. Naprimjer, kroz digitalne kampanje za očuvanje vode ili reciklažu, učenici koriste aplikacije i komunikacijske alate koji su dostupni svima – uključujući one koji koriste alternativne načine komunikacije (Đokić, 2019: 141). Takva participacija pomaže u razvoju osjećaja globalne odgovornosti i osnažuje djecu da djeluju lokalno, a razmišljaju globalno.

Održivi razvoj

Asistivne tehnologije podržane IKT u obrazovanju direktno doprinose ostvarivanju ciljeva održivog razvoja (SDG 4 i SDG 13), jer ne samo da promoviraju inkluzivnost, već i podučavaju mlade generacije odgovornom odnosu prema prirodi i resursima. Kroz upotrebu digitalnih sadržaja umjesto papirnih materijala, virtuelnih simulacija umjesto štetnih eksperimenata u stvarnom okruženju, te online edukacija koje smanjuju potrebu za putovanjima, tehnologija postaje alat i za ekološki održivu praksu (Fien, 2002: 31).

Uz to, obrazovni sadržaji koji se plasiraju putem digitalnih medija često uključuju aspekte ekološke etike, kritičkog mišljenja o potrošnji resursa, i razumijevanja ekosistema, čime se dodatno podstiče razvoj ekološke pismenosti među učenicima (Stanić, 2020: 146). Asistivne tehnologije omogućuju da i oni učenici koji bi inače bili isključeni iz ovih diskusija, aktivno učestvuju i daju doprinos.

## 7. Zaključak

U ovom radu analizirana je uloga i značaj IKT asistivnih tehnologija u ekološkom odgoju i obrazovanju s ciljem ukazivanja na njihove potencijale, izazove i pravce budućeg razvoja. Kroz prikaz osnovnih pojmova, primjera dobre prakse i postojećih prepreka, jasno se pokazalo da ove tehnologije predstavljaju snažan alat za unapređenje inkluzivnosti, pristupačnosti i kvalitetnog obrazovanja o ekologiji u savremenom digitalnom dobu.

Ključni nalazi ovog rada potvrđuju da IKT rješenja korištena kao asistivna tehnologija:

- omogućuju ravnopravan pristup učenju o ekološkim temama djeci s fizičkim, senzornim i kognitivnim teškoćama,
- doprinose interaktivnijem i multimedijalnom pristupu ekološkom odgoju i obrazovanju, kroz digitalne igre, simulacije i virtuelne laboratorije,
- omogućavaju povezivanje učenika na globalnom nivou kroz međunarodne ekološke projekte i digitalne obrazovne mreže,
- podupiru principe održivog razvoja, smanjujući potrošnju resursa i jačajući ekološku odgovornost među mladima.

Također je utvrđeno da primjena ovih tehnologija nije bez izazova – postoje tehničke,

obrazovne i etičke prepreke koje je potrebno sistemski rješavati kako bi se osigurala njihova šira i efikasnija integracija u odgojno-obrazovni sistem.

Na osnovu prikazanih saznanja, može se formulirati nekoliko preporuka za buduću rad i istraživanja:

- Unaprijediti edukaciju nastavnika o upotrebi IKT kao asistivne tehnologije uz razvoj programa stručnog usavršavanja fokusiranih na inkluzivno i ekološki odgoj i obrazovanje.

- Razvijati nove digitalne obrazovne alate koji kombinuju ekološki sadržaj i pristupačne funkcionalnosti, osmišljene u saradnji s edukatorima i stručnjacima za posebne potrebe.

- Sprovesti empirijska istraživanja o efektima upotrebe asistivnih tehnologija u kontekstu ekološkog odgoja i obrazovanja kako bi se osigurala validacija postojećih i novih modela.

- Uspostaviti intersektorsku saradnju između odgojno-obrazovnog, tehnološkog i ekološkog sektora, s ciljem kreiranja sistemskih rješenja za održivo i inkluzivno obrazovanje.

Gledajući unaprijed, moguće je zamisliti obrazovni sistem u kojem će ovakve asistivne tehnologije postati neizostavan dio pristupa ekološkim temama – ne samo kao tehnička podrška učenicima, već kao sredstvo koje podstiče kritičko mišljenje, empatiju prema prirodi i aktivno građansko djelovanje. Takva budućnost podrazumijeva škole koje koriste pametne tehnologije kako bi učenicima omogućile da uče direktno iz simuliranih ekosistema, učestvuju u rješavanju stvarnih ekoloških problema i povezuju se s vršnjacima širom svijeta. U tom kontekstu, asistivne tehnologije ne treba posmatrati samo kao sredstvo za kompenzaciju teškoća, već kao pokretače inovacija i katalizatore za obrazovanje koje oblikuje generacije spremne da odgovore na izazove savremenog svijeta – uključivo, održivo i digitalno.

## INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES AS ASSISTIVE TECHNOLOGIES IN ENVIRONMENTAL TEACHING AND LEARNING

**Summary:** This paper analyzes the role and potential of information and communication technologies (ICT) and assistive technologies (AT) within the context of environmental education. Starting from the growing challenges of sustainability and the need for more inclusive educational practices, the study explores how IT-based assistive technologies can contribute to the development of environmental literacy among children and youth, particularly those with developmental disabilities. Through a comprehensive examination of fundamental concepts, a classification of assistive technologies, an overview of their functions in the learning process, and an analysis of best practices from educational institutions in the region, the paper highlights their capacity to enhance accessibility, learner engagement, and the overall quality of education. While the benefits of applying assistive technologies in education are considerable, the paper also addresses technical, pedagogical, and ethical barriers that hinder their broader implementation. Special attention is given to their contribution to sustainable development, the formation of global environmental learning communities, and the empowerment of students with disabilities to actively participate in ecological projects. Based on the research insights, the paper offers recommendations for further studies, the development of educational tools, and the advancement of educational policies aimed at building an inclusive and environmentally aware education system.

**Keywords:** environmental education, assistive technology, information technology, educational inclusion, sustainable development, digital accessibility

### Literatura

1. Al-Azawei, A., Serenelli, F., & Lundqvist, K. (2016). Universal Design for Learning (UDL): A Content Analysis of Peer-Reviewed Journal Papers from 2012 to 2015. *Journal of the Scholarship of Teaching and Learning*, 16(3), 39–56. <https://doi.org/10.14434/josotl.v16i3.19295>
2. Bešić, E. (2021). Uloga inkluzivnih metoda u podučavanju održivog razvoja u osnovnim školama. *Pedagogija*, 76(1), 109–125.
3. Burgstahler, S. (2015). *Creating Inclusive Learning Opportunities in Higher Education: A Universal Design Toolkit*. Harvard Education Press.
4. Đokić, M. (2019). Informacione tehnologije u inkluzivnom obrazovanju: izazovi i mogućnosti. *Zbornik Instituta za pedagoška istraživanja*, 51(1), 129–144. <https://doi.org/10.2298/ZIP1901129D>
5. Fien, J. (2002). Advancing sustainability in higher education: Issues and opportunities for research. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 3(3), 243–253. <https://doi.org/10.1108/14676370210434688>
6. Havu-Nuutinen, S., Kärkkäinen, S., Keinonen, T., Uitto, A., Juuti, K., & Lavonen, J. (2022). Promoting Students' Environmental Literacy Through Inquiry-Based Science Education. *International Journal of Science Education*, 44(1), 1–22. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.2008866>
7. Hersh, M., & Johnson, M. A. (2008). *Assistive Technology for Visually Impaired and Blind People*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-84628-867-8>
8. Jurdana, D. S., & Bagarić, V. (2014). Ekološki odgoj i obrazovanje u osnovnoj školi – stavovi učitelja. *Školski vjesnik*, 63(3), 61–79.
9. Marković, D., & Komlenović, Đ. (2020). Ekološki odgoj kroz projektno učenje u predškolskim ustanovama. *Pedagogija*, 75(2), 89–104.
10. Pantić, N., & Wubbels, T. (2010). Teacher Competence as a Basis for Teacher Education: Comparing Views of Teachers and Teacher Educators in Five Western Balkan Countries. *Comparative Education Review*, 54(2), 165–188. <https://doi.org/10.1086/651432>
11. Redecker, C. (2017). *European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu*.

Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/159770>

12. Selwyn, N. (2016). *Education and Technology: Key Issues and Debates* (2nd ed.). Bloomsbury Academic.
13. Smith, R. O., & Smith, S. J. (2010). *Assistive Technology for Students with Special Needs: A Guide for Educators*. Pearson.
14. Stanić, S. (2020). Digitalni alati u nastavi prirode i društva – analiza iskustava učitelja. *Metodički ogledi*, 27(2), 135–151.
15. Tilbury, D. (1995). Environmental education for sustainability: defining the new focus of environmental education in the 1990s. *Environmental Education Research*, 1(2), 195–212. <https://doi.org/10.1080/1350462950010206>
16. UNESCO. (2018). *Education for Sustainable Development: Learning Objectives*. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
17. UNESCO. (2020). *Education for Sustainable Development: A Roadmap*. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
18. Zeng, H., Lu, Y., Wang, D., & Liu, W. (2019). The Effects of an Environmental Education Programme Incorporating Digital Tools on College Students' Environmental Literacy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(24), 5119. <https://doi.org/10.3390/ijerph16245119>

# **PODSTICANJE ZELENE PREDUZETNIČKE INICIJATIVE MEĐU STUDENTIMA: PERCIPIRANE PREDNOSTI, IZAZOVI I MOTIVACIONE STRATEGIJE**

**dr. sc. Mira Šunjić-Beus, prof. emeritus**  
Ekonomski fakultet, Univerzitet u Sarajevu

**prof. dr. Ljiljan Veselinović**  
Ekonomski fakultet, Univerzitet u Sarajevu

**prof. dr. Danijela Martinović**  
Ekonomski fakultet, Univerzitet u Sarajevu

**Sažetak:** Ovaj rad istražuje percepcije studenata o zelenoj preduzetničkoj inicijativi s fokusom na njihovo razumijevanje njenih prednosti, izazova i faktora koji ih motivišu da se uključe u poslovne prakse koje su ekološki održive. Kroz kvalitativnu analizu zasnovanu na Grounded Theory metodi, odgovori 31 studenta su sistematski analizirani kako bi se identificirala i kategorizirala njihova mišljenja o zelenoj preduzetničkoj inicijativi. Nalazi ukazuju na snažno interesovanje za integraciju ekoloških, društvenih i ekonomskih faktora u poslovne prakse, uz izražen naglasak na potrebu za obrazovnim inicijativama, zakonodavnom podrškom i angažmanom zajednice s ciljem podsticanja zelenih preduzetničkih poduhvata. Ova studija naglašava ključnu ulogu obrazovanja u oblikovanju budućih lidera zelenog biznisa i ističe važnost obezbjeđivanja alata i podrške studentima kako bi se uspješno upustili u održivo preduzetništvo. Identifikovanjem percipiranih prepreka i motivacionih faktora kod studenata, istraživanje doprinosi vrijednim uvidima u to kako se obrazovne politike i poslovne prakse mogu uskladiti radi podrške novoj generaciji zelenih preduzetnika, čime se doprinosi širem prelasku ka održivom razvoju.

**Ključne riječi:** zelena preduzetnička inicijativa, percepcije studenata, održive poslovne prakse, utjecaj obrazovanja, ekološka etika, motivacioni faktori, podrška politika

## **1. Uvod**

Potreba za održivim razvojem stavila je u fokus koncept zelene preduzetničke inicijative, gdje preduzeća ne teže isključivo profitabilnosti, već nastoje i da odgovore na ključne ekološke izazove. Kako postaju sve očigledniji negativni efekti klimatskih promjena i iscrpljivanja resursa, uloga zelenih biznisa u podsticanju održivih praksi i inovacija nikada nije bila značajnija. Uprkos ovoj hitnosti, put ka zelenom preduzetništvu donosi kako brojne prilike, tako i značajne izazove. Kako ističe Henry (2009), stručnjaci za održivost se slažu da je učenje ključno za nauku o održivosti, a Leonel (citiran u Sinclair, Diduck i Fitzpatrick, 2008) naglašava važnost obrazovanja u stvaranju globalne svijesti o ekološkim pitanjima: "Moramo probuditi planetarnu svijest među ljudima, a da bismo to postigli, u mnogim situacijama nam je potrebna drugačija pedagogija, drugo obrazovanje" (str. 89). Ključna pitanja koja treba postavljati u okviru ekološkog obrazovanja i obrazovanja za održivi razvoj, prema Walsu (2011), su: koje promjene želimo postići kod učenika i kako možemo stvoriti optimalne uslove i mehanizme podrške koji im omogućavaju da se razvijaju u kontekstu promjena?

Shodno tome, cilj ovog istraživačkog rada jeste da identifikuje razumijevanje studenata,

percipirane koristi i izazove, kao i mjere koje bi ih podstakle da pokrenu zeleni biznis. Proučavanje ovih percepcija korištenjem metode utemeljene teorije (Grounded Theory) pruža strukturiran, empirijski pristup u otkrivanju temeljnih uvjerenja i motivacija koje oblikuju stavove prema održivim poslovnim praksama. Ovo istraživanje je značajno jer pruža uvid u to kako budući lideri u poslovnom svijetu razumiju i postavljaju prioritete kada je riječ o održivosti, te pomaže edukatorima i donosiocima politika da kreiraju obrazovne programe i poslovne podsticaje koji podstiču ekološki osviještene poslovne prakse. Na kraju, ovaj rad može informisati preduzeća i investitore o nadolazećim trendovima i vrijednostima na tržištu. Naša studija ima za cilj popuniti istraživačku prazninu istražujući kako studenti i profesionalci doživljavaju i razumiju koncept “zelene preduzetničke inicijative”. Ovo istraživačko pitanje je slično studiji koju su sprovedi Niemczyk i saradnici (2023), koja ističe da postojeća literatura nudi različite perspektive i naglašava različite aspekte ovog pitanja. Fokusirajući se na stavove studenata, ova studija nastoji otkriti kompleksnu međuzavisnost između obrazovne izloženosti, ličnih vrijednosti, percipiranih prepreka i motivacionih faktora koji utječu na spremnost studenata da započnu i održe zelene poslovne poduhvate. Kroz ovo istraživanje, rad ne doprinosi samo akademskoj raspravi o održivosti u poslovanju, već nudi i praktične uvide koji mogu pomoći edukatorima, kreatorima politika i poslovnim liderima u izgradnji okruženja koje podstiče buduće ekološki osviještene preduzetnike. Na taj način može se procijeniti njihova percepcija i identificirati područja u kojima postoji nedostatak odgovarajućeg znanja, kao i potreba za dodatnim obrazovanjem i promocijom kategorija zelenog preduzetništva. To može poslužiti kao motivacija za dizajniranje novih obrazovnih programa usmjerenih na daljnje obrazovanje studenata ili prilagođavanje postojećih programa u području zelenog preduzetništva interesima studenata. Percepcija studenata može pružiti povratne informacije i doprinijeti razvoju teorijskih koncepata zelenog preduzetništva te interdisciplinarnom pristupu ovom istraživanju. Istraživanje može otkriti nove perspektive i ideje među studentima koje mogu potaknuti inovacije u području zelenog preduzetništva. Razumijevanje kako studenti percipiraju zeleno preduzetništvo može pomoći u pripremi mladih ljudi za zahtjeve budućeg tržišta rada i razvoj kompetencija potrebnih za održivost i inovacije. Osim toga, informacije dobivene iz istraživanja mogu pomoći donosiocima odluka u izradi javnih politika, strategija i akcijskih planova u ovom području. Važno je naglasiti da nije samo nužno istraživati znanje studenata već i načine na koji studenti pretvaraju svoja stajališta i sklonosti u konkretno zeleno ponašanje i pokretanje zelenih preduzeća.

## 2. Pregled literature

Mnogi autori naglašavaju važnost obrazovanja, obuke i programa podrške (npr. Fichter i Tiemann, 2018; Shi et al., 2020; Agu et al., 2021; Cadenas et al., 2020). Akademski podrška je vrlo važna za pokretanje poslovanja. Qazi et al. (2021) smatraju da podrška obrazovanju mora uključivati zeleno preduzetništvo. Perez-Luyo et al. (2023) smatraju da i nastavno osoblje mora biti educirano u području zelenog preduzetništva kako bi ispravno educirali studente. Dalje, isti autori ističu da je doprinos profesora u ocjeni kvalitete akademske podrške koju studenti dobivaju u području zelenog preduzetništva također važan. Prema studiji koju su proveli Anghel i Anghel (2022), postoji značajan interes među studentima za zeleno preduzetništvo, posebno među onima koji posjeduju znanje o održivosti i koji su bili izloženi obrazovanju o preduzetništvu. Takav interes sugerira da obrazovne inicijative i izgradnja znanja o održivosti mogu potaknuti novu

generaciju preduzetnika koji su ekološki osviješteni. Niemczyk et al. (2023) su proveli istraživanje u Poljskoj i Slovačkoj, a stavovi ispitanika u pogledu zelenog preduzetništva bili su kategorizirani u tri skupine: ekološki, društveni i upravljački aspekti. Istraživanje je pokazalo da su percepcije ispitanika i njihovo znanje o zelenom preduzetništvu većinom povezani s ekološkim aspektom. Istraživanje koje je provela Uvarova et al. (2021) fokusira se na “uključivanje pitanja okoliša i održivosti u obrazovne programe preduzetništva kako bi se promovirao zeleni poduzetnički mindset među studentima i stekli vještine za zelene poslovne aktivnosti”. Ova studija naglašava važnost formalnog, interdisciplinarnog obrazovanja mladih u području zelenog poduzetništva. Istraživanje koje je provela Balcarova et al. (2023) na uzorku od 285 studenata ekonomije iz četiri zemlje EU (Bugarska, Češka, Grčka i Mađarska) pokazalo je ograničeno znanje o održivom razvoju, zaštiti okoliša, zelenom preduzetništvu i zelenim vještinama među studentima, pri čemu su studenti najmanje znali o zelenom preduzetništvu i zelenim vještinama. Istraživanje pokazuje inverznu povezanost “između povećanja obrazovanja i razine znanja o prirodnim rješenjima temeljenim na prirodi i zelenoj transformaciji” (str. 5.598). Uvarova et al. (2021) smatraju da “programi preduzetničkog obrazovanja imaju za cilj pružiti poslovne vještine, kompetencije i preduzetnički mindset; rijetko ti obrazovni programi potiču održive vrijednosti, zeleni poslovni mindset i pro-ekološko ponašanje” (str. 5). Jian et al. (2020) dijele sličan stav koji se odnosi na same preduzetnike: “Preduzetnici s visokom kreativnošću (tj. zlatne jabuke) lako se nalaze, ali preduzetnici s namjerom za zelenim preduzetništvom (tj. zelenim jabukama) su rijetki” (str. 1). Međutim, Sagie i Elizur (1999) dokazali su da čak i među studentima ekonomije postoje razlike u razumijevanju i stjecanju poslovnih vještina, kompetencija i poduzetničkog mindseta, odnosno razlike u (klasičnim) preduzetničkim namjerama ovisno o smjeru i vrstama obrazovanja i znanja koje su stekli na fakultetu. Studenti koji su se obrazovali u području preduzetništva, malih i srednjih preduzeća imali su viši stupanj “motivacije za postignuće – spremnosti za suočavanje s neizvjesnostima, izračunavanje rizika, preuzimanje osobne odgovornosti i rješavanje problema” u odnosu na kolege s drugih smjerova (str. 375). Lans et al. (2014) smatraju da postoji praznina u procesu obrazovanja studenata ekonomije, s razdvajanjem između obrazovanja za preduzetnike i obrazovanja za održivi razvoj i pitanja zelene transformacije. Studija koju je proveo Roy (2023) na uzorku od 359 studenata preddiplomskog studija pokazala je da nekoliko faktora, poput stavova, znanja, motivacije, osobnih osobina, ekoloških vrijednosti i podrške od strane sveučilišta, ima značajan utjecaj na namjeru studenata preddiplomskog studija da se bave zelenim preduzetništvom. Među tim faktorima, ekološke su vrijednosti imale najjači utjecaj. U kontekstu ekološkog znanja, pružanje obuke u preduzetništvu temeljenom na akciji koje se usmjereno na razvijanje ekološkog znanja može pomoći u razvoju zelene preduzetničke namjere. Mnoga istraživanja svjedoče o važnosti integrativnog obrazovanja za studente u područjima preduzetništva, zelenog preduzetništva i održivog razvoja. Veliki broj autora povezuje tradicionalno obrazovanje za preduzetništvo s obrazovanjem u zelenom preduzetništvu i održivom razvoju. Pozivajući se na rezultate istraživanja mnogih autora koji ističu značaj formalnog obrazovanja za preduzetništvo (npr. Mark, 2012; Agu et al., 2021) i prisutnost temeljnog znanja o zelenom preduzetništvu (npr. Yi, 2020), Cai et al. (2022) analiziraju, među ostalim, utjecaj preduzetničkog obrazovanja i zelene spoznaje na spremnost studenata da se angažiraju u zelenom preduzetništvu. Ovi autori proučavaju utjecaj šest različitih faktora. Ti faktori se odnose na individualne karakteristike studenata (npr. preduzetnička kreativnost) i institucionalne faktore (zelene spoznaje, kultura preduzetništva, obrazovanje za



preduzetništvo i finansijska podrška). Autori su pokazali postojanje korelacije između preduzetničke kreativnosti, zelenih spoznaja i zelene preduzetničke namjere, kao i između aktivne kulture preduzetništva, obrazovanja za preduzetništvo i zelene poduzetničke namjere. U svom istraživanju autori su pokazali da osim značaja obrazovanja za preduzetništvo i znanja o zelenoj ekonomiji, faktori koji općenito utječu na preduzetničke namjere također utječu na spremnost studenata da se angažiraju u zelenom preduzetništvu. Sharma i Singh (2023) proučavaju faktore koji utječu na spremnost studenata da se bave zelenim preduzetništvom. Identificirani su različiti faktori koji imaju značajan utjecaj na predviđanje namjere da postanu zeleni preduzetnici, uključujući podršku države, subjektivne norme, averziju prema riziku i samopouzdanja, ali "prema odgovorima ispitanika, oni nemaju veliku važnost; averzija prema riziku imala je najveći utjecaj" (str. 35). Titko et al. (2022) proučavali su stavove i ponašanja 36 studenata poslovnih studija iz Latvije usmjereno na tri područja: stavove studenata prema ekologiji i zaštiti okoliša, stavove prema društveno odgovornom poslovanju i kružnoj ekonomiji, te namjeru i spremnost studenata da pokrenu održivi biznis. Iako su studenti bili svjesni važnosti zaštite okoliša u određenim aspektima (pokazivali su volju da promijene svoje kupovne navike, smanje upotrebu plastične ambalaže, recikliraju, itd.), manje od polovice ispitanika bilo je voljno smanjiti svoju potrošnju, prestati kupovati neekološke proizvode ili smanjiti potrošnju energije. Što se tiče spremnosti za pokretanje održivog poslovanja, većina ispitanika (69,4%) bila je voljna pokrenuti održivi biznis pod uvjetom ostvarivanja profita. Samo trećina ispitanika bila je voljna pokrenuti poslovanje kako bi rješavali društvene i ekološke probleme. Ovo istraživanje pokazuje da među studentskom populacijom postoji svijest o važnosti zelene i održive ekonomije, ali je spremnost studenata da započnu održivi biznis ograničena njihovim primarnim profitnim i hedonističkim ciljevima, kao i averzijom prema riziku. Liguori et al. (2009) došli su do sličnog zaključka u svom istraživanju – studenti su često motivirani i pozitivno orijentirani prema zelenom preduzetništvu, ali nisu se spremni angažirati u praksi zbog finansijskih i osobnih razloga, odnosno averzije prema riziku. S druge strane, niz drugih autora (npr. Sher et al., 2020; Peng et al., 2021) dolazi do suprotnih rezultata – otkrivaju pozitivnu korelaciju između pozitivnih stavova prema zelenom preduzetništvu i angažmana u njemu. Rezultati istraživanja spomenutih autora, koji su uočili jaz između pozitivnih stavova prema zelenom preduzetništvu i nedostatka spremnosti za angažman u njemu, postavljaju pitanje da li su studenti potpuno svjesni važnosti ciljeva zelene tranzicije i jesu li ih upoznali tokom svog obrazovanja. Jesu li bili pravilno motivirani? Mia et al. (2022) navode da "iako je obrazovanje o preduzetništvu ključno, malo se zna o tome kako ono utječe na namjere studenata da pokrenu zelene biznise" (str. 4). Mnogi drugi autori dijele slična mišljenja (npr. Kirkwood i Walton, 2010; Thirupathy i Mustapha, 2020). Mia et al. (2022) otkrili su da "sposobnost, motivacija i prilika utječu na prediktorske varijable vještina, poticaja i obrazovanja o preduzetništvu, te da su ove vještine statistički značajne i prihvaćene" (str. 1). Mobilnost, motivacija i prilika mogu pomoći studentima ekonomije da razumiju zahtjeve zelenog preduzetništva i implementiraju ih u budućnosti kako bi povećali održivost i postigli finansijski uspjeh u svom poslovanju. "Svi ovi faktori odnose se na obrazovanje o preduzetništvu koje utječe na namjere mladih studenata da prihvate zeleni koncept" (str. 2). Niz autora također je ustanovilo ključnu povezanost između obrazovanja za preduzetništvo, pozitivnih stavova i motivacije prema zelenom preduzetništvu te institucionalne podrške za zeleno preduzetništvo (npr. Kirkwood i Walton, 2010; Del Vecchio et al., 2021). Alvarez-Risco et al. (2021) proučavali su utjecaje podrške od strane sveučilišta (nastavnih programa i

praksi te pružanje motivacije i ideja studentima za preduzetničke pothvate) te podrške države na sposobnost preduzetnika da se bave zelenim preduzetništvom, primijetivši pozitivnu korelaciju između tih faktora. Yang (2024) u svom istraživanju na uzorku od 434 kineska studenta dokazuje da “institucionalna podrška i prijenos zelenog znanja značajno podižu ponašanje studenata u području zelenog preduzetništva” (str. 1). U svom radu autor tvrdi da je kritična nužnost zaštite okoliša dovela do opsežnog istraživanja održivih rješenja i pojave zelenog preduzetništva, koje usklađuje očuvanje prirodnih resursa, zaštitu flore i faune i ekonomski razvoj.

3. Istraživanje - metod i uzorak

Za analizu kvalitativnih odgovora 31 studenta o značenju, prednostima i izazovima vezanim za zelenu preduzetničku inicijativu, kao i o mjerama koje bi ih podstakle da pokrenu zeleni biznis, korištena je metodologija utemeljene teorije (Grounded Theory). Ova metodologija uključuje sistematski niz postupaka usmjerenih na razvijanje teorije koja proizlazi iz prikupljenih podataka. Analiza je započela tzv. otvorenim kodiranjem, tokom kojeg je tekst pažljivo analiziran kako bi se identifikovale i označile značajne riječi i fraze, pri čemu su ključni koncepti i ideje izdvojeni direktno iz studentskih odgovora. U narednoj fazi – aksijalnom kodiranju – identifikovani kodovi su organizovani u šire tematske cjeline kroz istraživanje međusobnih veza i odnosa među njima. Ovo je omogućilo sistematizaciju podataka u smislenije grupe. Na kraju, primijenjeno je selektivno kodiranje s ciljem integracije svih prethodnih kategorija oko centralne tematske cjeline. Ovakav metodološki pristup omogućio je ne samo identifikaciju pojedinačnih motivacionih faktora već i njihovu sintezu u koherentno razumijevanje strukture podrške potrebne za promociju zelene preduzetničke inicijative među studentima. Tabela 1. daje pregled demografskih karakteristika ispitanika (studenata Ekonomskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu) koji su učestvovali u istraživanju.

| Ispitanik | Spol | Godine | Ciklus studija | Trajanje intervjua (min) | Ispitanik | Spol | Godine | Ciklus studija | Trajanje intervjua (min) |
|-----------|------|--------|----------------|--------------------------|-----------|------|--------|----------------|--------------------------|
| 1.        | M    | 22     | II             | 17                       | 1.        | M    | 22     | II             | 23                       |
| 2.        | Ž    | 22     | II             | 20                       | 3.        | M    | 26     | II             | 20                       |
| 4.        | Ž    | 22     | II             | 15                       | 5.        | Ž    | 22     | I              | 15                       |
| 6.        | M    | 22     | I              | 60                       | 7.        | Ž    | 22     | I              | 45                       |
| 8.        | Ž    | 23     | I              | 20                       | 9.        | Ž    | 21     | I              | 25                       |
| 10.       | Ž    | 22     | I              | 35                       | 11.       | -    | -      | -              | -                        |
| 12.       | -    | -      | -              | -                        | 13.       | -    | -      | -              | -                        |
| 14.       | Ž    | 22     | I              | 36                       | 15.       | Ž    | 21     | I              | 36                       |
| 16.       | M    | 22     | II             | 26                       | 17.       | M    | 24     | II             | 34                       |
| 18.       | Ž    | 20     | I              | 30                       | 19.       | M    | 21     | I              | 15                       |
| 20.       | M    | 21     | I              | 17                       | 21.       | Ž    | 20     | I              | 16                       |
| 22.       | Ž    | 19     | I              | 14                       | 23.       | Ž    | 21     | I              | 23                       |
| 24.       | Ž    | 21     | I              | 23                       | 25.       | M    | 23     | I              | 11                       |
| 26.       | M    | 27     | II             | -                        | 27.       | M    | 22     | I              | -                        |
| 28.       | M    | 23     | I              | 37                       | 29.       | Ž    | 26     | -              | 12                       |
| 30.       | M    | 20     | I              | 14                       |           |      |        |                |                          |

Tabela 1 - Karakteristike uzorka

4. Rezultati

Prvi dio ovog istraživanja fokusirao se na način na koji studenti razumiju i tumače pojmove “Zeleno preduzetništvo” ili “Zeleni biznis”. Istražujući njihovo razumijevanje, cilj nam je bio da otkrijemo osnovna uvjerenja koja utječu na njihove stavove prema održivim poslovnim praksama kao i potencijalno angažovanje u njima. Tabela 2. sažima rezultate fokusiranog kodiranja.

| Pojavljjuća tema                              | Ispitanici                                                        | Frekvencija |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Centralna tema: Integrirana održivost</b>  |                                                                   |             |
| Odgovornost prema okolišu                     | 1, 2, 6, 7, 9, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28 | 18          |
| Integracija ekonomskih i ekoloških principa   | 11, 15, 19, 20, 24, 25, 27, 29, 30, 31                            | 10          |
| Održivi razvoj i dugoročni fokus              | 10, 12, 13, 14, 17, 18, 28, 29                                    | 8           |
| Društvena i korporativna odgovornost          | 3, 19, 21, 23, 24, 26, 29                                         | 7           |
| Inovacije i ekološki prihvatljive tehnologije | 12, 16, 18, 25, 28                                                | 5           |
| Svijest i obrazovanje                         | 21, 26                                                            | 2           |

Tabela 2 - Sažetak fokusiranog kodiranja

#### 4.1. Početni i fokusirani rezultati kodiranja

Tema 1: Odgovornost prema okolišu - Ova tema ističe aktivnu posvećenost izbjegavanju štetnih utjecaja na okoliš, te često uključuje prakse poput reciklaže, korištenja obnovljivih resursa i smanjenja zagađenja. Tema je prisutna u definicijama zelenog preduzetništva kod većine studenata, što ukazuje na to da većina studenata dijeli razumijevanje o ključnoj ulozi koju preduzetnici mogu igrati u očuvanju i poboljšanju ekološkog zdravlja planete. Ova tema odražava široko prepoznavanje da održive poslovne prakse nisu samo korisne, već su i esencijalne za dugoročni opstanak i etičko poslovanje. Studenti su često naglašavali da zeleni biznisi prioritetiziraju operacije koje minimiziraju štetan utjecaj na okoliš, implementirajući aktivnosti poput korištenja obnovljivih resursa, smanjenja emisija, reciklaže i izbjegavanja zagađenja.

Tema 2: Održivi razvoj i dugoročni fokus - Ova tema fokusira se na preduzetništvo koje ne samo da posluje na ekološki prihvatljiv način već također teži dugoročnoj održivosti i minimalnom negativnom utjecaju na okoliš. Tema se odražava u mnogim odgovorima, naglašavajući važnost ne samo postizanja kratkoročnih dobitaka već i osiguravanja da poslovne operacije budu održive i dugoročno izvodljive. Ova tema odražava zrelo razumijevanje među studentima da zeleni biznisi moraju razmišljati ne samo o trenutnoj dobiti, već i o svom dugoročnom utjecaju na planetu. Ovaj mentalni sklop mogao bi biti važan za stvaranje poslovnog okruženja koje podržava dugoročnu ekološku ravnotežu i promoviše zdraviji planet za buduće generacije.

Tema 3: Ekonomska i ekološka integracija - Ova tema se temelji na ideji da preduzeća mogu biti profitabilna, a da pritom zadrže snažnu posvećenost očuvanju okoliša i održivosti. Tema naglašava važnost usvajanja poslovnih praksi koje nisu samo finansijski održive, već i ekološki odgovorne, efektivno spajajući profitabilnost s održivošću.

Tema 4: Socijalna i korporativna odgovornost - Ova tema uključuje elemente poslovanja koja preduzimaju korake kako bi bila društveno odgovorna, što može obuhvatiti aktivnosti koje idu izvan ekoloških pitanja, kao što su angažman u zajednici i društvena jednakost. Naglašava širu ulogu koju preduzeća igraju u društvu, oslikavajući progresivan poslovni mentalitet koji se usklađuje sa sve većim očekivanjima da preduzeća djeluju kao odgovorni građani u globalnoj zajednici.

Tema 5: Inovacija i ekološki prihvatljive tehnologije - Ova tema obuhvata aspekt zelenih preduzeća koja koriste nove tehnologije ili inovativne prakse za smanjenje ekološkog utjecaja, kao što su obnovljivi izvori energije ili održivi procesi proizvodnje. Tema odražava kako zelena preduzeća sve više koriste savremenu tehnologiju i inovativne prakse u cilju rješavanja ekoloških izazova. Ona odražava pristup koji gleda u budućnost, gdje se tehnološki napredak koristi za unapređenje napora u oblasti održivosti, smanjenje ekološkog otiska i stvaranje novih mogućnosti za ekološki prihvatljiv rast.

Tema 6: Svijest i obrazovanje - Ova tema uključuje preduzeća koja ne samo da usvajaju zelene prakse već i igraju ulogu u obrazovanju javnosti i drugih preduzeća o važnosti ekološke održivosti. Ove dvije teme pokazuju kako zelena preduzeća mogu igrati ključnu ulogu u korištenju inovacija i tehnologije za postizanje održivosti, kao i u obrazovanju drugih o važnosti ekološke odgovornosti. Inovacije i obrazovanje su neophodni za dalji razvoj zelenog preduzetništva i širenje pozitivnih ekoloških praksi među svim sektorima društva.

4.2. Prednosti zelenog poslovanja

Ekonomske koristi i tržišna konkurentnost najčešće su prepoznate prednosti zelenog poslovanja među studentima. Ukupno 11 studenata (35%) identificiralo je finansijske koristi kao najčešću prednost zelenog poslovanja. Ove koristi obično uključuju smanjenje troškova kroz učinkovito korištenje resursa, privlačenje ulaganja i ostvarivanje konkurentne prednosti privlačenjem rastućeg tržišta ekološki osviještenih potrošača. Druga najčešće prepoznata prednost zelenog poslovanja od strane devet studenata (29%) je naglasak na ulozi zelenih preduzeća u očuvanju okoliša i prirodnih resursa, uključujući razne primjere poput smanjenja zagađenja, korištenja obnovljivih izvora energije i promocije ekoloških praksi. Manji broj studenata prepoznaje i druge prednosti zelenog poslovanja. Šest studenata (19%) naglasilo je važnost etičkih praksi i korporativne društvene odgovornosti u zelenim preduzećima. Nekoliko studenata (5 ili 16%) spomenulo je da zeleni poduzetnički pothvati potiču inovacije kroz korištenje održivih tehnologija i praksi. Također su primijetili stratešku prednost pozicioniranja za budućnost u kojoj će zelena preduzeća dominirati. Utjecaj prepoznavanja preduzeća kao zelenih kompanija spomenula su četiri studenta, navodeći da to poboljšava imidž preduzeća, privlači više kupaca i gradi povjerenje. Na kraju, neki studenti (3) su istakli da zeleni preduzetnici doprinose boljim zdravstvenim ishodima i općoj kvaliteti života pružajući zdravije radne uvjete i proizvode.

| Izlazna tema                                          | Respondenti                                | Frekvencija |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------|
| <b>Ekonomske koristi i tržišna konkurentnost</b>      | 10, 12, 15, 16, 17, 18, 23, 24, 25, 26, 27 | 11          |
| <b>Održiva ekološka praksa i očuvanje resursa</b>     | 2, 4, 7, 16, 17, 18, 28, 29, 30            | 9           |
| <b>Društvena odgovornost i etičke poslovne prakse</b> | 3, 14, 15, 16, 23, 29                      | 6           |
| <b>Inovacija i dugoročno strateško pozicioniranje</b> | 10, 11, 22, 24, 27                         | 5           |
| <b>Percepcija potrošača i ugled brenda</b>            | 9, 15, 16, 25                              | 4           |
| <b>Zdravlje i poboljšanje kvalitete života</b>        | 4, 30, 31                                  | 3           |

Tabela 3 - Prednosti zelenog poslovanja

4.3. Izazovi uspostavljanja zelenog poslovanja

Značan broj studenata (8 ili 26%) istakao je nedostatak adekvatnih zakona, zastarjele ili nedovoljno specifične propise, kao i opću neučinkovitost i složenost administrativnih postupaka kao glavne percipirane izazove u uspostavljanju zelenog poslovanja. Ovaj izazov može se manifestirati na dva moguća načina (neadekvatan regulatorni okvir i složena birokracija). U tom smislu, odgovori 1, 2, 3, 4 i 17 naglašavaju nedostatak specifičnih propisa za zelena poslovanja ili ukazuju na to da postojeći propisi ne udovoljavaju modernim zahtjevima, dok su odgovori 14, 15, 16 i 25 spomenuli prekomplikirane i vremenski zahtjevne procese registracije, previše papirologije i nedostatak digitalizacije koji ometaju osnivanje i poslovanje preduzeća. Druga prepreka odnosi

se na društvene i kulturne barijere koje je identificiralo sedam studenata (23%). Ova prepreka obuhvata nedostatak svijesti i interesa među stanovništvom u vezi s ekološkim pitanjima i zelenim poslovanjima, kao i općenito otporan mentalni sklop prema novim poslovnim modelima i inovacijama. Odgovori 1, 6, 7, 18 i 22 ukazuju na opći nedostatak svijesti ili brige za zelene inicijative unutar stanovništva, dok su odgovori 6, 12 i 28 spomenuli društveni otpor prema promjenama i skepticizam o održivosti i relevantnosti zelenih poslovanja. Neki studenti (3 ili 10%) izrazili su zabrinutost zbog finansijskih zahtjeva povezanih s pokretanjem zelenog poslovanja, pri čemu su visoki početni troškovi i poteškoće u pristupu finansiranju najčešće prepoznati kao dvije najčešće prepreke unutar ove teme. Studenti 11, 14 i 25 su istakli izazove u osiguravanju dovoljno finansijskih sredstava, posebno za mala i srednja preduzeća. Neki odgovori (3) prepoznali su specifične izazove povezane sa specifičnim socio-političkim i ekonomskim kontekstom Bosne i Hercegovine, uključujući političku nestabilnost i nedostatak vladine podrške. U tom kontekstu, odgovori 17, 28 i 29 naglašavaju probleme poput političke nestabilnosti, neefikasnosti vladinih institucija i utjecaja EU na lokalne politike bez adekvatnih lokalnih kapaciteta za provedbu.

| Izlazna tema                                                                 | Respondenti     | Frekvencija |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------|
| <b>Regulatorni izazovi</b>                                                   |                 | 8           |
| Nedostatak adekvatnog regulatornog okvira                                    | 1, 2, 3, 4, 17  | 4           |
| Složena birokracija                                                          | 14, 15, 16, 25  | 4           |
| <b>Društvene i kulturne barijere</b>                                         |                 | 7           |
| Nedostatak javne svijesti i interesa                                         | 1, 6, 7, 18, 22 | 5           |
| Otpor prema promjenama                                                       | 6, 12, 28       | 3           |
| Finansijska ograničenja – visoki početni troškovi i problemi s finansiranjem | 11, 14, 25      | 3           |
| Specifični lokalni izazovi                                                   | 17, 28, 29      | 3           |

Tabela 4 - Izazovi uspostavljanja zelenog poslovanja

#### 4.4. Mjere koje bi potaknule studente na pokretanja zelenog poslovanja

Tabela 5. pruža sažetak osnovnih koncepata u vezi s mjerama koje bi potakle studente na osnivanje zelenog poslovanja, prema njihovoj percepciji. Mjere koje su studenti identificirali nisu vezane samo za finansijske poticaje, već i za niz drugih pristupa kao što su obrazovanje, zakonodavna podrška, angažman zajednice te efikasna promocija zelenog preduzetništva. Ovi elementi se percipiraju kao važni za motiviranje pojedinaca da započnu zeleno preduzetništvo.

| Izlazna tema                                  | Respondenti                          | Frekvencija |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------|-------------|
| <b>Finansijska podrška</b>                    | 2, 4, 17, 18, 22, 23, 25, 26, 30, 31 | 10          |
| <b>Obrazovne inicijative</b>                  | 4, 5, 10, 14, 25                     | 5           |
| <b>Zakonodavna i administrativna olakšica</b> | 4, 11, 14, 25                        | 4           |
| <b>Angažman zajednice i vlasti</b>            | 4, 5, 9, 24                          | 4           |
| <b>Promotivne aktivnosti</b>                  | 5, 15                                | 2           |

Tabela 5 - Mjere koje bi potakle studente na osnivanje zelenog poslovanja

Analiza je otkrila nekoliko ključnih koncepata koji su se pojavili, uključujući finansijske poticaje (npr. subvencije, subvencionirani krediti, povoljne kamate), obrazovanje i svijest (npr. seminari, radionice), zakonsku i birokratsku podršku (npr. pojednostavljenje

procesa registracije, bolji zakoni), podršku zajednice i vlasti (npr. mentorstvo, partnerstva), vidljivost i društveno priznavanje (npr. promocija zelenih preduzeća) i usporedbe s tradicionalnim poslovanjem (npr. troškovna efikasnost, utjecaj na okoliš). Grupiranje tih koncepata u šire kategorije prikazano je u Tabeli 5. Mnogi studenti (10) spomenuli su potrebu za finansijskim poticajima kao što su subvencije, subvencionirani krediti i povoljne kamate. Nekoliko studenata (5) naglasilo je potrebu za ciljanom edukacijom i kampanjama za podizanje svijesti o principima i praksama zelenog poslovanja. Pozivi za poboljšanje zakonodavstva koje podržava zeleno preduzetništvo i pojednostavljenje birokratskih procesa prepoznalo je četvero studenata. Četvero studenata također je istaklo angažman zajednice i vlade, tj. prijedloge za snažniji angažman zajednice i vladinu podršku, uključujući mentorstvo i partnerstva. Na kraju, dva studenta prepoznala su promotivne aktivnosti, kao što su želja za povećanom vidljivošću zelenih preduzeća kroz promotivne aktivnosti i javno priznanje.

## 5. Zaključak i preporuke

Cilj ove studije bio je analizirati značenje zelenog preduzetništva iz perspektive studenata, s fokusom na razumijevanje, percipirane prednosti, izazove i motivacijske strategije za uključivanje u ekološki osviještene poslovne prakse. Studija doprinosi akademskoj literaturi o održivosti u poslovanju i nudi praktične uvide za poticanje stvarnih promjena prema održivim praksama. Istražujući kako studenti razumiju zeleno preduzetništvo, prednosti koje prepoznaju i faktore koji ih motiviraju, naše istraživanje pruža vrijedne uvide u rastući značaj održivosti u poslovnom obrazovanju. Ova studija obogaćuje diskurs o održivosti i nudi preporuke za buduće akcije u podršci zelenom preduzetništvu. Rezultati istraživanja pokazuju da studenti prepoznaju ekološki i društveni značaj zelenog preduzetništva. Oni su sve svjesniji povezanosti između održivosti, ekonomske održivosti i društvene odgovornosti. Rezultati se slažu s širim definicijama održivog razvoja, gdje je poslovni uspjeh povezan s usvajanjem održivih praksi. Studenti povezuju zeleno preduzetništvo s brigom za okoliš, ekonomskom održivošću i društvenom odgovornošću, što ukazuje na pomak u tome kako oni vide poslovni uspjeh u modernom svijetu. Studija također ukazuje na ključne izazove, uključujući regulatorne praznine, finansijske prepreke i potrebu za boljom javnom sviješću i institucionalnom podrškom. Ovi izazovi naglašavaju složenost prelaza na zelene poslovne modele koji zahtijevaju više od poslovnih inovacija. Potrebna je sistemska podrška sa više razina. Također, studenti su identificirali nekoliko motivacijskih faktora koji bi ih potakli da se bave zelenim preduzetništvom, kao što su finansijske potpore, obrazovni programi i snažnija zajednička angažiranost. To naglašava važnost multifunkcionalnog pristupa u podršci zelenom preduzetništvu. Studenti su također istakli potrebu za jasnijim i podržavajućim regulatornim okvirom koji bi olakšao prelaz na zelene poslovne prakse, kao i bolji pristup kapitalu za start-upove.

Praktične implikacije - Iz praktične perspektive ovo istraživanje pruža vrijedne uvide za kreatore politika, preduzeća i obrazovne institucije. Kreatori politika mogu koristiti ove nalaze kako bi identificirali ključna područja za intervenciju, kao što su unapređenje obrazovnih kurikuluma usmjerenih na održivost, razvoj podržavajućih regulatornih okvira i veći pristup finansijskoj podršci za zelene poslovne poduhvate. S druge strane, preduzeća mogu steći bolje razumijevanje vrijednosti i očekivanja budućih preduzetnika i potrošača, čime mogu prilagoditi svoje strategije i uskladiti ih s novim trendovima prema održivosti. Obrazovne institucije trebaju integrirati robusnije programe

održivosti i zelenog preduzetništva u svoje akademske kurikule kako bi studentima osigurale potrebno znanje i vještine za uspješno vođenje održivih poslovnih praksi. Time će osigurati da sljedeća generacija preduzetnika bude pripremljena za rješavanje ekoloških i društvenih izazova putem inovativnih poslovnih praksi.

Preporuke - Na temelju rezultata studije, mogu se dati sljedeće preporuke:

Obrazovne institucije: Trebaju u svoje akademske kurikule integrirati sveobuhvatne programe o održivosti i zelenom preduzetništvu kako bi studentima osigurali potrebno znanje i vještine za održive poslovne prakse; Kreatori politika: Trebaju stvoriti podržavajuće ekosisteme za zelene poslovne poduhvate kroz povoljne zakonodavne mjere, finansijske potpore i pojednostavljenje birokratskih procedura. Jasniji i specifičniji propisi pomoći će zelenim preduzetnicima da lakše navigiraju pravnim i operativnim izazovima;

Preduzeća: Aktivno promovirati svoje zelene inicijative kako bi poboljšali svoju konkurentsku prednost i udovoljili rastućoj potražnji za održivim proizvodima i uslugama. Jačanje komunikacijskih strategija kako bi se istakla odgovornost prema okolišu pomoći će poduzećima u izgradnji povjerenja među potrošačima i poboljšanju njihove tržišne pozicije.

Zaključno, ovo istraživanje pruža važne uvide u percepcije studenata o zelenom preduzetništvu, naglašavajući značaj održivosti u poslovnom obrazovanju. Rješavanjem izazova i provedbom preporučenih mjera možemo stvoriti održiviji preduzetnički ekosistem, što će na kraju dovesti do pozitivnih ekoloških i društvenih utjecaja.



# DRIVING GREEN ENTREPRENEURSHIP AMONG STUDENTS: PERCEIVED BENEFITS, CHALLENGES, AND MOTIVATIONAL STRATEGIES

**Summary:** This paper explores the perceptions of students regarding green entrepreneurship, focusing on their understanding of its benefits, challenges, and the factors that motivate them to engage in environmentally sustainable business practices. Through qualitative analysis using Grounded Theory, responses from 31 students were systematically examined to identify and categorize their views on green entrepreneurship. The findings reveal a robust interest in integrating environmental, social, and economic factors into business practices, with a strong emphasis on the need for educational initiatives, legislative support, and community engagement to foster green entrepreneurial ventures. This study highlights the critical role of education in shaping the future leaders of green business and underscores the importance of providing students with the tools and support necessary to undertake sustainable entrepreneurship. By identifying the perceived barriers and motivational drivers for students, this research contributes valuable insights into how educational policies and business practices can be aligned to support the emerging generation of green entrepreneurs, thus aiding in the broader transition towards sustainable development.

**Keywords:** Green Entrepreneurship, Student Perceptions, Sustainable Business Practices, Educational Impact, Environmental Ethics, Motivational Factors, Policy Support

## Literatura

1. Agu, A. G., Kalu, O. O., Esi-Ubani, C. O., and Agu, P. C. Drivers of sustainable entrepreneurial intentions among university students: an integrated model from a developing world context. *Int. J. Sustain. High. Educ.* 22, 2021., 659-680. Doi:10.1108/IJSHE-07-2020-0277
2. Alvarez-Risco, A., Młodzianowska, S., García-Ibarra, V., Rosen, M.A., Del-Aguila Arcentales, S. Factors Affecting Green Entrepreneurship Intentions in Business University Students in COVID-19 Pandemic Times: Case of Ecuador. *Sustainability* 2021, 13, 6447., 2021., 1-16. <https://doi.org/10.3390/su13116447>
3. Anghel, G. A., & Anghel, M. A. Green Entrepreneurship among Students—Social and Behavioral Motivation. *Sustainability*, 14(14), 2022. 8730.
4. Balcarova, T., Pitrova, J., Pilařová, L. Sustainability And Green Skills Education: Current State Of Student 'S Knowledge In Four Eu Countries, ICERI2023 Proceedings, 2023., 5598-5604.
5. Cadenas, G.A., Cantú, E.A., Lynn, N., Spence, T., Ruth, A. A programmatic intervention to promote entrepreneurial self-efficacy, critical behavior, and technology readiness among underrepresented college students. *J. Vocat. Behav.* 2020, 116, 2020., 103350
6. Cai, X., Hussain, S., and Zhang, Y. (Factors That Can Promote the green Entrepreneurial Intention of College Students: A Fuzzy Set Qualitative Comparative Analysis. *Frontiers in Psychology*, Vol. 12:776886. Doi:10.3389/fpsyg.2021-776886. 2022, 1-13.
7. Del Vecchio, P., Secundo, G., Mele, G., Passiante, G. Sustainable entrepreneurship education for circular economy: Emerging perspectives in Europe. *Int. J. Entrep. Behav. Res.* 2021, 27, 2021., 2096–2124.
8. Fiechter, K., and Tiemann, I. Factors influencing university support for sustainable entrepreneurship: insights from explorative case studies, *J. Clean. Prod.* 175, 2018., 512-524, doi:10.1016/j.jclepro.2017.12.031
9. Henry, A. D. The challenge of learning for sustainability: A prolegomenon to theory. *Human Ecology Review*, 2009., 131-140.
10. Kirkwood, J., Walton, S. What motivates ecopreneurs to start businesses? *Int. J. Entrep. Behav. Res.* 2010, 16, 2010., 204–228.

11. Jian, H., Wang, S., Wang, L., Li, G. Golden Apples or Green Apples? The Effect of Entrepreneurial Creativity on Green Entrepreneurship: A Dual Pathway Model. *Sustainability* 2020, 12(15), 2020., 6285; <https://doi.org/10.3390/su12156285>
12. Lans, T., Blok, V., Wesselink, R. Learning apart and together: towards an integrated competence framework for sustainable entrepreneurship in higher education. *Journal of Cleaner Production*, Volume 62, 2014, 37-47, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.03.036>
13. Mark, P. Entrepreneurship education: workshops and entrepreneurial intentions: *J. Educ. Bus.* 87, 2012., 94-101. doi: 10.1080/08832323.2011.573594
14. Mia, M.M., Rizwan, S., Zayed, N.M., Nitsenko, V., Miroshnyk, O., Kryshnal, H., Ostapenko, R. The Impact of Green Entrepreneurship on Social Change and Factors Influencing AMO Theory. *Systems* 2022, 10, 132., 2022., 1-19. <https://doi.org/10.3390/systems10050132>
15. Niemczyk, A., Gródek-Szostak, Z., Adler, D., Niewiadomski, M., & Benková, E. Green Entrepreneurship: Knowledge and Perception of Students and Professionals from Poland and Slovakia. *Sustainability*, 16(1), 2023., 273.
16. Peng, H, Li, B., Zhou, Ch., Sadowski, B.M. How Does the Appeal of Environmental Values Influence Sustainable Entrepreneurial Intention? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 2021., 1070; <https://doi.org/10.3390/ijerph18031070>
17. Perez-Luyo R, QuiñonesUrquijo A, Del-Aguila-Arcentales S and Alvarez-Risco A Green entrepreneurship intention among high school students: a teachers' view. *Front. Educ.* 8:1225819., 2023. doi: 10.3389/feduc.2023.1225819
18. Qazi, W., Quereshi, J. A., Razam, S. A., Khan, K. A., Quereshi, M. A. Impact of personality traits and university green entrepreneurial support on students' green entrepreneurial intentions: The moderating role of environmental values. *Journal of Applied Research in Higher Education*, 10, 2021., 130.
19. Roy, S. K. Factors influencing undergraduate students' green entrepreneurial intentions: evidence from an emerging economy. *Entrepreneurship Education*, 6(4), 2023., 365-398.
20. Sharma, R., Singh, A. Examining the factors affecting green entrepreneurship intentions in university students: an empirical study. *Društvo Slovenska akademija za Management*. Volume 12, 2023, 35-47. doi: 10.17708/DRMJ.2023.v12n02a03
21. Shi, L., Yao, X., Wu, W. Perceived university support, entrepreneurial self-efficacy, heterogeneous entrepreneurial intentions in entrepreneurship education. *J. Entrep. Emerg. Econ.*, 12, 2020., 205-230.
22. Sinclair, A. J., Diduck, A., & Fitzpatrick, P. Conceptualizing learning for sustainability through environmental assessment: critical reflections on 15 years of research. *Environmental impact assessment review*, 28(7), 2008., 415-428.
23. Thirupathy, S., Mustapha, R. Development of Secondary School Students' Green Skills for Sustainable Development. *Int. J. Acad. Res. Bus. Soc. Sci.*, 10, 2020., 160-173.
24. Titko, J., Tambovceva, T., Atstaja, Dz., Lapinskaite, I., Solesvik, M. Z. Attitude towards sustainable entrepreneurship among students: testing a measurement scale. 12th International Scientific Conference, Business and Management 2022. Green economy and sustainable development. May 12-13, 2022., Vilnius. 325-331. ISSN 2029-4441/eISSN 2029-929X. <https://doi.org/10.3864/bm.2022.893>
25. Uvarova, I., Mavlutova, I., & Atstaja, D. Development of the green entrepreneurial mindset through modern entrepreneurship education. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 628, 2021., No. 1, 012034. IOP Publishing.
26. Yang, Y. Impact of institutional support and green knowledge transfer on university students' absorptive capacity and green entrepreneurial behavior: The moderating role of environmental responsibility, *PLoS ONE*, 19(5): e0304070, 2024., 1-19, doi: 10.1371/journal.pone.0304070
27. Yi, G. F. From green entrepreneurial intentions to green entrepreneurial behaviors: the role of university entrepreneurial support and external institutional support. *Int. Entrep. Manage. J.* 17, 2020., 963-979. Doi: 10.1007/s11365-020-00649-y
28. Wals, A. E. Learning our way to sustainability. *Journal of Education for Sustainable Development*, 5(2), 2011., 177-186.

# INOVACIJE U EKOLOŠKOM ODGOJU: ULOGA DIGITALNIH ALATA U RAZVOJU EKOLOŠKE SVIJESTI KOD DJECE U RANOM ODGOJU

prof. dr. Nermin Tufekčić

Islamski pedagoški fakultet, Univerzitet u Zenici

**Sažetak:** U kontekstu sve izraženijih ekoloških izazova i ubrzanog razvoja digitalnih tehnologija, rano djetinjstvo prepoznaje se kao ključno razvojno razdoblje za formiranje ekološke svijesti i vrijednosti. Ovaj pregledni rad istražuje ulogu digitalnih alata u ekološkom odgoju djece predškolskog uzrasta, s ciljem identifikacije potencijala, prednosti, izazova i smjernica za njihovu uspješnu primjenu. Analizirani su različiti digitalni alati – edukativne aplikacije, digitalne priče i animacije, interaktivne table, digitalni portfoliji te AR/VR tehnologije – kroz prizmu njihove pedagoške vrijednosti i mogućnosti za integraciju u svakodnevne aktivnosti u vrtiću. Rad ističe da digitalni alati mogu značajno doprinijeti razumijevanju ekoloških pojmova, razvoju emocionalne povezanosti s prirodom i podsticanju odgovornog ponašanja kod djece, osobito kada su povezani s iskustvenim učenjem i praktičnim aktivnostima. Istovremeno, ukazuje se na izazove poput nedostatka resursa, tehničkih ograničenja, nedovoljno razvijenih digitalnih kompetencija odgajatelja i etičkih pitanja u vezi s upotrebom tehnologije u radu s djecom.

Zaključno, autor predlaže smjernice za daljnja istraživanja i razvoj lokalno relevantnih digitalnih sadržaja koji promovišu održivost, uz naglasak na potrebu za holističkim pristupom koji povezuje tehnologiju, prirodu i vrijednosni odgoj u ranom djetinjstvu.

**Ključne riječi:** ekološki odgoj, rana dob, digitalni alati, edukativne tehnologije, održivi razvoj, predškolski odgoj

## Uvod

U savremenom društvu, obilježenom ubrzanim tehnološkim razvojem i sve izraženijim ekološkim izazovima, odgoj i obrazovanje djece o održivosti i zaštiti okoliša postaju sve važniji. Rani dječiji odgoj igra ključnu ulogu u oblikovanju vrijednosti i stavova prema prirodi, jer se upravo u tom periodu postavljaju temelji za cjeloživotno učenje i ponašanje (Palmer, 1995: 45; Vujanović & Milošević, 2020: 123). Tradicionalni pristupi ekološkom odgoju, iako vrijedni, sve češće se nadopunjuju inovativnim digitalnim alatima koji omogućavaju interaktivno i iskustveno učenje, prilagođeno interesima i kognitivnim sposobnostima djece u ranom uzrastu (Siraj-Blatchford & MacLeod-Brudenell, 2002: 112; Knežević, 2018: 75). Digitalne tehnologije, poput edukativnih aplikacija, multimedijalnih sadržaja i igara, nude nove mogućnosti za približavanje ekoloških tema na način koji je djeci blizak i motivirajući. Kroz primjenu ovih alata, djeca mogu istraživati prirodu, učiti o reciklaži, obnovljivim izvorima energije i važnosti očuvanja biodiverziteta u virtuelnim okruženjima koja podstiču aktivno učestvovanje i emocionalnu povezanost s temom (Edwards, 2013: 76; Bogнар & Bušljeta Kardum, 2012: 430). Upravo ta emocionalna komponenta često nedostaje u klasičnim edukativnim metodama, a digitalni alati mogu imati ključnu ulogu u njenom razvoju.

Cilj ovog preglednog rada je istražiti kako inovacije u digitalnoj pedagogiji mogu unaprijediti ekološki odgoj u ranom djetinjstvu, te koje su najbolje prakse i izazovi u primjeni digitalnih alata u svrhu razvoja ekološke svijesti. Poseban naglasak stavlja se na

integraciju tehnologije u svakodnevne odgojno-obrazovne aktivnosti, uz kritički osvrt na mogućnosti, ograničenja i etičke aspekte takvog pristupa.

## **Teorijski okvir ekološkog odgoja u ranom uzrastu**

Definicija i osnovne komponente ekološkog odgoja

Ekološki odgoj predstavlja odgojno-obrazovni proces usmjeren na razvijanje svijesti, znanja, stavova i ponašanja koja doprinose očuvanju i unapređenju okoliša. Njegova svrha nije samo prenošenje informacija o ekološkim temama, već i podsticanje djece da postanu aktivni i odgovorni učesnici u očuvanju prirodne sredine (Palmer, 1998: 12; Bogнар & Bušljeta Kardum, 2012: 425). Prema definiciji UNESCO-a, ekološki odgoj treba omogućiti pojedincima i zajednicama da razviju sposobnosti za donošenje informiranih odluka i djelovanje u cilju održivog razvoja (UNESCO, 1977: 6).

U kontekstu ranog djetinjstva, ekološki odgoj mora biti prilagođen razvojnom nivou djece, uz korištenje iskustvenog učenja, igre i promatranja prirodnih pojava. Osnovne komponente efikasnog ekološkog odgoja u ranom uzrastu uključuju: direktan kontakt s prirodom, emocionalnu povezanost s okolišem, razumijevanje osnovnih ekoloških pojmova, razvoj pozitivnih vrijednosti i razvijanje navika koje vode ka odgovornom ponašanju (Wilson, 1996: 4; Vujanović & Milošević, 2020: 125).

Istraživanja pokazuju da rana izloženost prirodi i ekološkim temama snažno doprinosi formiranju trajnih stavova i interesa za zaštitu okoliša (Čatić, 2017: 58). U tom smislu, odgajatelji imaju ključnu ulogu kao posrednici između djece i svijeta prirode, oblikujući obrazovne aktivnosti koje integrišu znanstvene činjenice, kreativnost i emocionalni doživljaj.

Ekološka svijest i njen razvoj u djetinjstvu

Ekološka svijest podrazumijeva razumijevanje povezanosti čovjeka i prirode, sposobnost prepoznavanja ekoloških problema i spremnost na djelovanje u cilju očuvanja okoliša. U ranom djetinjstvu, razvoj ekološke svijesti odvija se postepeno, kroz emocionalno povezivanje s prirodom, stjecanje osnovnih znanja o okolišu i oblikovanje pozitivnih stavova prema prirodi (Wilson, 1996: 30; Čatić, 2017: 56).

Dijete već u predškolskoj dobi pokazuje znatiželju za prirodne fenomene i spremnost za usvajanje navika koje doprinose očuvanju okoliša, poput recikliranja, štednje vode i brige za biljke i životinje. Takvo ponašanje ne nastaje spontano, već je rezultat sistematskog odgoja i pedagoški vođenih aktivnosti koje podstiču promišljanje i emocionalnu angažovanost (Kaliterna Lipovčan & Prizmić-Larsen, 2006: 63).

Istraživanja potvrđuju da iskustveno učenje i neposredan boravak u prirodi značajno doprinose razvoju ekološke svijesti kod djece. Kroz aktivnosti kao što su vrtlarjenje, promatranje životinjskog svijeta ili simbolička igra s prirodnim materijalima, dijete razvija osjećaj odgovornosti i brige za okolinu (Palmer, 1995: 47; Bogнар & Bušljeta Kardum, 2012: 431).

Uloga odraslih – odgajatelja, roditelja i lokalne zajednice – izuzetno je važna u ovom procesu. Modeliranjem ekološki prihvatljivog ponašanja, kreiranjem podsticajnog okruženja i uključivanjem djece u ekološke projekte, kreira se temelj za trajnu ekološku osviještenost (Šiljug, 2015: 38). Razvijena ekološka svijest u djetinjstvu predstavlja temelj odgovornog ponašanja u odrasloj dobi i važan korak ka održivoj budućnosti.

Važnost ekološkog obrazovanja u oblikovanju ponašanja i vrijednosti djece

Ekološko obrazovanje u ranom djetinjstvu ima ključnu ulogu u formiranju osnovnih

vrijednosti i obrazaca ponašanja koji ostaju prisutni tokom cijelog života. U tom razvojnem periodu dijete stječe prve spoznaje o svijetu oko sebe, oblikuje odnos prema prirodi i usvaja vrijednosti koje će kasnije utjecati na njegove životne izbore i stil ponašanja (Wilson, 1996: 30; Čatić, 2017: 56). Ukoliko se ekološke vrijednosti dosljedno i smisleno integriraju u obrazovni proces, moguće je razviti osjećaj lične odgovornosti prema okolišu i osnažiti djecu da djeluju kao aktivni i osviješteni članovi zajednice (Palmer, 1998: 22).

Studije pokazuju da rano djetinjstvo predstavlja najpovoljnije razdoblje za usvajanje održivih vrijednosti jer se tada razvijaju temeljne emocionalne, socijalne i kognitivne sposobnosti koje čine osnovu za kasniju moralnu orijentaciju (Kaliterna Lipovčan & Prizmić-Larsen, 2006: 625). Djeca koja su uključena u programe ekološkog obrazovanja pokazuju viši nivo ekološke osjetljivosti, spremnosti za kolektivno djelovanje i veću usklađenost ponašanja sa vrijednostima održivog razvoja (Bognar & Bušljeta Kardum, 2012: 432).

Ekološki odgoj također doprinosi razvoju empatije, prosocijalnog ponašanja i jačanju identiteta djeteta kroz prepoznavanje vlastite uloge u zajednici i svijetu prirode (Kahrimanović, 2019: 44). U tom kontekstu, obrazovni sistem ima odgovornost ne samo da informiše, već da formira – kroz aktivno iskustveno učenje, modeliranje ponašanja i podsticanje kritičkog mišljenja (Tilbury, 1995: 202). Integracija vrijednosnog aspekta u ekološki odgoj omogućava djeci da usvoje principe brige za zajedničko dobro, što je temelj za kreiranje društveno i ekološki održive budućnosti.

Digitalni alati u obrazovanju: pregled i vrste

Digitalne tehnologije sve više oblikuju obrazovni proces nudeći nove načine učenja koji su interaktivni, vizuelno stimulativni i prilagodljivi individualnim potrebama djece. Digitalni alati predstavljaju softverske i hardverske resurse koji omogućavaju kreiranje, distribuciju i usvajanje obrazovnih sadržaja putem tehnologije (Beetham & Sharpe, 2013: 11). U kontekstu ranog i predškolskog obrazovanja, njihova primjena postaje posebno važna, jer djeca već od najranije dobi dolaze u kontakt s ekranima i digitalnim okruženjima, te je važno usmjeriti tu izloženost prema kvalitetnom učenju (Knežević, 2018: 73).

Vrste digitalnih alata koje se koriste u obrazovanju djece uključuju:

- Edukativne aplikacije – mobilne i web-aplikacije koje podstiču razvoj jezika, matematike, svijesti o prirodi i drugim sadržajima kroz igru (Hirsh-Pasek et al., 2015: 25).
- Interaktivne table (smart boards) – omogućuju aktivno učestvovanje djece kroz dodir, crtanje i prezentaciju sadržaja na velikom ekranu (Đokić, 2020: 91).
- Digitalne priče i animacije – vizuelni i auditivni sadržaji koji pomažu u usvajanju pojmova kroz pripovijedanje i narativnu strukturu.
- Platforme za učenje i digitalni portofoliji – alati koji prate napredak djeteta i omogućuju personalizaciju obrazovnog procesa (Edwards, 2013: 204).
- Augmentirana i virtuelna stvarnost (AR/VR) – tehnologije koje omogućuju iskustveno učenje kroz simulaciju stvarnog ili zamišljenog svijeta (Furio et al., 2013: 65).

U obrazovnim ustanovama u regiji digitalni alati se sve češće uvode kroz projekte digitalizacije odgojno-obrazovnog procesa, ali njihova primjena još uvijek zavisi od dostupnosti opreme, edukacije odgajatelja i podrške institucija (Kahrimanović, 2020: 58; Jukić & Rončević, 2018: 74). Važno je napomenuti da sama tehnologija ne garantira kvalitetno obrazovanje – ključnu ulogu imaju pedagoški ciljevi, način implementacije i primjerenost sadržaja dječijem uzrastu.

## Edukativne aplikacije

Edukativne aplikacije predstavljaju jedno od najrasprostranjenijih digitalnih rješenja u ranom obrazovanju, zahvaljujući svojoj dostupnosti, interaktivnosti i prilagodljivosti razvojnim potrebama djece. One omogućavaju učenje kroz igru, nudeći vizuelno i auditivno stimulativne sadržaje koji mogu pomoći u razvoju jezika, logičkog razmišljanja, matematičkih vještina, ali i ekološke svijesti (Hirsh-Pasek et al., 2015: 8; Knežević, 2018: 74). Prednosti korištenja edukativnih aplikacija u ranom odgoju uključuju: individualizaciju pristupa učenju, mogućnost samostalnog istraživanja, razvoj digitalnih kompetencija, te visoku motivaciju djece zbog privlačnog multimedijalnog okruženja (Plowman & McPake, 2013: 28; Đokić, 2020: 88). Aplikacije koje se temelje na znanstveno utemeljenim pedagoškim principima mogu značajno unaprijediti kvalitet odgojno-obrazovnog procesa ako se koriste promišljeno i u kombinaciji s drugim oblicima učenja. Međutim, brojni autori upozoravaju i na izazove i rizike vezane za upotrebu digitalnih aplikacija kod djece predškolskog uzrasta. Najčešće prepreke uključuju: prekomjernu izloženost ekranima, pasivno konzumiranje sadržaja umjesto aktivnog učestvovanja, nedostatak kvalitetnih aplikacija na lokalnim jezicima i nedovoljnu edukaciju odgajatelja o njihovoj pedagoškoj primjeni (Edwards, 2013: 207; Kahrmanović, 2020: 60). Ključ za uspješnu implementaciju edukativnih aplikacija leži u njihovoj svrhovitoj integraciji u svakodnevne aktivnosti, uz stalno prisustvo odrasle osobe koja moderira iskustvo djeteta i podstiče refleksiju, razgovor i prenošenje naučenog u stvarne životne situacije (Chaudron et al., 2018: 39). Korištenje aplikacija mora biti promišljeno i ograničeno vremenski, kako bi se očuvala ravnoteža između digitalnog i stvarnog iskustva djeteta.

## Interaktivne table (smart boards)

Interaktivne table, poznate i kao pametne table (smart boards), predstavljaju jednu od najznačajnijih inovacija u savremenoj obrazovnoj tehnologiji. U kontekstu ranog i predškolskog odgoja one nude mogućnost dinamičnog i multisenzornog odgojno-obrazovnog procesa koji podstiče dječiju pažnju, angažman i aktivno učenje (Smith, Higgins, Wall, & Miller, 2005: 92). Kroz dodir, pokret i interakciju sa sadržajem djeca mogu učiti na način koji odgovara njihovim razvojnim potrebama i interesima.

Prednosti korištenja interaktivnih tabli u ranom odgoju uključuju: mogućnost integracije različitih multimedijalnih izvora (slika, zvuk, video), razvoj fine motorike kroz digitalno crtanje i pisanje, te podsticanje saradničkog učenja jer djeca mogu zajedno rješavati zadatke na tabli (Đokić, 2020: 90; Jukić & Rončević, 2018: 75). Osim toga, ove tehnologije omogućuju odgajateljima da brzo prilagode sadržaj i metode rada individualnim potrebama djece. Međutim, primjena interaktivnih tabli u praksi nije bez izazova. Jedan od glavnih problema je ograničena digitalna pismenost odgajatelja, što može rezultirati korištenjem pametnih tabli kao zamjene za tradicionalnu tablu, bez iskorištavanja njihovih punih interaktivnih potencijala (Kalogiannakis & Papadakis, 2017: 71). Također, prisutan je problem tehničke održivosti i dostupnosti opreme u svim ustanovama, posebno u manje razvijenim sredinama (Kahrmanović, 2020: 60). Važno je da upotreba interaktivnih tabli bude usklađena s razvojnim karakteristikama djece, te da se koristi kao dopuna, a ne zamjena za iskustveno i fizički aktivno učenje. Uspješna integracija ove tehnologije zahtijeva pedagoški promišljen pristup, kontinuiranu edukaciju odgajatelja i institucionalnu podršku u smislu opreme i tehničke pomoći (Lai, 2010: 62).



## Digitalne priče i animacije

Digitalne priče i animacije predstavljaju savremen oblik pripovijedanja koji kombinira slike, zvuk, tekst i pokret u cilju kreiranja multimedijalnog narativa. U kontekstu ranog odgoja, ove forme se sve češće koriste za predstavljanje edukativnih sadržaja, uključujući i teme vezane uz prirodu, okoliš i održivost (Robin, 2008: 224). Digitalne priče omogućuju djeci da se emocionalno povežu s likovima i događajima, čime se povećava njihova motivacija i sposobnost zadržavanja pažnje (Kovačević, 2020: 36).

Prednosti korištenja digitalnih priča u radu s djecom uključuju: razvoj jezičnih i komunikacijskih vještina, podsticanje mašte i empatije, razumijevanje uzročno-posljedičnih odnosa i lakše usvajanje apstraktnih pojmova kroz konkretne vizuelne prikaze (Yuk-sel, Robin & McNeil, 2011: 3; Đurić, 2019: 41). Animacije, kao pokretne vizuelne priče, dodatno pojačavaju kognitivni i emocionalni doživljaj, što je posebno važno u ranoj dobi kada djeca uče kroz simboličku igru i slikovni jezik. Međutim, korištenje digitalnih priča i animacija nosi i određene izazove. Prvi izazov je odabir kvalitetnog i razvojno primjerenog sadržaja, s obzirom na to da nije svaki animirani materijal prikladan za predškolsku djecu. Nadalje, postoji rizik od pasivizacije djece ako se digitalne priče koriste bez interaktivnih elemenata ili bez podsticaja za razgovor i refleksiju (Edwards, 2013: 205; Kahrmanović, 2020: 61). Također, prekomjerna upotreba ekrana može negativno utjecati na djetetovu pažnju, san i motoričke vještine. Zbog toga se preporučuje da digitalne priče i animacije budu pažljivo birane i integrirane u širi kontekst aktivnosti – uz razgovor, igru uloga, crtanje ili istraživanje povezanih tema u stvarnom svijetu. Uloga odgajatelja je ključna u vođenju djetetovog iskustva, podsticanju kreativnog izraza i kritičkog mišljenja o sadržaju (Nikolić, 2018: 84).

## Platforme za učenje i digitalni portofoliji

Platforme za učenje i digitalni portofoliji sve više pronalaze svoju primjenu u predškolskom i ranom osnovnoškolskom odgoju, jer omogućuju sustavno praćenje napretka djeteta, lakšu komunikaciju s roditeljima i bolju organizaciju individualiziranog učenja (Barrett, 2006: 4; Đokić, 2020: 89). Digitalni portofolij nudi prostor u kojem se mogu prikupiti različiti oblici dječijih radova – crteži, fotografije aktivnosti, snimci izgovorenih priča i komentari odgajatelja – čime se kreira cjelovit prikaz djetetovog razvoja.

Jedna od glavnih prednosti korištenja digitalnih platformi u ranom odgoju je transparentnost u praćenju učenja i razvoja djece. Roditelji imaju direktan uvid u djetetove aktivnosti, a odgajatelji mogu jednostavnije analizirati i dokumentirati individualni napredak (Knežević, 2018: 79; Kahrmanović, 2020: 60). Također, ovakvi alati podstiču refleksivnu praksu kod odgajatelja, jer omogućuju strukturirano planiranje i evaluaciju obrazovnih aktivnosti. Osim toga, platforme mogu služiti kao digitalni alat za saradničko učenje – djeca se mogu izražavati kroz digitalne medije, učiti jedni od drugih i prezentirati vlastite ideje u sigurnom digitalnom okruženju (Wang & Lee, 2014: 12). Uvođenje tehnologije u ovaj segment rada često povećava motivaciju djece, naročito kada imaju priliku da učestvuju u odabiru sadržaja koji ulazi u njihov portofolij.

Međutim, izazovi uključuju tehničke poteškoće, ograničen pristup opremi, nedovoljnu digitalnu pismenost odgajatelja i nedostatak vremena za kvalitetno vođenje portofolija (Jukić & Rončević, 2018: 76; Nikolić, 2020: 47). Također, postavlja se pitanje privatnosti podataka i etike u digitalnom dokumentiranju dječijih aktivnosti, što zahtijeva jasne smjernice i odgovornu upotrebu tehnologije. Za uspješnu primjenu platformi i portofolija u ranom odgoju, ključno je da tehnologija bude integrirana u pedagoški proces s jasnim ciljevima, uz stalnu podršku i stručno usavršavanje odgajatelja.



Augmentirana i virtualna stvarnost (AR/VR)

Augmentirana stvarnost (AR) i virtualna stvarnost (VR) sve više ulaze u obrazovni kontekst pružajući djeci priliku za iskustveno i višesenzorno učenje koje nadilazi fizičke granice učionice. U ranom odgoju, ovi alati mogu poslužiti kao snažno sredstvo motivacije i vizuelizacije apstraktnih pojmova, posebno u području prirodnih znanosti, ekologije i prostorne orijentacije (Bower et al., 2017: 3; Đokić, 2020: 91).

AR tehnologija omogućava prikaz digitalnih objekata u stvarnom okruženju putem pametnih uređaja, dok VR kreira potpuno inverzivno virtualno okruženje koje dijete istražuje pomoću specijaliziranih naočala ili headsetova. U obrazovnom kontekstu, AR i VR se koriste za simulacije prirodnih pojava, "putovanja" u svijet životinja ili biljaka, te za igrolelike zadatke koji podstiču kognitivni, senzomotorni i socio-emocionalni razvoj (Akçayır & Akçayır, 2017: 7; Nikolić, 2021: 64). Prednosti primjene ovih tehnologija u ranom djetinjstvu uključuju: povećanu pažnju i angažiranost djece, razvoj prostorne percepcije i kritičkog mišljenja, kao i mogućnost personaliziranog učenja kroz interaktivno istraživanje (Furio et al., 2013: 66; Kahrmanović, 2020: 61). Djeca bolje pamte informacije koje doživljavaju u kontekstu virtualne simulacije, jer takvo iskustvo povezuje emocije, pokret i vizuelne podražaje. Međutim, postoje i izazovi koji se odnose na tehničku zahtjevnost opreme, visoku cijenu uređaja, potrebu za stručnom obukom odgajatelja, te na razvojnu prikladnost sadržaja za djecu predškolskog uzrasta (Cai et al., 2020: 15; Jukić & Rončević, 2018: 78). Također, stručnjaci upozoravaju na moguće probleme s pretjeranom stimulacijom, smanjenom fizičkom aktivnošću i otežanom socijalnom interakcijom ako se AR/VR koriste bez mjere i nadzora (Knežević, 2018: 82). Zato se preporučuje da se AR i VR alati koriste selektivno i u kombinaciji s iskustvenim i grupnim učenjem, kako bi se očuvala ravnoteža između tehnologije i prirodnih oblika igre i istraživanja.

### **Uloga digitalnih alata u razvoju ekološke svijesti u ranom odgoju**

U savremenom obrazovnom kontekstu digitalni alati sve češće se koriste kao sredstvo za podsticanje dječije znatiželje, angažmana i razumijevanja kompleksnih tema, uključujući i ekološku svijest. Njihova primjena u ranom odgoju otvara nove mogućnosti za učenje o prirodi, okolišu i održivom razvoju kroz vizuelno, auditivno i interaktivno iskustvo (Edwards, 2013: 204; Kovačević, 2020: 38).

Digitalni alati kao što su edukativne aplikacije, animacije, interaktivne priče, AR/VR sadržaji i digitalni portofoliji mogu značajno doprinijeti razumijevanju ekoloških pojmova kod djece predškolskog uzrasta. Kroz simulacije, igre i vizuelne prikaze, djeca mogu doživjeti posljedice zagađenja, naučiti o reciklaži, očuvanju šuma ili štednji energije na način koji im je blizak i razumljiv (Bognar & Bušljeta Kardum, 2012: 434; Chawla, 2009: 16). Prednost ovih alata leži u mogućnosti personalizacije sadržaja i prilagodbi individualnim interesima i razvojnim potrebama djece. Također, digitalni alati omogućuju povezivanje znanja s emocijama i iskustvom, što dodatno doprinosi formiranju trajnih vrijednosnih stavova (Čatić, 2017: 58; Hirsh-Pasek et al., 2015: 20). U digitalnom narativu, dijete ne ostaje pasivni promatrač, već postaje aktivni učesnik koji donosi odluke, uočava uzroke i posljedice i preuzima ulogu "čuvara prirode".

Ipak, stručnjaci naglašavaju da je tehnologija korisna samo ako je u funkciji pedagoških ciljeva i ako se koristi u kombinaciji s direktnim iskustvima u prirodi. Digitalni alati ne mogu zamijeniti boravak na otvorenom, ali mogu biti snažna podrška u pripremi djece

na takva iskustva, kao i u njihovoj kasnijoj refleksiji i povezivanju naučenog s realnim svijetom (Wilson, 1996: 5; Kaliterna Lipovčan & Prizmić-Larsen, 2006: 630).

Ključnu ulogu u korištenju digitalnih alata ima odgajatelj, koji sadržaj mora pažljivo birati, moderirati i povezivati s konkretnim aktivnostima, vrijednostima i ekološkim ciljevima. Samo tako tehnologija može postati alat za razvoj kritičke svijesti, ekološke osjetljivosti i odgovornog ponašanja već u najranijoj dobi.

### **Primjeri iz prakse primjene digitalnih alata u razvoju ekološke svijesti kod djece**

Primjena digitalnih alata u svrhu razvoja ekološke svijesti kod djece postaje sve učestalija u vrtićima i predškolskim ustanovama širom svijeta, pa tako i u zemljama regije. Istraživanja i primjeri iz prakse pokazuju da, kada se koriste na svrhovit i promišljen način, digitalni alati mogu značajno doprinijeti razumijevanju ekoloških pojmova, podsticanju ekološkog ponašanja i razvoju emocionalne povezanosti djece s prirodom (Chawla, 2009: 20; Kahrimanović, 2020: 61). Naprimjer, u jednoj studiji provedenoj u vrtićima u Bosni i Hercegovini korištene su edukativne aplikacije i animacije koje su djeci prikazivale ekološke probleme u lokalnoj zajednici (npr. zagađenje rijeka, gomilanje otpada), nakon čega su djeca učestvovala u praktičnim ekološkim aktivnostima, poput recikliranja i čišćenja dvorišta (Čatić, 2017: 59). Kombinacija digitalnog prikaza i stvarnog iskustva pokazala se posebno efikasnom u razvoju ekološki osjetljivog ponašanja. U Hrvatskoj su pojedini vrtići implementirali projekte koji koriste interaktivne table i digitalne priče za teme poput štednje vode, brige o biljkama i zaštite životinja. Djeca su gledala kratke animirane priče, a zatim odgovarala na pitanja putem digitalnih kvizova ili učestvovala u simulacijama na pametnim tablama (Jukić & Rončević, 2018: 77). Aktivnosti su pratile praktične radionice u vrtićkom vrtu, što je dodatno učvrstilo naučene vrijednosti. Jedan primjer iz Finske, opisan u istraživanju Bowera i saradnika (2017: 10), uključuje korištenje augmentirane stvarnosti (AR) u radu s djecom uzrasta 5–6 godina, gdje su putem AR aplikacije "oživljavali" 3D modele ugroženih životinja i učili kako ljudske aktivnosti utječu na njihov opstanak. Kroz tu aktivnost djeca su razvijala empatiju, razumijevanje ekološke međupovezanosti i motivaciju za djelovanje. Svi navedeni primjeri potvrđuju važnost integracije digitalnih alata u kombinaciji s iskustvenim učenjem, igrom i refleksijom. Uspješni primjeri iz prakse zajednički naglašavaju tri ključna faktora: stručnu pripremu odgajatelja, selekciju kvalitetnih i pedagoški osmišljenih digitalnih sadržaja te aktivno uključivanje djece u aktivnosti koje povezuju digitalni svijet s realnim.

### **Izazovi i prepreke u primjeni digitalnih alata u ekološkom odgoju**

Uprkos brojnim prednostima koje digitalni alati donose u ekološkom odgoju, njihova integracija u praksu predškolskih ustanova suočava se s nizom izazova. Te prepreke uključuju tehničke, pedagoške i organizacijske aspekte koji znatno utječu na kvalitet implementacije digitalnih sadržaja i aktivnosti s ekološkom tematikom (Kahrimanović, 2020: 61; Plowman et al., 2012: 28). Uspješno korištenje digitalne tehnologije u odgoju za okoliš zahtijeva znanje, resurse i promišljenu strategiju kako bi se očuvala ravnoteža između tehnologije i neposrednog iskustva djeteta u prirodnom okruženju.

Jedan od ključnih izazova odnosi se na nedostatak digitalne infrastrukture i tehničke opremljenosti u vrtićima, posebno u manje razvijenim područjima. Nedovoljna dostupnost kvalitetnih uređaja, nestabilna internetska veza i zastarjela tehnologija često

onemogućuju kontinuirano i kvalitetno provođenje digitalno potpomognutih aktivnosti (Jukić & Rončević, 2018: 76).

Drugi izazov odnosi se na digitalne kompetencije odgajatelja. Iako su mnogi odgajatelji svjesni potencijala digitalnih alata, često se osjećaju nesigurno u njihovoj primjeni, pogotovo kada je riječ o sadržajima vezanim za ekologiju, koji zahtijevaju dodatnu stručnost i interdisciplinarni pristup (Knežević, 2018: 80; Kalogiannakis & Papadakis, 2017: 65). Bez adekvatne edukacije i podrške, tehnologija može biti korištena površno, bez dublje integracije u razvoj dječije ekološke svijesti.

Kvalitet digitalnog sadržaja predstavlja još jednu prepreku. Mnoge aplikacije i animacije dostupne na tržištu nisu pedagoški verificirane, sadrže nerealne ili senzacionalističke prikaze ekoloških problema, a često ne nude lokalno kontekstualizirane sadržaje koji bi djeci približili ekološke teme iz njihove neposredne okoline (Edwards, 2013: 206; Đokić, 2020: 90). Nedostatak kvalitetnih resursa na bosanskom, hrvatskom, srpskom i srodnim jezicima dodatno otežava njihovu upotrebu u vrtićima.

U praksi, pozitivni pomaci, ipak, postoje. Naprimjer, istraživanje iz Bosne i Hercegovine pokazuje kako kombinacija edukativnih animacija i praktičnih ekoloških aktivnosti može doprinijeti razvoju ekološkog ponašanja kod djece (Čatić, 2017: 59). U hrvatskim vrtićima digitalne priče i kvizovi na interaktivnim tablama koristili su se za približavanje tema recikliranja i zaštite životinja (Jukić & Rončević, 2018: 77). Slično tome, u Finskoj su korištene AR aplikacije koje djeci omogućavaju interakciju s ugroženim životinjama u 3D prostoru, podstičući razvoj empatije i ekološke osviještenosti (Bower et al., 2017: 10). Ipak, i pozitivne prakse potvrđuju da se digitalni alati mogu koristiti efikasno samo kada su dio šireg pedagoškog koncepta koji uključuje igru, iskustveno učenje i kontakt s prirodom. Tehnologija ne smije biti zamjena za prirodno iskustvo, već podrška u njegovom razumijevanju i produbljivanju (Wilson, 1996: 6; Kaliterna Lipovčan & Prizmić-Larsen, 2006: 630). Za prevazilaženje prepreka potrebne su sistemske promjene – ulaganje u infrastrukturu, kontinuirano stručno usavršavanje odgajatelja, razvoj lokalno relevantnih digitalnih sadržaja i institucionalna podrška koja afirmira održivi razvoj kao temeljnu vrijednost odgojno-obrazovnog procesa.

## Moguće smjernice za budući razvoj i istraživanja

Iako je primjena digitalnih alata u ranom ekološkom odgoju sve prisutnija, istraživanja na ovu temu još su relativno ograničena, naročito u kontekstu predškolskog uzrasta. Buduća istraživanja trebala bi biti usmjerena na dugoročne efekte digitalnog učenja o ekologiji, kao i na usporedbu različitih tehnologija (npr. aplikacija, AR/VR, digitalnih priča) u razvoju specifičnih ekoloških vrijednosti i ponašanja kod djece (Hirsh-Pasek et al., 2015: 15; Čatić, 2017: 59). Posebno su potrebne komparativne i longitudinalne studije koje bi analizirale koliko digitalni alati doprinose trajnom usvajanju održivih stavova u različitim socio-kulturnim sredinama (Chawla, 2009: 23; Kahrimanović, 2020: 62).

Za kvalitetnu implementaciju digitalnih alata u ekološki odgoj potrebno je razviti pedagoške smjernice i didaktičke modele koji uključuju tehnologiju u kontekst iskustvenog i integriranog učenja (Kaliterna Lipovčan & Prizmić-Larsen, 2006: 631; Edwards, 2013: 206). Odgajatelji trebaju biti osposobljeni ne samo za tehničku upotrebu alata, već i za kritičku selekciju sadržaja i njegovo povezivanje s lokalnim ekološkim problemima i svakodnevnim situacijama djece. Ključno je da se digitalni alati ne koriste izolirano, već kao podrška realnim iskustvima, istraživanju u prirodi i grupnim diskusijama (Wilson, 1996: 6; Đurić, 2019: 46).

Postoji značajan prostor za razvoj novih aplikacija, interaktivnih platformi i digitalnih sadržaja specifično usmjerenih na teme okoliša i održivosti za djecu predškolskog uzrasta. Takve aplikacije trebale bi biti vizuelno privlačne, jezično i kulturološki prilagođene djeci iz različitih sredina, te temeljene na principima igre i učenja kroz otkrivanje (Barrett, 2006: 5; Nikolić, 2020: 48). Buduće tehnologije, kao što su proširena stvarnost i senzorni alati povezani s vanjskim prostorom (npr. ekološke misije u prirodi pomoću mobilnih uređaja), imaju veliki potencijal da potaknu djecu na aktivno učestvovanje i razvijanje duboke ekološke osjetljivosti (Furio et al., 2013: 230; Jukić & Rončević, 2018: 78).

Saradnja među programerima, edukatorima i ekolozima može dovesti do kreiranja inovativnih rješenja koja povezuju tehnologiju, prirodu i vrijednosni odgoj u koherentnu, djeci pristupačnu cjelinu. U tom smislu, razvoj domaćih edukativnih platformi s lokalnim kontekstom predstavlja važan izazov, ali i priliku za unapređenje održivog obrazovanja u ranom djetinjstvu.

## **Zaključak**

Savremeni pristupi ekološkom odgoju u ranom djetinjstvu sve više prepoznaju značaj digitalnih alata kao sredstava za razvijanje ekološke svijesti kod djece. Integracija tehnologije u odgojno-obrazovni proces omogućava djeci da na interaktivan, vizuelno stimulativan i emocionalno angažiran način uče o prirodi, održivom razvoju i sopstvenoj ulozi u zaštiti okoliša. Digitalne aplikacije, animacije, pametne table, platforme za učenje, kao i AR/VR tehnologije, pokazale su se kao moćni alati za podsticanje rane ekološke osjetljivosti, naročito kada su povezani s praktičnim aktivnostima i iskustvima u stvarnom svijetu. Ipak, uspješna primjena digitalnih alata zahtijeva pedagošku promišljenost, odgovarajuću edukaciju odgajatelja, dostupnu i kvalitetnu infrastrukturu te kritički pristup izboru digitalnog sadržaja. Tehnologija ne bi trebala biti zamjena za neposredni kontakt s prirodom, već sredstvo koje proširuje i produbljuje razumijevanje prirodnih procesa i vrijednosti održivosti.

Primjeri dobre prakse u regiji i inostranstvu pokazuju da se najveći efekti postižu kroz integraciju digitalnog i iskustvenog učenja, uz aktivno učestvovanje djece, podršku odgajatelja i povezanost s lokalnim kontekstom. Ipak, prisutni su i brojni izazovi, uključujući tehnička ograničenja, nedovoljnu digitalnu pismenost kadra i neujednačenu dostupnost kvalitetnih obrazovnih resursa.

Stoga se preporučuje daljnji razvoj lokalno relevantnih digitalnih alata za ekološki odgoj, jačanje profesionalnih kompetencija odgajatelja te provođenje longitudinalnih istraživanja koja bi detaljnije analizirala utjecaj digitalne pedagogije na razvoj ekološke svijesti i ponašanja kod djece.

Zaključno, digitalni alati imaju značajan potencijal da doprinesu obrazovanju za održivi razvoj – ali samo ako se koriste smisleno, uz jasne pedagoške ciljeve, povezano s djetetovim iskustvom i u skladu s vrijednostima koje želimo razvijati od najranije dobi.

# INNOVATIONS IN ENVIRONMENTAL EDUCATION: THE ROLE OF DIGITAL TOOLS IN DEVELOPING ENVIRONMENTAL AWARENESS IN CHILDREN IN EARLY EDUCATION

**Summary:** In the context of increasingly pronounced environmental challenges and the rapid development of digital technologies, early childhood is recognized as a key developmental period for the formation of environmental awareness and values. This review paper explores the role of digital tools in the ecological education of preschool children, with the aim of identifying the potential, advantages, challenges and guidelines for their successful application. Various digital tools – educational applications, digital stories and animations, interactive whiteboards, digital portfolios and AR/VR technologies – are analyzed through the prism of their pedagogical value and possibilities for integration into everyday activities in kindergarten. The paper emphasizes that digital tools can significantly contribute to the understanding of ecological concepts, the development of emotional connection with nature and the encouragement of responsible behavior in children, especially when they are associated with experiential learning and practical activities. At the same time, challenges such as lack of resources, technical limitations, insufficiently developed digital competencies of educators and ethical issues related to the use of technology in working with children are pointed out. In conclusion, the author suggests guidelines for further research and development of locally relevant digital content that promotes sustainability, with an emphasis on the need for a holistic approach that connects technology, nature and value education in early childhood.

**Keywords:** ecological education, early childhood, digital tools, educational technologies, sustainable development, preschool education

## Literatura

1. Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review. *Educational Research Review*, 20, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>
2. Barrett, H. (2006). Using electronic portfolios for formative/classroom-based assessment. *Connected Newsletter*, 13(2), 4–6.
3. Beetham, H., & Sharpe, R. (2013). *Rethinking Pedagogy for a Digital Age: Designing for 21st Century Learning* (2nd ed.). Routledge.
4. Bogнар, L., & Bušljeta Kardum, J. (2012). Odgoj za okoliš i održivi razvoj u dječjem vrtiću. *Odgоjne znanosti*, 14(2), 423–440. Preuzeto s: <https://hrcak.srce.hr/89794>
5. Bower, M., Howe, C., McCredie, N., Robinson, A., & Grover, D. (2017). Augmented Reality in education – cases, places and potentials. *Educational Media International*, 54(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/09523987.2017.1324364>
6. Bower, M., Howe, C., McCredie, N., Robinson, A., & Grover, D. (2017). Augmented Reality in education – cases, places and potentials. *Educational Media International*, 54(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/09523987.2017.1324364>
7. Cai, S., Wang, X., & Chiang, F. K. (2020). A case study of augmented reality simulation system application in a preschool science course. *Interactive Learning Environments*, 28(3), 286–297. <https://doi.org/10.1080/10494820.2018.1541910>
8. Čatić, D. (2017). Ekološki odgoj i obrazovanje djece predškolskog uzrasta kroz igru. *Naša škola*, 84(1–2), 55–60.
9. Chaudron, S., Di Gioia, R., Gemo, M., & Beutel, M. E. (2018). Young children (0–8) and digital technology: A qualitative exploratory study across Europe. European Commission.

10. Chawla, L. (2009). Participation and the development of environmental responsibility in children. *Environmental Education Research*, 15(1), 9–31. <https://doi.org/10.1080/13504620802710581>
11. Chawla, L. (2009). Participation and the development of environmental responsibility in children. *Environmental Education Research*, 15(1), 9–31. <https://doi.org/10.1080/13504620802710581>
12. Đokić, I. (2020). Primjena interaktivnih digitalnih tehnologija u predškolskom obrazovanju. *Metodički obzori*, 15(29), 85–94.
13. Đurić, M. (2019). Digitalne slikovnice u predškolskom obrazovanju: Pedagoški potencijal i izazovi. *Nastava i vaspitanje*, 68(1), 39–52. <https://doi.org/10.5937/nasvas1901039D>
14. Edwards, S. (2013). Digital play in the early years: A contextual response to the problem of integrating digital technologies and play-based learning in the early childhood curriculum. *European Early Childhood Education Research Journal*, 21(2), 199–212.
15. Furio, D., Juan, M. C., Seguí, I., & Vivó, R. (2013). Mobile learning vs. traditional classroom lessons: A comparative study. *Journal of Computer Assisted Learning*, 29(3), 235–244.
16. Hirsh-Pasek, K., Zosh, J. M., Golinkoff, R. M., Gray, J. H., Robb, M. B., & Kaufman, J. (2015). Putting education in "educational" apps: Lessons from the science of learning. *Psychological Science in the Public Interest*, 16(1), 3–34.
17. Jukić, T., & Rončević, N. (2018). Digitalne tehnologije u obrazovanju: izazovi i mogućnosti. U: Jukić, T. i Rončević, N. (ur.), *Digitalne tehnologije u obrazovanju* (str. 69–89). Filozofski fakultet Sveučilišta u Splitu.
18. Kahrmanović, D. (2019). Razvijanje ekološke svijesti djece predškolskog uzrasta kroz integraciju sadržaja. *Obrazovanje i pedagogija*, 4(1), 39–47.
19. Kahrmanović, D. (2020). Digitalne kompetencije odgajatelja kao preduslov kvaliteta ranog i predškolskog obrazovanja. *Obrazovne teme*, 3(2), 55–64.
20. Kaliterna Lipovčan, L., & Prizmić-Larsen, Z. (2006). Ekološka svijest i psihološki aspekti održivog razvoja. *Društvena istraživanja*, 15(4–5), 623–643.
21. Kalogiannakis, M., & Papadakis, S. (2017). The use of interactive whiteboards in preschool education: A review of the literature and a case study. *International Journal of Teaching and Case Studies*, 8(1), 60–71.
22. Knežević, M. (2018). Primjena digitalnih tehnologija u ranom i predškolskom odgoju i obrazovanju. U: Jukić, T. i Rončević, N. (ur.), *Digitalne tehnologije u obrazovanju* (str. 71–85). Filozofski fakultet Sveučilišta u Splitu.
23. Kovačević, M. (2020). Digitalno pripovijedanje u predškolskim ustanovama – mogućnosti i ograničenja. *Napredak: Časopis za pedagošku teoriju i praksu*, 161(1), 33–46.
24. Lai, K. W. (2010). Digital technology and the culture of teaching and learning in higher education. *Australasian Journal of Educational Technology*, 26(8), 1057–1071.
25. Nikolić, B. (2018). Digitalne animacije kao medij učenja u predškolskom obrazovanju. *Vaspitanje i obrazovanje*, 4(2), 78–88.
26. Nikolić, B. (2020). Digitalni portfeli u predškolskom obrazovanju: mogućnosti i ograničenja. *Vaspitanje i obrazovanje*, 6(1), 43–52.
27. Nikolić, B. (2021). Primjena virtualne stvarnosti u predškolskom obrazovanju: mogućnosti i izazovi. *Vaspitanje i obrazovanje*, 7(2), 61–70.
28. Palmer, J. A. (1995). Environmental thinking in the early years: Understanding and misunderstanding of concepts related to waste management. *Environmental Education Research*, 1(1), 35–45.
29. Plowman, L., & McPake, J. (2013). Seven myths about young children and technology. *Childhood Education*, 89(1), 27–33.
30. Robin, B. R. (2008). Digital storytelling: A powerful technology tool for the 21st century classroom. *Theory Into Practice*, 47(3), 220–228.
31. Šiljug, M. (2015). Uloga odgajatelja u razvoju ekološke svijesti kod djece rane i predškolske dobi. *Život i škola*, 61(1), 33–41.
32. Siraj-Blatchford, I., & MacLeod-Brudenell, I. (2002). *Supporting Science, Design and Technology in the Early Years*. Open University Press.
33. Smith, H. J., Higgins, S., Wall, K., & Miller, J. (2005). Interactive whiteboards: Boon or bandwagon? A critical review of the literature. *Journal of Computer Assisted Learning*, 21(2), 91–101.
34. Tilbury, D. (1995). Environmental education for sustainability: Defining the new focus of environmental education in the 1990s. *Environmental Education Research*, 1(2), 195–212.
35. UNESCO. (1977). *Tbilisi Declaration: Intergovernmental Conference on Environmental Education*. UNESCO.

36. Vujanović, I., & Milošević, D. (2020). Ekološko obrazovanje u funkciji održivog razvoja: Stavovi vaspitača i učitelja. *Zbornik Instituta za pedagoška istraživanja*, 52(1), 121–138.
37. Wang, S., & Lee, L. (2014). Using digital storytelling to develop 21st-century skills in the elementary classroom. *Technology and Engineering Teacher*, 73(8), 11–16.
38. Wilson, R. A. (1996). Environmental Education Programs for Preschool Children. *Journal of Environmental Education*, 27(4), 28–33.
39. Yuksel, P., Robin, B., & McNeil, S. (2011). Educational uses of digital storytelling: A preliminary study. *Turkish Online Journal of Educational Technology*, 10(3), 1–12.



# **ZNAČAJ DIGITALNE I INOVATIVNE TEHNOLOGIJE U ZELENOJ EKONOMIJI**

**prof. dr. sc. Ivan Balta, red. sveuč. prof. / prof. emeritus**  
Sveučilište "Josip Juraj Strossmayer" Osijek

**Sažetak:** Digitalna transformacija se odnosi na integraciju digitalnih tehnologija za povećanje produktivnosti i ekonomske učinkovitosti, a zelena tranzicija na primjenu rješenja relevantnih tranzicija prema gospodarstvu, posebno u tzv. zelenoj ekonomiji, koje bi se trebale urediti tako da budu što manje ovisne i neutralne na negativne učinke klime i okoliša. Digitalne tehnologije zelene ekonomije i istraživanja značajna su prilika za rast i povećanje produktivnosti u sklopu gospodarstva koja je usmjerena na usluge, posebno za proizvodnju kvalitetne hrane. Unazad više od decenije, kao ključna pitanja u razvoju globalne ekonomije i društva uopće, izdvojila su se ona koja su se odnosila na potencijal informacijsko-komunikacijskih tehnologija, odnosno digitalizacije izazova održivog razvoja i zaštite životne sredine danas, a gdje je tehnologija ključni moment u balansu između razvoja društva i prirodnog okruženja, posebno na području zelene ekonomije u tranziciji. Europski zeleni plan ili Eurozeleni dogovor, nove su strategije rasta u Europskoj uniji, a koje "imaju za cilj transformaciju Europske unije u pravedno prosperitetno društvo s konkurentnom ekonomijom". Europska komisija je Zeleni plan predstavila institucijama EU i javnosti 2019. godine. Agenda za održivi razvoj EU sadrži ključne elemente Europskog zelenog plana do 2030., a namjera iste Agende je zaštititi građane EU od štetnosti utjecaja na životnu sredinu, a koje trebaju biti inkluzivne i pravedne za sve. Europska zelena digitalna koalicija u okviru pilot-projekta Europskog parlamenta osnovana je kao konzorcij za potporu EGDC (European Green Digital Coalition), a koja definira znanstveno utemeljene metode za procjenu smanjenja i izbjegavanja emisija stakleničkih plinova pomoću posebnih rješenja ICT (International Coalition Transformation/Technology) u različitim sektorima te za potporu zelenoj digitalnoj transformaciji. Danas je glavni cilj EGDC-a maksimalno povećati korist digitalizacije za održivost, smanjenje i izbjegavanje emisija štetnosti nusprodukata proizvodnje, gdje ekonomske aktivnosti moraju biti usmjerene prema dugoročnom očuvanju prirodnih resursa i smanjenju negativnog utjecaja na životnu sredinu. Europski zeleni plan stavlja u prvi plan izazov klimatskih promjena na osiguranje održivog razvoja, a koji obuhvaća i primjenu digitalnih tehnologija u cilju uvođenja zelene ekonomije. Zelena ekonomija i zeleno poduzetništvo predstavljaju održivi put za razvoj poslovnog sektora, smanjenje negativnog utjecaja na životnu sredinu i stvaranje novih radnih mjesta. Postoji rastući potencijal za širenje zelenog poduzetništva kroz inovacije u poljoprivredi, obnovljive izvore energije, reciklažu i održive proizvode, a za dalji razvoj potrebno je ojačati edukaciju, osigurati bolji pristup financijama i poboljšati infrastrukturne uvjete uz rastuće nove izazove koje je teško izbjeći, kao npr. G-mol u proizvodnji hrane. Zelena ekonomija i poduzetništvo imaju ogroman potencijal za dugoročni rast koji može doprinijeti očuvanju životne sredine te boljim ekonomskim perspektivama i u svim zemljama jugoistočne Europe.

**Ključne riječi:** Digitalne tehnologije i zelena ekonomija

## **Uvod**

Digitalna transformacija odnosi se na integraciju digitalnih tehnologija za povećanje produktivnosti i ekonomske učinkovitosti, a ulaganja u digitalnu i zelenu tehnologiju

imaju potencijal koji može značajno potaknuti izgleda razvoja zemlje.<sup>1</sup> Europska zelena digitalna transformacija na svim poljima djeluje kao i Europska zelena digitalna koalicija, a koja se u Europskoj Uniji preko skupine poduzeća zalaže za potporu zelenoj i digitalnoj transformaciji.<sup>2</sup> Zaključcima Vijeća EU iz 2020., izjave govore o digitalizaciji u korist okoliša, a prepoznaju se kao ključni akteri u borbi protiv klimatskih promjena. Često su se potpisnici izjava obvezivali kako će u ime svojih poduzeća poduzeti mjere u tri područja:<sup>3</sup>

(a) da se sa znatnom energetsom učinkovitošću i učinkovitošću materijala, trebaju uložiti u razvoj i uvođenje zelenih digitalnih rješenja kojim bi se postigao pozitivan učinak u raznim sektorima,

(b) trebaju se udružiti snage s nevladinim organizacijama i relevantnim stručnim organizacijama u razvoju metoda i alata za mjerenje učinka zelenih digitalnih tehnologija na okoliš i klimu,

(c) trebaju se preporučiti smjernice za zelenu digitalnu transformaciju sektora koji pogoduju okolišu, društvu i gospodarstvu u zajedničkom ulaganju i stvaranju s predstavnicima drugih sektora.

U okviru pilot-projekta Europskog parlamenta, Europska zelena digitalna koalicija osnovana je kao konzorcij za potporu EGDC-a, a na definiranju znanstveno utemeljenih metoda za procjenu smanjenja i izbjegavanja emisija stakleničkih plinova s pomoću posebnih rješenja ICT-a u različitim sektorima te za potporu zelenoj digitalnoj transformaciji sektora kao što su promet, energetika, poljoprivreda i građevinarstvo. Pod vodstvom Globalne inicijative za omogućavanje održivosti, projekt je okupio razna ključna udruženja koja su s članovima EGDC-a radila na razvoju znanstvenih metodologija koje su objavljene u publikacijama uključujući tri dokumenta godine iz 2024.:<sup>4</sup>

a) metodologija procjene neto ugljičnog učinka za rješenja ICT-a, koje omogućuju procjene pozitivnog doprinosa određenih rješenja emisija CO<sub>2</sub> u ICT-a, a dopunjene su metodologijama specifičnim za pojedini sektor,

b) studije slučaja iz stvarnog života, za mjerenje neto učinka rješenja ICT-a na okoliš, a uglavnom se odnose na upravljanje energijom u zgradama pa do 5G - proizvodnje i poljoprivrede te pametnih gradskih platformi i pametne energije,

c) smjernice za uvođenje, formulirane su za poboljšano sektorsko razumijevanje uvođenja rješenja ICT-a, a u pružanju smjernica za optimizaciju pozitivnih učinaka.

Kao, možda, i u drugim zemljama Balkana, uvođenje novih tehnologija nije išlo bez određenih poteškoća. Tako je u Hrvatskoj nedavno ispitivano javno mnijenje i mišljenje o umjetnoj inteligenciji, gdje je samo oko 25% ispitanika imalo pozitivno mišljenje, iako je svjesno da je umjetna inteligencija budućnost u polju zelene digitalne transformacije.<sup>5</sup> Rješenja ICT-a proizvoda ili usluga koje kombiniraju digitalne mreže, tehnologije i aplikacije, svjesne su da Zelena digitalna rješenja ili ICT pozitivno doprinose okolišnim i klimatskim ciljevima, a posebno je izraženo pitanjem o doprinosu u smanjivanju ili izbjegavanju emisija stakleničkih plinova. Dobra strana digitalizacije jeste da ona može ubrzati i prelazak na kružno gospodarstvo, primjerice praćenjem i optimizacijom uporabe prirodnih resursa te omogućavanjem novih održivih poslovnih modela uz istodobno podupiranje otpornosti gospodarstva. Digitalizacija može biti korisna i u prelasku na održivost razvoja privrede, a istodobno može potaknuti digitalne inovacije

<sup>1</sup> <https://mzom.gov.hr/istaknute-teme/znanost/digitalne-inovativne-i-zelene-tehnologije-dig-it/5463>

<sup>2</sup> Europska zelena digitalna koalicija EGDC koja je pružala potporu imala je u početku 37 članova i 14 partnera. Uprave poduzeća u području ICT (IKT-a) osnovala su EGDC koji su na tzv. digitalni dan 2021. potpisali Deklaraciju za potporu zelenoj i digitalnoj transformaciji Europske Unije.

<sup>3</sup> <https://digital-strategy.ec.europa.eu/hr/policies/european-green-digital-coalition>

<sup>4</sup> <https://www.greenigitalcoalition.eu/egdc-pilot-project-delivers-methodologies-to-measure-the-enabling-impact-of-digital-solutions-on-the-climate/>

<sup>5</sup> P 115 115 HTV 1 nedjelja 23.02.2025.11:56:08 Zagreb, 23. veljače 2025. Gospodarstvo

i pružiti nove mogućnosti digitalnoj industriji za inovacije u povećanju konkurentnosti. Njezin prijelaz na kružno gospodarstvo zahtijeva stvaranje novih digitalnih održivih poslovnih modela i prilika u EU-u i u iskorištavanje prednosti na globalnim tržištima. Dobra je spoznaja kako je sinergija između zelene tranzicije i digitalizacije temelj zelene digitalne transformacije te donosi društvene, okolišne i gospodarske koristi. Dosljedne i usporedive metode procjene, kao što su pokazatelji, mjerni podaci i ključni pokazatelji uspješnosti, dobrodošle su za privatne i javne ulagače. Iste metode mogle bi se upotrebljavati u okviru taksonomije u EU, u javnim i privatnim fondovima za razvoj i inovacije tzv. zelenih javnih i privatnih naručitelja, no nedostatak takvih pokazatelja mogao bi dovesti:

- do propuštenih prilika za financiranje razvoja i uvođenja zelenih digitalnih rješenja,
- do prepreka u širem usvajanju zelenih javnih nabava za rješenja koja se temelje na ICT-u u državama članicama i u regijama,
- do nedostatka vjerodostojnih dokaza za oblikovatelje politika koje planiraju usporodnu zelenu i digitalnu tranziciju.

Kako bi se poboljšalo razumijevanje različitih sektora o tome kako najbolje nastaviti s usporednom zelenom digitalnom tranzicijom, nastoje se EGDC-om promicati i omogućiti međusektorski dijalozi. Isti bi trebali dovesti do izrade smjernica za uvođenje zelenih digitalnih rješenja u sektorima kao što su energetika, promet, proizvodnja, poljoprivredno-prehrambeni i građevinski sektor.

U tom smislu je Vijeće EU zatražilo u svojim Zaključcima o digitalizaciji u korist okoliša, donesenim u prosincu 2020., da EGDC započne člankom 11. na transparentnijem i bržem uvođenju zelene i digitalne transformacije. EGDC je pozdravilo Deklaraciju o zelenoj i digitalnoj transformaciji EU, a pozdravili su je i čelnici poduzeća i u drugim zemljama aktivnih u zelenoj digitalnoj transformaciji, obvezujući se da će do 2040. postati klimatski neutralni.<sup>6</sup>

Istraživanja na istu temu zelene ekonomije kroz prizmu digitalne transformacije, preko istraživanja prvenstveno u zemljama zapadne demokracije, brzo su stizala i do istraživanja u balkanskim zemljama. Tako su znanstvenici Dašić, G. i Anufrijević, A. objavili u sažetku svoga rada 2022.: "Već više od decenije unazad, kao ključna pitanja u razvoju globalne ekonomije i društva uopće, izdvojila su se ona koja se odnose na potencijal informacijsko-komunikacijskih tehnologija, odnosno digitalizacije izazova održivog razvoja i zaštite životne sredine danas, a gdje tehnologija predstavlja ključni moment u postizanju balansa između razvoja društva i prirodnog okruženja".<sup>7</sup> Značaj i uloga digitalizacije iznimno su važni u transformaciji pojedinih sektora, posebno zelene ekonomije, kao i uloga digitalizacije u transformaciji određenih područja, kao u energiji i proizvodnji hrane.

<sup>6</sup> <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2020/12/17/digitalisation-for-the-benefit-of-the-environment-council-approves-conclusions/>

<sup>7</sup> Dašić, Goran; Anufrijević, Ana (2022): Zelena ekonomija kroz prizmu digitalne transformacije, *Ekologika*, sv. 29, br. 107, Zemun, 331-336. (Visoka škola modernog biznisa, Beograd i Visoka poslovna škola strukovnih studija, Čačak) [https://www.researchgate.net/publication/363393892\\_Zelena\\_ekonomija\\_kroz\\_prizmu\\_digitalne\\_transformacije](https://www.researchgate.net/publication/363393892_Zelena_ekonomija_kroz_prizmu_digitalne_transformacije)

| Sektor                  | Uloga digitalizacije                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Energija                | Da bi se došlo do energetske tranzicije, neophodno je osigurati da europsko energetsko tržište bude u potpunosti integrirano, ali uz poštovanje tehnološke neutralnosti.                                                   |
| Industrijska strategija | Mora se u potpunosti iskoristiti potencijal digitalne transformacije, a kojima je ključni faktor postizanje ciljeva Europskog zelenog plana.                                                                               |
| Gradnja                 | Trebaju se osigurati projekti za izgradnju novih i renoviranje postojećih zgrada, a u svim fazama trebaju biti u skladu s potrebama cirkularne ekonomije na kojima treba inzistirati i dovesti do povećane digitalizacije. |
| Prijevoz                | Automatizirana i povezana multimodalna mobilnost treba dobiti veću ulogu zajedno s pametnim sustavima upravljanja prometom koje bi omogućila digitalna tehnologija.                                                        |
| Hrana                   | Pronalaženjem načina kako bi se potrošačima putem digitalnih sredstava pružale preciznije i bolje informacije o detaljima kao što su podrijetlo hrane, njena nutritivna vrijednost i njezin utjecaj na životnu sredinu.    |

Tabela 1. - Uloga digitalizacije u transformaciji pojedinih sektora <sup>8</sup>(posebno se aplicira na uvjete)

Europski zeleni plan (tzv. Eurozeleni dogovor) nova je strategija rasta u Europskoj uniji, a koja “ima za cilj transformaciju Europske unije u pravedno prosperitetno društvo s konkurentnom ekonomijom”. Zeleni plan Europska komisija je predstavila institucijama EU i javnosti 11. prosinca 2019. godine. Agenda za održivi razvoj EU sadržavao je ključne elemente Europskog zelenog plana do 2030. godine. Temeljna namjera iste Agende bila je zaštititi građane EU od štetnosti utjecaja na životnu sredinu, koji su trebali biti inkluzivni i pravedni za sve, navodi se u napomeni Europske komisije iz 2020., a s navedenim oblastima koje bi činile tzv. Europski zeleni dogovor koji su navedeni u osam odjeljaka.<sup>8</sup> a koja “ima za cilj transformaciju Europske unije u pravedno prosperitetno društvo s konkurentnom ekonomijom”. Zeleni plan Europska komisija je predstavila institucijama EU i javnosti 11. prosinca 2019. godine. Agenda za održivi razvoj EU sadržavao je ključne elemente Europskog zelenog plana do 2030. godine. Temeljna namjera iste Agende bila je zaštititi građane EU od štetnosti utjecaja na životnu sredinu, koji su trebali biti inkluzivni i pravedni za sve, navodi se u napomeni Europske komisije iz 2020., a s navedenim oblastima koje bi činile tzv. Europski zeleni dogovor koji su navedeni u osam odjeljaka.<sup>9</sup>

| Područje    | Uloga digitalizacije                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Zagađenje   | Korištenje novih digitalnih tehnologija u praćenju, modeliranju i planiranju projekata vezanim za kvalitetu zraka.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Inovacije   | Dostupnost i interoperabilnost srž su inovacija s podacima u kombinaciji s digitalnom infrastrukturom (npr. superračunala, računarstvo u oblaku, ultra brze mreže) i rješenja umjetne inteligencije, koje olakšavaju odluke zasnovane na dokazima i proširuju kapacitet za razumijevanje i rješavanje ekoloških izazova.                                                                                                                                                                  |
| Upravljanje | Digitalizacija također može pomoći u poboljšanju dostupnosti informacija o karakteristikama proizvoda koji se prodaju u Europskoj uniji. Na primjer, elektronska putovnica proizvoda može pružiti informacije o porezu i kvaliteti proizvoda, sastavu, mogućnostima popravaka i rastavljanja te o rukovanju na kraju životnog vijeka proizvoda. Digitalne tehnologije ključni su faktor za postizanje održivih ciljeva Europskog zelenog plana u mnogim različitim sektorima i oblastima. |

Tabela 2 - Uloga digitalizacije u transformaciji određenih područja

Kao i neke druge zemlje, i Vlada Republike Hrvatske potpisala je Ugovor o zajmu između Republike Hrvatske i Međunarodne banke za obnovu i razvoj za projekt: “Digitalne, inovativne i zelene tehnologije”. Ugovor o zajmu potpisan je 2023., a ukupna vrijednost zajma iznosila je 106 milijuna eura u trajanju od pet godina. DIGIT projektom (Digital, innovative and green technologies - project) “dala bi se podrška cjelovitoj strukturnoj reformi istraživačkog i inovacijskog sektora financiranjem intervencija koje će

<sup>8</sup> Chan, Y. (2021): Digitalna transformacija za uključivanje Green Economy, UNEP, [https://www.uncle.org/wp-content/uploads/2021/12/Session-7a-Inclusive-digitalna-zelena-ekonomija\\_dalje-čitanje.pdf](https://www.uncle.org/wp-content/uploads/2021/12/Session-7a-Inclusive-digitalna-zelena-ekonomija_dalje-čitanje.pdf)

<sup>9</sup>Tzv. Europski zeleni dogovor čine oblasti ili područja: 1) Veće klimatske ambicije za EU za 2030. do 2025.; 2) Snabdijevanje čistom pristupačnom i sigurnom energijom; 3) Mobilizacija industrije za čistiju cirkularnu ekonomiju; 4) Izgradnja i renoviranje uz efikasnu upotrebu energije i resursa; 5) Cilj nulte zagađenosti na životnu sredinu bez toksičnosti; 6) Očuvanje za obnavljanje ekosistema za biodiverzitet; 7) Od njive do kuhinje: pošten, zdrav i ekološki prihvatljiv sustav ishrane; 8) Brzi prelazak na održivu i pametnu energiju i budućnost.

proizvesti transformativne učinke na izvrsnost istraživanja, povećanje produktivnosti i postizanje zelenog, digitalnog i globalnog konkurentnog gospodarstva". Istovremeno bi isti projekt podržala Svjetska banka, koja bi pomogla u povećanju apsorpcije i učinkovitosti danih sredstava iz NPOO-a i ESIF-a. Isti DIGIT projekt sastojao se od dvije komponente:

- Komponenta 1.: "Jačanje institucionalnih kapaciteta za provođenje digitalnih i zelenih istraživanja i inovacija" (66 mil. EUR), kojom bi se pružala tehnička pomoć i financiranje jačanja institucionalnih kapaciteta za potporu u istraživanju i razvoju, pomoć pri rješavanju kritičnih nedostataka koji sprečavaju usvajanje i stvaranje digitalne i zelene tehnologije te suradnju industrije i znanosti, potporu profesionalizaciji istraživačkih centara i poboljšanje istraživačke i tehnološke infrastrukture.

- Komponenta 2.: "Programi za istraživanje i inovacije u području digitalizacije i zelenih tehnologija" (40 mil. EUR), kojom bi se osiguravalo financiranje komplementarnih programa u odnosu na europske fondove te potporu usmjerenu na istraživanje i inovacije za digitalnu i zelenu tehnologiju.<sup>10</sup>

Već duže vrijeme postoji veliki oprez i razumijevanje za etički razvoj umjetne inteligencije u polju zelene ekonomije, a koja je mogla izmaknuti kontroli u prevelikom značenju i utjecaju - strojeva za učenje - u umjetnoj inteligenciji.<sup>11</sup>

U okviru pilot-projekta Europskog parlamenta, Europska zelena digitalna koalicija osnovana je kao konzorcij za potporu EGDC-u, a na definiranju znanstveno utemeljenih metoda za procjenu smanjenja i izbjegavanja emisija stakleničkih plinova pomoću posebnih rješenja ICT-a u različitim sektorima te za potporu zelenoj digitalnoj transformaciji. Pod vodstvom Globalne inicijative za omogućavanje održivosti projekt je okupio razna ključna udruženja koja su s članovima EGDC-a radila na razvoju znanstvenih metodologija koje su objavljene u publikacijama i uključuju tri dokumenta 2024. godine.:<sup>12</sup>

- a) metodologiju procjene neto ugljičnog učinka za rješenja ICT-a, koje su omogućavale procjene pozitivnih doprinosa i određenih rješenja emisija CO<sub>2</sub> u ICT-a, a dopunjene su metodologijama specifičnim za pojedini sektor.

- b) studije slučaja iz stvarnog života, za mjerenje neto učinka rješenja ICT-a na okoliš, a uglavnom su se odnosile na upravljanje energijom u zgradama pa do 5G - proizvodnje i poljoprivrede te pametnih gradskih platformi i pametne energije.

- c) smjernice za uvođenje, formulirane su za poboljšano sektorsko razumijevanje uvođenja rješenja ICT-a, a u pružanju smjernica za optimizaciju pozitivnih učinaka.

Danas je glavni cilj EGDC-a maksimalno povećati korist digitalizacije za održivost, smanjenje i izbjegavanje emisija štetnosti nusprodukata proizvodnje. Mišljenje je da bi se time ubrzala održiva i kružna tranzicija sektora i istodobno doprinijelo inovativnom, uključivom i otpornom digitalnom društvu, kao i zelenoj ekonomiji. Sugeriralo se kako članovi EGDC-a trebaju surađivati s Europskom komisijom i drugim zainteresiranim čimbenicima te redovito izvješćivati o postignutom napretku.

<sup>10</sup> Isto. Chan, Y. (2021), *Ecologica*, sv. 29, br. 107.

<sup>11</sup> Povezani dokumenti projektom "Digitalne, inovativne i zelene tehnologije" su: Etički kodeks za pripremu i provedbu podprojekata financiranih projektom: Digitalne, inovativne i zelene tehnologije (DIGIT projekt) (pdf) (ažurirano 8. listopada 2024.), Environmental and social management framework (ESMF) (Okvir okolišnog i socijalnog upravljanja), Stakeholder engagement plan (SEP) (Plan uključivanja dionika), Labor management procedure (Postupak radnog upravljanja), Environmental and social commitment plan (ESCP) (Plan zaštite okoliša i društva), Environmental and social management plan (ESMP) (Plan upravljanja okolišem i društvom) DIGIT Operations Manual (Priručnik za potporu - Projekt DIGIT) Project

<sup>12</sup> P 167 167 HTV 1 nedjelja 09.02.2025. 21:52:03 Paris, 9. veljače 2025. Svijet Na velikom summitu o umjetnoj inteligenciji u ponedjeljak i utorak u Parizu okupit će se brojni čelnici država ili vlada, međunarodnih organizacija, tehnoloških tvrtki i znanstvenici koji će pokušati postići globalni konsensus o etičkom razvoju umjetne inteligencije. Supredsjedatelj summita su Francuska i Indija. Francuska očekuje da će summit rezultirati osnivanjem zaklade posvećene umjetnoj inteligenciji. U ponedjeljaksu se na radnoj večeri, koju u Elizejskoj palači organizirao predsjednik Emmanuel Macron, okupili čelnici iz cijelog svijeta, među njima i hrvatski premijer Andrej Plenković. U utorak su započele radne sjednice.

Zelena ekonomija je već duži niz godina dominantna tema u razvoju, a daje joj se veliki značaj u budućnosti i u zemljama jugoistočne Europe. Zelenoj ekonomiji na Zapadnom Balkanu predstoji još čitav niz velikih i malih prihvaćanja da se uživi u izmijenjenom svijetu koji se može zajednički kreirati i voditi ga u smjeru održivosti. "Zeleniji" svijet koji se stvara kroz podijeljenu odgovornost javnog, poslovnog i civilnog sektora treba biti svijet suradnje i zajedničkog stvaranja.<sup>13</sup> Po nekim autorima: "Zelena ekonomija je ekonomija budućnosti do koje tek treba stići, kolektivno kao civilizacija kroz dugi niz malih i dobro promišljenih koraka. Zeleniji svijet koji se stvara kroz podijeljenu odgovornost javnog, poslovnog i civilnog sektora, svijet je suradnje i zajedničkog stvaranja".<sup>14</sup> U jednoj drugoj studiji navodi se: "Uvođenjem dodatnih inovacija, kao npr. povećanje materijalne i energetske učinkovitosti u postojećim proizvodnim procesima, ključni su elementi za prijelaz na zeleno gospodarstvo. Međutim, potrebne su i dublje pa čak i radikalne tehnološke inovacije. Kao jedna od radikalnijih inovacija je zamjena fosilnih goriva u prometnom sektoru kao i u proizvodnji željeza i čelika koja zahtijeva temeljne tehnološke promjene. Sve to ukazuje na činjenicu da održiva tehnološka promjena podrazumijeva novi val kreativnog uništenja s potencijalom da iz temelja promijeni konkurentsku dinamiku na mnogim tržištima i u industriji."<sup>15</sup> Zeleno poduzetništvo i zelena ekonomija ključne su komponente za održivi razvoj i zaštitu životne sredine.<sup>15</sup> Zelena ekonomija kao ekonomski model stavlja naglasak na smanjenje negativnog utjecaja ljudskih aktivnosti na prirodu, dok zeleno poduzetništvo podstiče poduzetnike da razvijaju inovativne, ekološki odgovorne proizvode i usluge. "To je ekonomija koja doprinosi općem dobru i društvenoj jednakosti dok istovremeno znatno smanjuje rizike po životnu sredinu i daljem iskorišćavanju prirodnih resursa" (Program Ujedinjenih naroda za okoliš - UNEP). Oba sektora imaju potencijal da podstaknu ekonomski rast, stvaraju nova radna mjesta i doprinesu rješavanju globalnih izazova poput klimatskih promjena, zagađenja i gubitka bioraznolikosti. Na principu održivosti zasniva se zelena ekonomija, što znači da ekonomske aktivnosti moraju biti usmjerene prema dugoročnom očuvanju prirodnih resursa i smanjenju negativnog utjecaja na životnu sredinu. Ciljevi zelene ekonomije uključuju: smanjenje emisije plinova s efektom staklene bašte i zaštitu klime; održivo korištenje resursa, vode, energije i sirovina; promociju cirkularne ekonomije koja se fokusira na reciklažu i ponovnu uporabu materijala; podršku i očuvanju bioraznolikosti i zaštitu ekosistema te stvaranju novih radnih mjesta u zelenim industrijama i sektorima. Područje djelovanja nije samo ekološki orijentirano, nego je i ekonomski korisno, jer doprinosi povećanju učinkovitosti, smanjenju troškova i otvara mogućnosti za inovacije u mnogim industrijama. S obzirom na globalne izazove, europske i svjetske politike usmjerene su ka promoviranju zelene ekonomije kroz različite strategije kao što su Europski zeleni plan i inicijative poput Europskog zelenog dogovora. Dakle, zeleno poduzetništvo predstavlja poslovni pristup koji kombinira ekonomske ciljeve s ekološkom odgovornošću. Poduzetnici u zelenim poduzetništvima koriste inovacije i tehnologije za razvoj proizvoda i usluga koje imaju manji utjecaj na

<sup>13</sup> <https://www.greendigitalcoalition.eu/egdc-pilot-project-delivers-methodologies-to-measure-the-enabling-impact-of-digital-solutions-on-the-climate/>

<sup>14</sup> Hinović Biro, Indira (2021): Utjecaj zelenih tehnologija na društveno odgovorno poslovanje, Sveučilište Sjever, Koprivnica. 1-37. <https://zir.nsk.hr/islandora/object/unin%3A4417/datastream/PDFview>

<sup>15</sup> Geels F. W. (2004): From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Res Policy*. 33: 897-920.



životnu sredinu, podržavaju cirkularne procese i osiguravaju održive izvore energije. Zelena poduzetništva uključuju razvoj tehnologije za proizvodnju energije iz solarnih, vodenih, vjetrovnih i drugih obnovljivih izvora i proizvodnju energetski učinkovitih uređaja, kao i tehnologije za smanjenje potrošnje energije u industriji, domaćinstvima i transportu. Inovacije su i u oblasti reciklaže, ponovne uporabe materijala i smanjenja otpada te proizvodnje ekološki prihvatljivih proizvoda, od hrane do tekstila, korištenjem održivih metoda i materijala. Između ostalih, važni segmenti razvoja i proizvodnje su i energetski održiva vozila, biciklističke staze, sustav javnog prijevoza s niskim emisijama CO<sub>2</sub>. Kombiniraju često “zeleni” poduzetnici ekonomske ciljeve s društvenom odgovornošću, a vrlo važni aspekti zelenog poduzetništva su socijalna i ekološka vrijednost koju proizvodi ili usluge donose zajednici. Lokalne tvrtke imaju inicijative i start-up tvrtke jer su prepoznale potencijal za poslovanje u sektoru održivosti. Iako postoje brojni potencijali u razvoju zelenog poduzetništva, poduzetnici se suočavaju s dosta izazova jer možda nisu dovoljno informirani o mogućnostima i koristima zelenog poduzetništva, a potrošači još uvijek nisu u potpunosti spremni platiti više za ekološke proizvode. Neadekvatni su poneki marketinški sadržaji kojima se ove vrste proizvoda nude, ne ukazuju dovoljno na njihovu kvalitetu i održivost. Pristup kapitalu za zelene projekte još je uvijek ograničen, posebno za male i srednje poduzetnike, iako postoje subvencije i fondovi. Rigidne su procedure koje zahtijevaju dodatna znanja, ali i postojanje financijskih sredstava kao garancije. Nedostatak infrastrukture za reciklažu, korištenje obnovljivih izvora energije i druge zelene tehnologije, također usporavaju širenje zelenog poduzetništva, kao i neuvažavanje socijalne i ekološke vrijednosti tih proizvoda. U Slavoniji, npr., zelena ekonomija i zeleno poduzetništvo predstavljaju održivi put za razvoj poslovnog sektora, smanjenje negativnog utjecaja na životnu sredinu i stvaranje novih radnih mjesta. No, postoji rastući potencijal za širenje zelenog poduzetništva kroz inovacije u poljoprivredi, obnovljivim izvorima energije, reciklaži i održivim proizvodima, a za dalji razvoj potrebno je ojačati edukaciju, osigurati bolji pristup financijama i poboljšati infrastrukturne uvjete. Zelena ekonomija i poduzetništvo imaju ogroman potencijal za dugoročni rast koji može doprinijeti očuvanju životne sredine i boljim ekonomskim perspektivama u svim zemljama jugoistočne Europe. Na primjer, Vlada Republike Hrvatske i Međunarodna banka za obnovu i razvoj IBRD (International Bank for Reconstruction and Development) i Svjetska banke potpisali su 28. lipnja 2023. Ugovor o zajmu (Zajam, br. 9558-HR)<sup>16</sup> za projekt “Digitalne, inovativne i zelene tehnologije“, kojim se pruža potpora cjelovitoj strukturnoj reformi istraživačkog i inovacijskog sektora kroz financiranje intervencija koje će imati transformativne učinke na izvrsnost istraživanja, povećanje produktivnosti i postizanje zelenog, digitalnog i globalno konkurentnog gospodarstva. Značajni potencijali za Hrvatsku su u usmjeravanju tržišta prema automatizaciji i većim ulaganjima u nematerijalni kapital ulaganja u digitalnu i zelenu tehnologiju. Isti projekti bi trebali podržati postizanje ciljeva definiranih u nekoliko komponenti, a koji se fokusiraju na reformu politika istraživanja i inovacija te jačanje kapaciteta za istraživanje i razvoj u istraživačkom i poslovnom sektoru, dok će se ciljevi povećanja produktivnosti podržati kroz modernizaciju istraživačke infrastrukture, jačanjem upravljanja istraživanjem, tehnološkim izviđanjem te kroz povezivanje akademske zajednice i industrije. Do sada je poznato nekoliko digitalnih programa koji su se realizirali u Hrvatskoj.<sup>17</sup>

<sup>16</sup> <https://digit.mzom.hr/programi/>

<sup>17</sup> Council of the EU PRESS EN PRESS RELEASE 968/20, 17/12/2020 - Digitalisation for the benefit of the environment: Council approves conclusions (Digitalizacija za dobrobit okoliša: Vijeće odobrava zaključke)



No, i dalje su izazovi zelene digitalizacije i ekonomije brojni, a u današnjem vremenu društvene nestabilnosti osjećaju se u svim porama života, koji se mogu registrirati događajima, koji su potvrđeni istraživanjima i Europske središnje banke postrožavanjem uvjeta u polju sigurnosti i kreditiranju. Tržišta strateških sirovina uslijed društveno-političkih nestabilnosti uzdrmana su, posebno u zelenoj ekonomiji, npr. zbog smanjenog izvoza ukrajinskog i ruskog žita. Srećom da Europska agencija za sigurnost hrane često upozorava na propuste, kako bi društvo bilo na vrijeme upozoreno, kao na primjer u slučaju propusta prehrambenih divova, kao Coca Cole, u kojem su bile ustanovljene visoke razine klorata koje mogu predstavljati opasnost po zdravlje ljudi.<sup>18</sup> Posrednim putem umjetna inteligencija, tj. preuzimanje aplikacija, može uzdrmati financijska tržišta kapitala, kako je to uradio kineski chatbot, pomagač temeljen na umjetnoj inteligenciji DeepSeek, koja je postala aplikacija umjetne inteligencije i najviše se preuzimala u Sjedinjenim Amreičkim Državama potisnuvši američkog konkurenta ChatGPT, zbog niskih troškova njezina kreiranja.<sup>19</sup> Sve se češće događaju slični problemi u društvima zemalja jugoistočne Europe u "preuzimanju" malih tvrtki od velikih tvrtki, koji i ne moraju uvijek biti s negativnom konotacijom, posebno u kvaliteti i financijskoj dobiti za društvo, uglavnom zbog smanjenih troškova usluga.<sup>20</sup> Umjetna inteligencija postaje internacionalna u smislu brzog djelovanja, ne poznajući prirodne granice ljudi, država i kapitala, posebno čestih slučajeva zelene tranzicije i tehnologije u pojavama epidemije raznih bolesti, u poljoprivredi i u zaštiti životinja.<sup>21</sup> I tzv. "zeleni" elektronika, tehnologija zaštite okoliša itd., tj. ideje, djelomično se odnose na materijale koji se koriste u proizvodnji računala, mobitela, televizora i desetaka drugih električnih uređaja. Na primjer, plastika koja se vidi u svim kablskim užetima često se sagorijeva kako bi se došlo do dragocjenog bakra u njoj, a opasne kemikalije tijekom postupka ispuštaju se u zrak. To u velikim količinama može dovesti do razvoja kiselih kiša i daljnje štete po okoliš. Danas se traži od proizvođača elektronike da ulažu u ekološki prihvatljive materijale, iako je možda jeftinije koristiti otrovnije materijale prilikom izrade uređaja. Smanjenje količine korištene energije i ispuštanja ugljika tijekom cijelog proizvodnog procesa, od prikupljanja materijala do prijevoza brodovima, koji se koriste za njihov transport do trgovina gdje je ključna komponenta proizvodnja zelenije elektronike. Pa i, npr., tzv. pametni telefoni dok ne dođu do korisnika prolaze kroz razne procese kontrole i primjene. U svakoj su zemlji različiti zakoni o emisiji ugljika na životnu sredinu, pa će se tijekom primjene i proizvodnje, npr. elektroničkih proizvoda u različitim zemljama, morati provjeravati zakonski akti te prolaziti provjere tijekom procesa proizvodnje i logistike. Konkretno, što to uređaje čini zelenom elektronikom ili zelenom tehnologijom? Strojevi bi trebali biti dizajnirani da postupno minimiziraju potrošnju energije te smanje utjecaj na okoliš, ali to ne znači samo da apsorbiraju manje električne energije od električnih utičnica. Zelena elektronika bi trebala sadržavati materijale i koristiti proizvodne procese koji su manje energetski zahtjevni od tradicionalnih metoda, s naglaskom, ukoliko mogu, da što češće koriste obnovljive i prirodne materijale. Da bi bila zelena i ekološki prihvatljiva roba i da bi dobila ekološku oznaku, elektronika danas mora ispunjavati kriterije i proći različita ispitivanja da bi bila prihvatljiva kao zelena tehnologija, tj. trebaju: smanjivati ili uklanjati materijale koji će imati štetne učinke, vršiti kvalitetni odabir materijala, odabirati kvalitetni dizajn za duže razdoblje, brinuti

<sup>18</sup> P 209 209 HTV 1 srijeda 29.01.2025. 07:13:57 Frankfurt, 28. siječnja 2025. Gospodarstvo

<sup>19</sup> Council of the EU PRESS EN PRESS RELEASE 968/20, 17/12/2020 - Digitalisation for the benefit of the environment: Council approves conclusions (Digitalizacija za dobrobit okoliša: Vijeće odobrava zaključke)

<sup>20</sup> P 212 212 HTV 1 srijeda 29.01.2025. 06:29:25 Moskva, 28. siječnja 2025. Gospodarstvo

<sup>21</sup> P 211 211 HTV 1 srijeda 29.01.2025. 06:40:58 London, 28. siječnja 2025. Gospodarstvo

o uštedi energije, elektronika treba imati korporativni učinak, jednostavno rukovanje te predvidjeti uporabu za dulji vremenski period.<sup>22</sup> Nadalje, već duže vrijeme je zapažena u polju zelene ekonomije povećana uporaba tzv. G-mol faktora u proizvodnji usjeva, hrane, a koja nije dobrodošla zbog svojih nuspojava i opasnosti po zdravlje ljudi uslijed konzumacije takve hrane. No, može li se ova ekspanzija zaustaviti veliko je pitanje, jer se rapidno povećava broj svjetskog stanovništva, ali istovremeno se ne mogu povećavati poljoprivredne površine. Postalo je upitno kako onda povećavati proizvodnju hrane a da ne bude rezultat kemijskih, bioloških i ostalih faktora koji su danas često i pogrešno nazvani G-molovi proizvodi. Tijekom proteklih 9.000 godina uočava se napredak u uzgajanju hranjivih biljki, čuvanju i trans-portiranju hrane, istovremeno su se zalihe u svijetu ogromno povećale. Usporedo s industrijskom revolucijom povećavao se i broj stanovnika. Prije nego što su se ljudi počeli intenzivno baviti zemljoradnjom i stočarstvom, na poljoprivrednom području (npr. na dvije trećine Saseksa -Sussex u GB) moglo se prehraniti samo oko 100 ljudi sredinom 19. vijeka. Danas, uglavnom zahvaljujući napretku poljoprivrede, oko 100 ljudi živi na svakom od 2.000 kvadrata, koji čine samo jednu trećinu grofovije.<sup>24</sup> Dakako da je tzv. zelena ekonomija nada rješenja u proizvodnji dostatne i zdrave hrane, toliko danas aktualnoj u čitavom svijetu, stoga se u svijetu pronalaze i primjenjuju alternativna rješenja ka proizvodnji zdrave hrane često u primjeni bioloških i više kemijskih eksperimentiranja na biljkama, usjevima.<sup>25</sup> Koliko se danas zna, vjerojatno niti nema alternativnih rješenja, osim moguće digitalne i inovativne tehnologije u zelenoj ekonomiji.

## Zaključak

Početak XXI. stoljeća obilježila su događanja koja su bila, i još su uvijek, prijetnja čovječanstvu na razne načine. To su svjetska financijska kriza, ekonomska kriza od velike depresije, pandemija covid-19, skok cijena energenata, hrane, kao i posljedica trenutnih događanja, npr. rata u Ukrajini i Izraelu, klimatske promjene, itd. Osim navedenog, početak XXI. stoljeća obilježio je izuzetan dinamički tehnološki razvoj, koji je označen kao IV industrijska revolucija i koja znatno i ubrzano mijenja život na zemlji. Iako je spoznaja o umjetnoj inteligenciji i stečenoj digitalnoj ekonomiji još uvijek slaba, ipak raste broj ljudi koji o njima imaju dobro mišljenje, svjesni da je umjetna inteligencija budućnost, a oprezan je i veći broj ljudi u vezi s njezinim korištenjem, mada su svjesni njezine prednosti u polju zelene digitalne transformacije. Odgovor na najavljene klimatske promjene i globalno zagrijavanje može, moguće, dati tzv. zelena ekonomija, koja promovira održivi ekonomski razvoj i brigu za okoliš. Istina, ukoliko nema podršku tehnoloških rješenja ili nije u skladu s principima održivog razvoja, upitni su onda i efekti zelene ekonomije. Naime, sama po sebi digitalna tehnologija ne doprinosi samo razvoju zelene ekonomije, već digitalna transformacija treba biti ključni proces u kome bi se vodilo računa o principima održivog razvoja i utjecaja koju ima digitalna tehnologija na zelenu ekonomiju. Neka istraživanja upućuju i nagovještavaju kako je zajedničko rješenje u potrebi sinergije između digitalne transformacije i zelene ekonomije. Tako i Europski zeleni plan stavlja u prvi plan izazov klimatskih promjena na osiguranje održivog razvoja, a koji obuhvaća i primjenu digitalnih tehnologija u cilju

<sup>22</sup> P 208 208 HTV 1 utorak 28.01.2025. 07:24:51 Peking/Washington, 28. siječnja 2025. Gospodarstvo

<sup>23</sup> P 210 210 HTV 1 srijeda 29.01.2025. 07:24:51 Sarajevo, 28. siječnja 2025. Gospodarstvo

<sup>24</sup> P 207 207 HTV 1 srijeda 29.01.2025. 07:03:12 Zagreb, 28. siječnja 2025. Gospodarstvo

<sup>25</sup> <https://www.ecolabel.org/hr/bilgiler/cevreci-teknoloji-nedir/>

uvođenja zelene ekonomije. Traženi su od XIX. stoljeća razni modusi i rješenja u problematici naglog porasta stanovništva i potrebi za povećanjem proizvodnje hrane, a poljoprivredne površine nisu mogle pratiti porast stanovništva. Pribjegavalo se raznim rješenjima, pa i onim koje nisu davala konačna i dobra rješenja, kao npr. primjena G-mola u proizvodnji hrane. Odnedavno ima izlaza iz problema, na primjer u usklađivanju u tzv. digitalizaciji u transformaciji određenih oblasti i sektora, a za potrebe tzv. zelene ekonomije. Kako je i Europska unija usvojila o tome deklaracije i planove svoga razvoja, s tim zajedno započela je i tzv. IV. industrijska tehnološka revolucija. Izazovi su bili brojni, a u današnjem vremenu društvene nestabilnosti osjećaju se u svim porama života koji se mogu registrirati događajima, koji su potvrđeni istraživanjima i Europske središnje banke postroživanjem uvjeta u polju sigurnosti i kreditiranju.<sup>26</sup> Sve se više odražavaju krize na nestabilnom tržištu tzv. zelene ekonomije, u kojem je umjetna inteligencija od presudnog značaja. Tržišta strateških sirovina uslijed društveno-političkih nestabilnosti uzdrmana su, posebno u zelenoj ekonomiji, no uspješno se traže i realiziraju rješenja.

---

<sup>22</sup> P 209 209 HTV 1 srijeda 29.01.2025. 07:13:57 Frankfurt, 28. siječnja 2025. Gospodarstvo

## **THE IMPORTANCE OF DIGITAL AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE GREEN ECONOMY**

**Summary:** Digital transformation refers to the integration of digital technologies to increase productivity and economic efficiency, and green transition refers to the implementation of relevant transition solutions towards the economy, especially in the so-called green economy, which should be arranged in a way that is as less dependent and neutral as possible on the negative effects of the climate and the environment. Digital technologies of the green economy and research are a significant opportunity for growth and increased productivity within an economy focused on services, especially for the production of quality food. For more than a decade, key issues in the development of the global economy and society in general have been those related to the potential of information and communication technologies, i.e. the digitalization of the challenges of sustainable development and environmental protection today, where technology is a key moment in the balance between the development of society and the natural environment, especially in the area of the green economy in transition. The European Green Plan or Eurogreen Deal are new growth strategies in the European Union, which “aim to transform the European Union into a fair, prosperous society with a competitive economy”. The European Commission presented the Green Plan to the EU institutions and the public in 2019. The EU Sustainable Development Agenda contains key elements of the European Green Deal 2030, which aims to protect EU citizens from the harmful effects of environmental impacts, which should be inclusive and fair for all. The European Green Digital Coalition (EGDC) was established as a consortium under a European Parliament pilot project to support the EGDC (European Green Digital Coalition), which defines scientifically based methods for assessing the reduction and avoidance of greenhouse gas emissions through specific ICT (International Coalition Transformation/Technology) solutions in different sectors and to support the green digital transformation. Today, the main goal of the EGDC is to maximize the benefits of digitalization for sustainability, reducing and avoiding emissions of harmful by-products of production, where economic activities must be directed towards the long-term preservation of natural resources and reducing negative environmental impacts. The European Green Deal puts the challenge of climate change at the forefront of ensuring sustainable development, which also includes the application of digital technologies to introduce a green economy. The green economy and green entrepreneurship represent a sustainable path for the development of the business sector, reducing negative environmental impacts and creating new jobs. There is a growing potential for the expansion of green entrepreneurship through innovations in agriculture, renewable energy sources, recycling and sustainable products, and for further development it is necessary to strengthen education, ensure better access to finance and improve infrastructure conditions, with growing new challenges that are difficult to avoid, such as G-mol in food production. Green economy and entrepreneurship have enormous potential for long-term growth that can contribute to environmental preservation and better economic prospects in all countries of Southeast Europe.

**Keywords:** Digital technologies and green economy

## Literatura

1. Geels F. W. (2004): From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Res Policy*. 33.
2. Hinović Biro, Indira (2021): Utjecaj zelenih tehnologija na društveno odgovorno poslovanje, Sveučilište Sjever, Koprivnica.
3. Šimleša, Dražen; Vuković, Sonja (2021): Naša zelena budućnost. FORS Montenegro - Fondacija za razvoj sjevera Crne Gore. Nikšić.
4. Šimleša, D. i Vuković, S. (2020): Utjecaj Europskog zelenog plana na ruralni prostor Hrvatske, LAG Baranja.
5. Adlešić, Majda (2024): Zeleno preduzetništvo i zelena ekonomija put ka održivom razvoju, Novi Sad.
6. Dašić, Goran; Anufrijeva, Ana (2022): Zelena ekonomija kroz prizmu digitalne transformacije, *Ekologica*, sv. 29, br. 107, Zemun.
7. Chan, Y. (2021): Digitalna Transformacija za uključivanje Green Economy, UNEP. *Ekologica*, sv. 29, br. 107.
8. Evans - Pritchard, E. E. (1987): Socijalna antropologija. Beograd: Prosveta.
9. Kulenović, Salih. (2001.): Kulturna antropologija (Uvod u kulturnu antropologiju i izbor tekstova). Filozofski fakultet Univerziteta u Tuzli.
10. Grupa autora. (1962): History, Civilization From its Beginnings, London, 1962.
11. Balta, Ivan. (2003): Socijalna antropologija (radna skripta za studente psihologije). Filozofski fakultet Sveučilišta u Osijeku.
12. Grupa autora. (1969): Istorija - od početaka civilizacije do danas-, Vuk Stefanović Karadžić Beograd, Mladinska knjiga Ljubljana.
13. Council of the EU PRESS EN PRESS RELEASE 968/20, 17/12/2020
14. Digitalisation for the benefit of the environment: Council approves conclusions
15. P 115 115 HTV 1 nedjelja 23.02.2025. 11:56:08 Zagreb, 23. veljače 2025. Gospodarstvo
16. P 167 167 HTV 1 nedjelja 09.02.2025. 21:52:03 Paris, 9. Veljače 2025. Svijet
17. P 209 209 HTV 1 srijeda 29.01.2025. 07:13:57 Frankfurt, 28. siječnja 2025. Gospodarstvo
18. P 212 212 HTV 1 srijeda 29.01.2025. 06:29:25 Moskva, 28. siječnja 2025. Gospodarstvo
19. P 211 211 HTV 1 srijeda 29.01.2025. 06:40:58 London, 28. siječnja 2025. Gospodarstvo
20. P 208 208 HTV 1 utorak 28.01.2025. 07:24:51 Peking/Washington, 28. siječnja 2025. Gospodarstvo
21. P 210 210 HTV 1 srijeda 29.01.2025. 07:24:51 Sarajevo, 28. siječnja 2025. Gospodarstvo
22. P 207 207 HTV 1 srijeda 29.01.2025. 07:03:12 Zagreb, 28. siječnja 2025. Gospodarstvo
23. <https://eko-vest.com/zeleno-preduzetnistvo-i-zelena-ekonomija-put-ka-odrzivom-razvoju/>
24. <https://digit.mzom.hr/programi/>
25. <https://zir.nsk.hr/slandoraobjectunin%3A4417datastreamPDFview>
26. Compress PDF & Reduce PDF Files Size Online for Free | Foxit
27. <https://mzom.gov.hr/istaknute-teme/znanost/digitalne-inovativne-i-zelene-tehnologije-dig-it/5463>
28. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/hr/policies/european-green-digital-coalition>
29. <https://www.greendigitalcoalition.eu/egdc-pilot-project-delivers-methodologies-to-measure-the-enabling-impact-of-digital-solutions-on-the-climate/>
30. <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2020/12/17/digitalisation-for-the-benefit-of-the-environment-council-approves-conclusions/>
31. [https://www.researchgate.net/publication/363393892\\_Zelena\\_ekonomija\\_kroz\\_prizmu\\_digitalne\\_transformacije](https://www.researchgate.net/publication/363393892_Zelena_ekonomija_kroz_prizmu_digitalne_transformacije)
32. <https://www.unclearn.org/wp-content/uploads/2021/12/Session-7a-Inclusive-digitalna-zelena-ekonomija-dalje-čitanje.pdf>
33. <https://www.ecolabel.org/hr/bilgiler/cevreci-teknoloji-nedir/>
34. <https://www.greendigitalcoalition.eu/egdc-pilot-project-delivers-methodologies-to-measure-the-enabling-impact-of-digital-solutions-on-the-climate/>

# PRIMJENA MATEMATIČKOG MODELIRANJA I DIGITALNIH ALATA U SIMULACIJI ZELENE EKONOMIJE

mr. sci. Elvir Čajić

Osnovna škola Prokosovići i Osnovna škola Kiseljak Tuzla

**Sažetak:** U radu se govori o mogućnostima primjene matematičkog modeliranja i digitalnih alata u cilju simulacije procesa zelene ekonomije. Kroz rad u MATLAB-u simulirani su održivi scenariji u realnom vremenu, s posebnim naglaskom na efikasno korištenje resursa i smanjenje emisije štetnih gasova.

**Ključne riječi:** zelena ekonomija, digitalizacija, matematičko modeliranje, MATLAB, simulacija, održivi razvoj, pametne tehnologije, realno vrijeme, energetska efikasnost, upravljanje resursima

## Uvod

U savremenom svijetu zelena ekonomija postaje sve važniji koncept u borbi protiv klimatskih promjena, očuvanja prirodnih resursa i osiguravanja održivog razvoja. Zelena ekonomija podrazumijeva ekonomske aktivnosti koje dovode do poboljšanja ljudskog blagostanja i društvene jednakosti uz istovremeno smanjenje ekoloških rizika i oskudice resursa. Kako bi se postigli ovi ciljevi, neophodno je razviti sofisticirane alate i metode koje će omogućiti analizu, predviđanje i upravljanje složenim sistemima u okviru zelene ekonomije. Upravo u tom kontekstu, matematičko modeliranje i digitalni alati igraju ključnu ulogu. Matematičko modeliranje omogućuje stvaranje apstraktnih reprezentacija stvarnih procesa, što omogućuje bolje razumijevanje i predviđanje ponašanja sistema. Digitalni alati, s druge strane, pružaju mogućnost brze obrade velikih količina podataka, simulacije različitih scenarija i vizualizacije rezultata. Kombinacija ovih pristupa omogućuje efikasnije planiranje i implementaciju politika i strategija koje vode ka održivom razvoju.

U doba ubrzanih klimatskih promjena, iscrpljivanja resursa i sve većih ekoloških izazova, integracija digitalnih tehnologija postaje ključna za efikasno planiranje i upravljanje procesima unutar zelene ekonomije.<sup>1</sup> Digitalizacija omogućava preciznije praćenje potrošnje resursa, simulaciju različitih scenarija razvoja, kao i donošenje odluka temeljenih na velikim skupovima podataka i matematičkim modelima.<sup>2</sup>

MATLAB kao jedan od najmoćnijih alata za tehničke simulacije nudi širok spektar funkcionalnosti za modeliranje kompleksnih sistema, analizu podataka i vizualizaciju rezultata. Njegova primjena u kontekstu zelene ekonomije omogućava stvaranje dinamičkih modela koji u realnom vremenu mogu prikazati posljedice različitih politika i mjera na efikasnost energetske sistema, emisiju gasova staklene bašte ili upravljanje otpadom.<sup>3</sup> Ovaj rad se fokusira na primjenu matematičkog modeliranja i digitalnih alata u simulaciji procesa zelene ekonomije s posebnim osvrtom na konkretne primjene unutar MATLAB okruženja. Prikazani su modeli koji uključuju energetske bilans, tokove resursa i scenarije koji reflektuju implementaciju održivih mjera. Cilj rada je ukazati na značaj digitalizacije kao instrumenta za postizanje strateških ciljeva održivog

---

<sup>1</sup> UNEP (2011): Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication, Nairobi

<sup>2</sup> Schwab, K. (2016): The Fourth Industrial Revolution, World Economic Forum, Geneva

<sup>3</sup> MathWorks Inc. (2022): Simulink and MATLAB for System Modeling and Simulation, Natick, MA

razvoja, kao i ponuditi praktičan okvir za primjenu tih alata u obrazovanju, nauci i upravljanju resursima. Matematički modeli u zelenoj ekonomiji koriste se za analizu različitih aspekata održivog razvoja, poput upravljanja prirodnim resursima, smanjenja emisija stakleničkih plinova, optimizacije energetskeg sistema i procjene ekonomskih i ekoloških učinaka različitih politika. Primjeri matematičkih modela uključuju modele dinamike populacija, modele optimizacije resursa, modele projekcije klimatskih promjena i modele ekonomskog rasta koji uključuju ekološke faktore.

Digitalni alati, poput softverskih platformi za analizu podataka, alata za geografski informacijski sistem (GIS), tehnologija umjetne inteligencije (AI) i interneta stvari (IoT), omogućuju brzu i preciznu analizu složenih sistema. Ovi alati pomažu u prikupljanju, obradi i interpretaciji velikih količina podataka što je neophodno za donošenje informiranih odluka u zelenoj ekonomiji. Naprimjer, GIS tehnologije omogućuju mapiranje i analizu prostornih podataka, što je korisno u planiranju korištenja zemljišta, upravljanju prirodnim resursima i praćenju promjena u okolišu. Alati umjetne inteligencije, poput mašinskog učenja, koriste se za predviđanje trendova u potrošnji energije, optimizaciji transportnih sistema i upravljanju otpadom. IoT tehnologije omogućuju praćenje i upravljanje resursima u stvarnom vremenu, poput pametnih mreža za upravljanje energijom.<sup>4</sup> Mi ćemo se baviti mogućnosti primjene digitalnih tehnologija, matematičkog modela i neuronskih mreža sopstvenih funkcija predikcije za predviđanje smanjenja ugljendioksida kako bismo utjecali na zelenu ekonomiju.

## 1. Teorijski okvir

Zelena ekonomija predstavlja transformaciju tradicionalnih ekonomskih sistema ka održivim modelima koji istovremeno potiču ekonomski rast, očuvanje okoliša i socijalnu inkluziju (F1). Ovaj koncept je posebno dobio na značaju kroz globalne inicijative poput Agende 2030 i ciljeva održivog razvoja (SDGs), gdje se digitalna transformacija prepoznaje kao ključni alat za postizanje ekoloških i ekonomskih ciljeva (F2).

Digitalizacija, kao proces integracije digitalnih tehnologija u sve aspekte ekonomskog i društvenog života, omogućava efikasnije upravljanje resursima, optimizaciju proizvodnih procesa i napredno modeliranje ponašanja sistema. Jedna od ključnih komponenti digitalizacije u kontekstu zelene ekonomije je matematičko modeliranje koje omogućava kvantitativnu analizu i predviđanje ishoda različitih strategija (F3).

Matematički modeli u ovom kontekstu mogu obuhvatati linearne i nelinearne jednačine, diferencijalne sisteme, optimizacione funkcije te metode analize scenarija. U radu se razmatra model energetskeg sistema male zajednice s ciljem simulacije različitih strategija korištenja obnovljivih izvora energije i smanjenja emisije CO<sub>2</sub>.

U kontekstu zelene ekonomije ključno je razumjeti odnos između energetske potrošnje, korištenja obnovljivih izvora energije i emisija štetnih plinova poput CO<sub>2</sub>. Matematički modeli omogućuju kvantificiranje ovih odnosa i simulaciju različitih scenarija kako bi se donijele informirane odluke o upravljanju energijom i smanjenju emisija.

### 1.1. Matematički model

Cilj modela je opisati odnos između potrošnje energije, korištenja obnovljivih izvora i emisija CO<sub>2</sub>. Model se temelji na sistemu diferencijalnih jednačina koji opisuje dinamiku potrošnje energije i emisija CO<sub>2</sub> u vremenu.

---

<sup>4</sup> Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2017): The Circular Economy – A new sustainability paradigm?, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 143, 757–768



Varijable model

$E(t)$  – ukupna potrošnja energije u vremenu  $t$

$R(t)$  – udio energije iz obnovljivih izvora u vremenu  $t$

$C(t)$  – emisija  $\text{CO}_2$  u vremenu  $t$

$C(t)$  – emisija  $\text{CO}_2$  u vremenu  $t$

Parametri:

$\alpha$  – stopa rasta potrošnje energije zbog ekonomskog razvoja

$\beta$  – faktor smanjenja potrošnje energije zbog korištenja obnovljivih izvora

$\gamma$  – faktor emisije  $\text{CO}_2$  po jedinici energije iz neobnovljivih izvora

Matematički model

Model se sastoji od sljedećeg sistema diferencijalnih jednačina:

$$\frac{dE(t)}{dt} = \alpha - \beta R(t) \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{dC(t)}{dt} = \gamma(E(t) - R(t)) \dots\dots\dots(2)$$

Prva jednačina (1) - potrošnja energije raste zbog ekonomskog razvoja, ali se smanjuje zbog korištenja obnovljivih izvora. Druga jednačina (2) - emisije zavisi o razlici između ukupne potrošnje energije i udjela obnovljivih izvora.<sup>5</sup>

Da bismo mogli dokazati primjenu modela na konkretnom primjeru smanjenja emisije  $\text{CO}_2$ , potrebno je da poznamo teoreme o egzistenciji jedinstvenosti rješenja postavljenih jednačina.

Prema Picard- Lindelof teoremi:

Ako su funkcije  $f(t, E, C) = \alpha - \beta R(t)$ ,  $g(t, E, C) = \gamma(E(t) - R(t))$  neprekidne i zadovoljavaju Lipschitov uvjet po  $E$  i  $C$ , tada sistem:

$$\frac{dE(t)}{dt} = \alpha - \beta R(t) \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{dC(t)}{dt} = \gamma(E(t) - R(t)) \dots\dots\dots(2)$$

ima jedinstveno rješenje na intervalu  $[t_0, t_0+h]$ .

Analitičko rješenje za konstantno  $R(t) = R_0$

$$\frac{dE(t)}{dt} = \alpha - \beta R(t) \text{ pa je rješenje : } E(t) = E_0 + (\alpha - \beta R_0)t.$$

Druga jednačina:

$$\frac{dC(t)}{dt} = \gamma(E(t) - R(0)) \text{ zamjenom } E(t) :$$

$$\frac{dC(t)}{dt} = \gamma(E_0 + (\alpha - \beta R_0)t - R_0) \dots\dots(3)$$

integriranjem dobijamo:

$$C(t) = C_0 + \gamma[(E_0 - R_0)t + \frac{(\alpha - \beta R_0)}{2} t^2] \dots\dots(4)$$

Sada pređimo na algoritam rješavanja spomenutog sistema računarskim putem numeričkim metodama uz pomoć vizualizacije u Matlabu:<sup>6</sup>

<sup>5</sup> Čajić Elvir, Stojanović Zvezdan, Galić Dario: Investigation of Delay and Reliability in Wireless Sensor Networks using the Gradient Descent Algorithm, u 31st Telecommunications Forum (TELFOR), Beograd, 2023, 1–4

<sup>6</sup> Tokić A. and J. Smajić, "Modeling and Simulations of Ferroresonance by Using BDF/NDF Numerical Methods", in IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 30, no. 1, pp. 342-350, Feb. 2015, doi: 10.1109/TPWRD.2014.2346766.

- Definirati parametre:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$
- Definirati početne uslove:  $E_0$ ,  $C_0$ ,  $R_0$
- Riješiti diferencijalnu jednačinu za  $E(t)$ :  $E(t) = E_0 + (\alpha - \beta \cdot R_0) \cdot t$
- Uvrstiti u drugu jednačinu i izračunati  $C(t)$ :
- $C(t) = C_0 + \gamma \cdot [(E_0 - R_0) \cdot t + ((\alpha - \beta \cdot R_0)/2) \cdot t^2]$

Ovaj model može se koristiti za planiranje strategija prelaska na obnovljive izvore energije, simulaciju efekata energetske politike i edukaciju u oblasti održivog razvoja.

## 2. Metodološki okvir

### 2.1. Pristup istraživanju i opća metodološka osnova

U ovom istraživanju primijenjen je kvantitativni pristup koji se temelji na razvoju prediktivnog matematičkog modela uz integraciju naprednih digitalnih alata i umjetne inteligencije. Osnovna svrha istraživanja jeste izgradnja funkcije za predviđanje emisije ugljendioksida ( $\text{CO}_2$ ) za period od 2025. do 2030. godine, koristeći podatke iz prethodnog petogodišnjeg perioda (2017–2021) koji su javno dostupni putem zvaničnih izvještaja Agencije za statistiku Bosne i Hercegovine.

Metodološki okvir istraživanja obuhvata dva međusobno povezana nivoa:

- deterministički nivo, koji koristi matematičko modeliranje putem sistema diferencijalnih jednačina za opis dinamike potrošnje energije i emisije  $\text{CO}_2$ ;
- stohastičko-prediktivni nivo, koji uključuje primjenu neuronskih mreža kao algoritamskog rješenja za aproksimaciju nelinearnih odnosa i simulaciju očekivanih vrijednosti emisija u narednim godinama.

Za numeričku obradu podataka i implementaciju algoritama korišten je programski paket MATLAB, koji pruža mogućnosti za rješavanje diferencijalnih jednačina, statističku obradu, te razvoj i treniranje neuronskih mreža (fitnet, train, mse). U okviru MATLAB okruženja razvijena je i vlastita funkcija koja povezuje izlaze determinističkog modela s adaptivnim slojem neuronske mreže za dodatnu optimizaciju predikcije.<sup>6</sup>

Korištenje kombinacije tradicionalnog modeliranja i umjetne inteligencije opravdano je složnošću procesa emisije  $\text{CO}_2$ , koji zavisi od više faktora – uključujući energetske tokove, industrijske obrasce i ekološke politike. Hibridni pristup omogućava ne samo kvantifikaciju dosadašnjih trendova, nego i simulaciju utjecaja različitih scenarija, čime se povećava tačnost i robusnost predviđanja. U okviru ovog istraživanja razvijena je i vlastita prediktivna funkcija koja povezuje izlaze determinističkog modela s adaptivnim slojem neuronske mreže radi dodatne optimizacije tačnosti predikcije. Ova funkcija može biti osnova za razvoj aplikacije ili programskog modula u MATLAB-u ili Pythonu koji bi omogućio vizualnu i interaktivnu simulaciju emisija  $\text{CO}_2$  u realnom vremenu s opcijom unosa alternativnih scenarija i testiranja utjecaja različitih politika (npr. povećanje udjela obnovljivih izvora, regulacija industrijskih emisija, i dr.). Takva aplikacija omogućila bi upoređivanje rezultata sopstvenog modela sa postojećim prediktivnim metodama i alatima, te bi služila kao korisnički orijentiran alat za analizu podataka i donošenje odluka.

### 2.2. Izvori i obrada podataka

Primarni izvor podataka u ovom istraživanju je publikacija Agencije za statistiku Bosne

---

<sup>6</sup> Dario Galić, Zvezdan Stojanović, Elvir Čajić: Application of Neural Networks and Machine Learning in Image Recognition, Tehnički vjesnik, Vol. 31, No. 1, Slavonski Brod, 2024, 316–323

i Hercegovine, pod nazivom: “Godišnji podaci o emisijama stakleničkih gasova u Bosni i Hercegovini, 2017–2021” (broj dokumenta: ENV\_25\_2021\_Y5\_1\_BS), dostupna u PDF formatu na službenoj web-stranici Agencije. Podaci korišteni u modeliranju:

| Godina | Emisija CO <sub>2</sub> (kt) |
|--------|------------------------------|
| 2017   | 20.528                       |
| 2018   | 20.104                       |
| 2019   | 19.615                       |
| 2020   | 17.438                       |
| 2021   | 18.927                       |

Tabela 1 - Emisija u kilotonama ugljendioksid, period 2017-2021

Iz ovog izvještaja izdvojene su vrijednosti godišnjih emisija ugljen-dioksida (CO<sub>2</sub>) u periodu od 2017. do 2021. godine. CO<sub>2</sub> je odabran kao ciljna varijabla zbog svoje dominantne uloge među stakleničkim gasovima (više od 80% ukupnih emisija) te zbog direktne povezanosti sa sektorima proizvodnje energije, industrije i saobraćaja.<sup>7</sup>

Podaci predstavljaju vremenski niz diskretnih godišnjih vrijednosti emisije CO<sub>2</sub> u hiljadama tona (kt). Uzimajući u obzir ograničen broj tačaka (5 godina), podaci se tretiraju kao niz sa malim uzorkom, ali dovoljan za demonstraciju i testiranje osnovnog prediktivnog modela. Dodatne varijable poput ukupne energetske potrošnje i udjela obnovljivih izvora su procijenjene putem vanjske literature i zvaničnih strategija energetske tranzicije BiH do 2030. godine.

Prije uključivanja u model, podaci su prošli kroz sljedeće faze obrade:

- Skaliranje podataka: Zbog različitih redova veličina ulaznih i izlaznih varijabli, podaci su skalirani standardnom normalizacijom (Z-score):  $Z = (X - \mu) / \sigma$  gdje je  $\mu$ - aritmetička sredina, a  $\sigma$ - standardna devijacija.

- Formiranje ulazno-izlaznih parova: Svaki uzorak je predstavljen kao par  $(t, C(t))$ , gdje je  $t$  godina, a  $C(t)$  pripadajuća vrijednost emisije CO<sub>2</sub>.

- Dodavanje simuliranih varijabli: Varijable  $E(t)$  (potrošnja energije) i  $R(t)$  (udio obnovljivih izvora) nisu direktno dostupne u istom Izvještaju, ali su aproksimirane na osnovu Izvještaja o energiji iz Ministarstva vanjske trgovine i ekonomskih odnosa BiH i procjena energetske tranzicije (npr. projekcije da do 2030. obnovljivi izvori čine 40% ukupne potrošnje).

- Strukturiranje ulaza za neuronsku mrežu: Kao ulazi u neuronsku mrežu uzeti su:

- godina  $t$ ,
- aproksimirana ukupna energija  $E(t)$ ,
- udio obnovljivih izvora  $R(t)$

Ciljna vrijednost (output) je emisija CO<sub>2</sub>, tj.  $C(t)$ .

Model ne koristi period 2022–2024 zbog nedostatka ažuriranih i verifikovanih podataka za te godine, kao i zbog postpandemijskih oscilacija koje mogu utjecati na konzistentnost trenda. Umjesto toga, fokus je stavljen na simulaciju za period 2025–2030, koji se poklapa s vremenskim horizontom većine klimatskih politika i međunarodnih obaveza koje je Bosna i Hercegovina preuzela (npr. Pariški sporazum, Zeleni plan za Zapadni Balkan).<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Zavod za statistiku BiH: Emisije stakleničkih plinova u Bosni i Hercegovini 2017–2021, Sarajevo, 2023.

<sup>8</sup> Zavod, Sarajevo, 2023.

### 2.3. Razvoj matematičke funkcije zasnovane na polaznom modelu

Osnovu matematičkog modela ovog istraživanja čini sistem diferencijalnih jednačina kojim se opisuje dinamika odnosa između potrošnje energije, udjela obnovljivih izvora i emisije CO<sub>2</sub>. Ovaj model je posebno oblikovan kako bi omogućio uključivanje realnih podataka i naprednih metoda predikcije kroz integraciju s neuronskim mrežama. Polazni model je dat sa:

$$\frac{dE(t)}{dt} = \alpha - \beta R(t) \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{dC(t)}{dt} = \gamma(E(t) - R(t))\dots\dots\dots(2)$$

gdje su :

- E(t) – ukupna potrošnja energije u vremenu ttt
- R(t) – udio obnovljivih izvora energije u vremenu ttt
- C(t) – emisija CO<sub>2</sub> u vremenu ttt
- $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  – parametri modela (interpretabilni u kontekstu rasta potrošnje, utjecaja obnovljivih izvora i emisijskog intenziteta)

Model ima analitičko rješenje u slučaju kada je R(t) konstantno, ali kako je u stvarnosti R(t) funkcija vremena, koristi se numeričko rješenje što otvara prostor za primjenu aproksimativnih metoda – uključujući neuronske mreže. Inovativnost pristupa omogućava, za razliku od postojećih modela koji se često oslanjaju na linearne ili strogo empirijske metode (npr. regresije, ARIMA modeli), uvođenje koncepta “učee diferencijalne funkcije” – funkcije čija je osnovna forma deterministički diferencijalna jednačina, ali koja je optimizirana i prilagođena kroz neuronsku mrežu. Time se postiže:

- Zadržavanje interpretabilnosti modela (matematička osnova ostaje čitljiva),
- Učenje iz kompleksnih i ograničenih podataka (mali dataset, nelinearnost),
- Generisanje tačnih i fleksibilnih predikcija s mogućnošću podešavanja modela za lokalne/regionalne uslove.

Prediktivna funkcija našeg modela se može opisati sa:

$C(t) = C_{det}(t) + N(t, E(t), R(t); \theta)$ , gdje je:

- C<sub>det</sub>(t) – deterministička komponenta modela (rješenje iz diferencijalnih jednačina),
- N(·) – korektivni signal neuronske mreže koja kompenzira odstupanja i uči preostalu strukturu greške.<sup>9</sup>

Model se validira upotrebom metode kros-validacije zbog male veličine skupa podataka. Preciznost predikcije se evaluira pomoću:

- MSE (Mean Squared Error),
- MAE (Mean Absolute Error),
- R<sup>2</sup> koeficijenta determinacije.

Odaabrani model se zatim koristi za simulaciju u budućim godinama (2025–2030), uz generisanje alternativnih scenarija kroz interfejs aplikacije. U okviru kombinovanog modela emisije CO<sub>2</sub> neophodno je odrediti vrijednosti parametara koji imaju ključnu ulogu u simulaciji i predikciji:

- $\alpha$  – stopa rasta potrošnje energije (ekonomski razvoj),
- $\beta$  – utjecaj obnovljivih izvora na smanjenje potrošnje,
- $\gamma$  – količina emisije CO<sub>2</sub> po jedinici energije iz fosilnih izvora.

Za određivanje ovih parametara koristi se kombinacija:

- analize trenda (linearna regresija nad serijama E(t), R(t), C(t),

<sup>9</sup> MathWorks Inc.: Simulink and MATLAB for System Modeling and Simulation, Natick, 2022.

- metode najmanjih kvadrata,
- uklapanja u postojeći sistem jednačina kroz rješavanje optimizacijskog problema:

$$\min_{\alpha, \beta, \gamma} \sum_{t=2017}^{2021} [C_{real}(t) - C_{model}(t)]^2 \text{ gdje } C_{model}(t)$$

za odeđivanje vrijednosti parametara. Trening neuronske mreže se bazira za korekciju i poboljšanje predikcije i koristi se jednostavna višeslojna perceptronska mreža (MLP), implementirana u MATLAB-u pomoću fitnet funkcije. Koraci uključuju:

- Ulazi mreže: godina ttt, procijenjeni  $E(t)E(t)E(t)$ , procijenjeni  $R(t)R(t)R(t)$
- Izlaz mreže: stvarna emisija  $CO_2$  iz podataka
- Algoritam treniranja: trainlm (Levenberg-Marquardt)

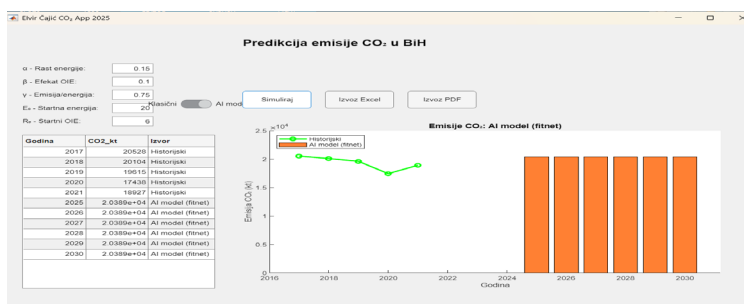
## 2.4.Primjena neuronskih mreža i matematičkog modeliranja u predikciji emisije $CO_2$ : Razvoj MATLAB aplikacije

U sklopu ovog istraživanja razvijena je interaktivna aplikacija u MATLAB okruženju pod nazivom "Predikcija emisije  $CO_2$  – Elvir Čajić Dizajn 2025" koja omogućava simulaciju emisije ugljendioksida za period 2025–2030. Aplikacija je rezultat integracije klasičnih matematičkih modela i neuronskih mreža, te omogućava korisniku fleksibilan unos početnih parametara, izbor modela predikcije (klasični ili AI model), kao i vizualizaciju i izvoz rezultata. Ova alatka ima potencijalnu primjenu u obrazovanju, naučnim istraživanjima i strateškom planiranju u domenu zaštite okoliša. U nastavku se daje uputstvo za korištenje aplikacije:

Naziv aplikacije: Predikcija emisije  $CO_2$  – Elvir Čajić Dizajn 2025

Platforma: MATLAB (verzija R2021b ili novija)

1. Otvoriti MATLAB i postaviti direktorij na lokaciju fajla 'elvirmfajl\_super\_app.m',
2. Pokrenuti aplikaciju komandnom linijom: elvirmfajl\_super\_app,
3. Unijeti parametre modela ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $E_0$ ,  $R_0$ ),
4. Odabrati model predikcije: Klasični ili AI (neuronska mreža),
5. Kliknuti dugme 'Simuliraj' za prikaz rezultata,
6. Dugmad 'Izvoz u Excel' i 'Izvoz PDF' omogućuju generisanje rezultata za Desktop.



Slika 1 - Korisnički interfejs Aplikacije i Gui sučelje

### Metodološki opis aplikacije

Razvijena aplikacija implementira hibridni prediktivni sistem koji objedinjuje deterministički matematički model temeljen na diferencijalnim jednačinama i neuronsku mrežu tipa fitnet, čime omogućava dvoslojnu validaciju rezultata i mogućnost poređenja modela iz domena klasične i vještačke inteligencije. Ovakav pristup je naročito važan u kontekstu ekološkog modeliranja, gdje neizvjesnosti u podacima i nelinearnosti

procesa mogu značajno utjecati na preciznost predikcija. Matematički model koristi dvije osnovne diferencijalne funkcije koje modeliraju ukupnu potrošnju energije  $E(t)$  i količinu emitovanog  $\text{CO}_2$   $C(t)$ . Funkcije su definisane na sljedeći način:

$$E(t) = E_0 + (\alpha - \beta \cdot R(t)) \cdot t$$

$C(t) = \gamma \cdot (E(t) - R(t))$ , gdje su:  $\alpha$  – stopa rasta potrošnje energije,  $\beta$  – korekcionni faktor utjecaja obnovljivih izvora,  $\gamma$  – faktor emisije  $\text{CO}_2$  po jedinici energije,  $R(t)$  – udio obnovljivih izvora,

$E_0$ ,  $R_0$  – početne vrijednosti za potrošnju energije i udio OIE.

Model omogućava korisniku da analizira utjecaj promjena u energetske politikama na emisije  $\text{CO}_2$  u budućem periodu kroz direktnu manipulaciju ulaznim parametrima. Aplikacija uključuje neuronsku mrežu (fitnet) sa jednim skrivenim slojem i 10 neurona, treniranu nad historijskim podacima (2017–2021) preuzetim iz Agencije za statistiku BiH. Mreža koristi Levenberg–Marquardt algoritam i omogućava predikciju emisije  $\text{CO}_2$  za period 2025–2030.

AI model omogućava otkrivanje nelinearnih obrazaca u podacima bez potrebe za eksplicitnim modeliranjem fizičkih odnosa, što predstavlja prednost u ekološkom predviđanju. Aplikacija omogućava korisniku da izabere između determinističkog i AI modela, unese sopstvene vrijednosti za parametre  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $E_0$  i  $R_0$ , te da pokrene simulaciju. Rezultati se prikazuju kroz interaktivni graf sa prikazom historijskih i prediktivnih podataka, tabelu sa numeričkim vrijednostima emisije  $\text{CO}_2$ , opcije za izvoz u PDF i Excel formatu.

Ovaj pristup omogućava validaciju rezultata, poređenje modela i realnu primjenu u analizi održivosti i donošenju ekoloških odluka.<sup>10</sup>

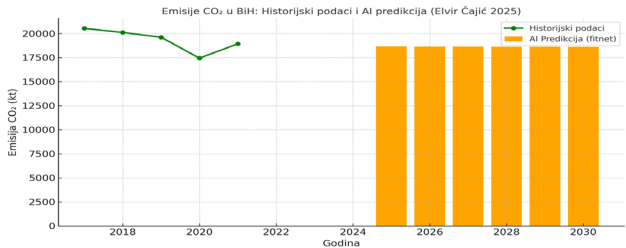


Tabela ispod prikazuje emisiju  $\text{CO}_2$  u kilotonama (kt) za period 2017–2021 (historijski podaci) i 2025–2030 (predikcija AI modela):

| Godina | Emisija CO <sub>2</sub> (kt) | Izvor       |
|--------|------------------------------|-------------|
| 2017.  | 20528                        | Historijski |
| 2018.  | 20104                        | Historijski |
| 2019.  | 19615                        | Historijski |
| 2020.  | 17438                        | Historijski |
| 2021.  | 18927                        | Historijski |
| 2025.  | 18654.23                     | AI model    |
| 2026.  | 18644.99                     | AI model    |
| 2027.  | 18635.74                     | AI model    |
| 2028.  | 18626.49                     | AI model    |
| 2029.  | 18617.25                     | AI model    |
| 2030.  | 18608.0                      | AI model    |

<sup>9</sup> L. Banjanović-Mehmedović: Soft-gating Data Association and Multiple Model Estimation in Mobile Robot Localization, Journal of Faculty of Electrical Engineering Sarajevo, Vol. 1, No.1, Sarajevo, 2009, 31–39

Tabela i graf prikazuju uporedne podatke o emisiji CO<sub>2</sub> u Bosni i Hercegovini za period 2017–2021 (historijski podaci) i 2025–2030 (predikcija neuronskim modelom). Historijski podaci ukazuju na blagi pad emisije u periodu od 2017. do 2020. godine s blagim porastom u 2021. godini, vjerovatno kao rezultat postpandemijskog ekonomskog oporavka.

Predikcija neuronskom mrežom pokazuje relativno stabilan trend u periodu od 2025. do 2030. godine, s blagim ali postojanim smanjenjem emisije CO<sub>2</sub>. Ovakav obrazac sugerise da, uz pretpostavku održavanja trenutnih trendova u energetskej potrošnji i upotrebi obnovljivih izvora, nije vjerovatno da će doći do naglih promjena u količini emisije.<sup>11</sup>

### 3. Rezultati i diskusija

Historijski podaci o emisiji CO<sub>2</sub> u Bosni i Hercegovini u periodu 2017–2021. pokazuju postepeno smanjenje emisije, s izuzetkom blagog porasta u 2021. godini. Najniža emisija zabilježena je 2020. godine, što se može dovesti u vezu s globalnim pandemijskim usporavanjem industrijskih aktivnosti. Predikcija bazirana na neuronskoj mreži (fitnet) za period 2025–2030. pokazuje stabilan, gotovo linearan pad emisije CO<sub>2</sub>, s vrijednostima koje se kreću između 18.654 kt i 18.608 kt. Ovakva dinamika sugerise da bez značajnih promjena u energetskej politici, tehnološkim inovacijama ili uvođenju strožijih regulacija, nije realno očekivati drastično smanjenje emisija. Klasični matematički model pokazuje sličan trend, čime se potvrđuje dosljednost rezultata dobijenih različitim pristupima.

Važno je napomenuti da neuronski modeli imaju dodatnu prednost u prepoznavanju složenih nelinearnih obrazaca koji nisu eksplicitno definisani u determinističkom okviru, što čini ovaj pristup pogodnim za kompleksne ekološke sisteme.

### 4. Zaključak

Razvijena aplikacija predstavlja funkcionalan alat za simulaciju emisije CO<sub>2</sub> koji objedinjuje preciznost klasičnih modela i fleksibilnost neuronskih mreža. Prednosti hibridnog pristupa ogledaju se u mogućnosti vizualne validacije i usporedbe rezultata između tradicionalnog i AI pristupa, što korisnicima daje širu perspektivu pri analizi podataka. Očekivani rezultati ukazuju na potrebu za proaktivnijim mjerama u domenu energetske efikasnosti i jačanja udjela obnovljivih izvora, kako bi se ostvarili ambiciozniji ciljevi smanjenja emisije CO<sub>2</sub>. Aplikacija je posebno korisna u obrazovnom i istraživačkom kontekstu, kao i za strateško planiranje u oblasti zelene ekonomije i održivog razvoja.

---

<sup>10</sup> Schwab Klaus: The Fourth Industrial Revolution, Geneva, 2016.



# APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELING AND DIGITAL TOOLS IN THE SIMULATION OF THE GREEN ECONOMY

**Summary:** The paper discusses the possibilities of applying mathematical modeling and digital tools in order to simulate the green economy process. Through work in MATLAB, sustainable scenarios were simulated in real time, with special emphasis on efficient use of resources and reduction of harmful gas emissions.

**Keywords:** green economy, digitization, mathematical modeling, MATLAB, simulation, sustainable development, smart technologies, real time, energy efficiency, resource management

## Literatura

1. Anthony Carroll: Faith, reason and modernity, THE TABLET, <http://www.thetablet.co.uk> (12.02.2009.)
2. Božidar Matić: Projektovanje sistema automatske regulacije i upravljanja tehnoloških procesa, Sarajevo 1989, 45–47
3. Čajić Elvir, Stojanović Zvezdan, Galić Dario: Investigation of Delay and Reliability in Wireless Sensor Networks using the Gradient Descent Algorithm, u 31st Telecommunications Forum (TELFOR), Beograd 2023, 1–4
4. Dario Galić, Zvezdan Stojanović, Elvir Čajić: Application of Neural Networks and Machine Learning in Image Recognition, Tehnički vjesnik, Vol. 31, No. 1, Slavonski Brod 2024., 316–323
5. Geissdoerfer M., Savaget P., Bocken N. M., Hultink E. J.: The Circular Economy – A new sustainability paradigm?, Journal of Cleaner Production, Vol. 143, Amsterdam 2017., 757–768
6. L. Banjanović-Mehmedović: Soft-gating Data Association and Multiple Model Estimation in Mobile Robot Localization, Journal of Faculty of Electrical Engineering Sarajevo, Vol. 1, No.1, Sarajevo 2009., 31–39
7. MathWorks Inc.: Simulink and MATLAB for System Modeling and Simulation, Natick 2022
8. Schwab Klaus: The Fourth Industrial Revolution, Geneva 2016
9. Tokić A. and J. Smajić, "Modeling and Simulations of Ferroresonance by Using BDF/NDF Numerical Methods," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 30, no. 1, pp. 342-350, Feb. 2015, doi: 10.1109/TPWRD.2014.2346766.
10. UNEP: Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication, Nairobi 2011
11. Zavod za statistiku BiH: Emisije stakleničkih plinova u Bosni i Hercegovini 2017– 2021, Sarajevo 2023

# ODRŽIVA MODA I DIGITALIZACIJA U BOSNI I HERCEGOVINI

mag. oec. Olga Kapetina

Odsjek za lokalni ekonomski razvoj i evropske integracije, Bijeljina

**Sažetak:** Ovaj rad predstavlja prezentovanje iskustva malog biznisa iz Bijeljine koji pokušava da kroz digitalizaciju pomjeri granice, a kroz zelenu ekonomiju da mijenja svijest i navike ljudi. Autorka rada je suosnivačica biznisa “Soul business concept” koji je osnovan i vođen idejom iznajmljivanja haljina kružnim procesom: pogledaj, probaj, iznajmi, obuci, vrati i ponovi proces. Na ovaj način biznis promoviše zelenu ekonomiju. Digitalni akcenat dobija pokretanjem platforme.

**Ključne riječi:** digitalizacija, zelena ekonomija, modna industrija, održivost, cirkularna ekonomija

## Početak umjesto uvoda

Sve počinje Rješenjem o registraciji biznisa, to je rodni list vašeg sp-a. JIB je matični broj.

Nemate vremena da učite prve korake, jer imate namete, račune, fiskalizaciju, poreze i doprinose, ali je bitno da legalno poslužete, jer tada možemo da pričamo o ekonomiji i preduzetništvu. Ideja “Soul business concept” je nastala sinergijom različitih interesovanja osnivačica. Tri prijateljice su odlučile da izađu iz “zone komfora” i ponude nešto novo i drugačije. Biznis je kreiran iz ljubavi prema modi, zelenoj ekonomiji i preduzetničkom duhu. Vode se idejom da je ljubav prema onome što radite najbitnija i onda ništa nije teško. Biznis će biti uspješan ako rješava neki problem s kojim se potencijalni kupci susreću. Važno je usmjeriti energiju ka rastu i razvoju biznisa i usuditi se.. Živimo u digitalnom svijetu i jedna haljina se ne može obući više puta zbog nekog obrasca ponašanja 21. vijeka – jer je već viđena – objavljena. Kako vlasnice biznisa, tako i druge djevojke se susreću s istim problemom, pa su odlučile da ne troše novac na nešto što se ne može iskoristiti ponovo, nego svima ponuditi rješenje problema. Odlučile su da je vrijeme za promjenu i da od šopingholičarki postanu preduzetnice.

Žensko preduzetništvo je neophodno za dugoročni ekonomski rast u današnjem svijetu, kada žene više nisu tradicionalan resurs ograničen na sferu domaćinstva i porodice. Mnoga istraživanja su pokazala da se preduzetnice fokusiraju na stvaranje zajedničkog radnog okruženja, dijele informacije i snagu, posjeduju demokratski menadžerski pristup i vole timski rad. Pozitivna mišljenja i stavovi prema preduzetništvu su povezani s povoljnim statusom preduzetnica i medijskom pažnjom koja im se poklanja. Sve veći broj projekata usmjerenih na razvoj ženskog preduzetništva je doprinio osnaživanju žena u odluci da postanu preduzetnice<sup>1</sup> Da bi imao najpametnije ljude, nemoj prestati da učiš.<sup>2</sup>

## Istraživanje tržišta – “puls javnosti”

Fokus grupa

Metoda istraživanja: Metod koji se koristi u istraživanju je fokus-grupa.

Učesnice fokus grupe su žene od 25 do 37 godina, ukupno 16 ispitanica.

<sup>1</sup> Nenad Lalić, Olga Tmušić, Sonja Pajkić: Faktori uspjehnosti žena u preduzetništvu, EkonBIZ, Bijeljina, 2017, 66.

<sup>2</sup> Daniel Andriessen, René Tissen, Frank Lekanne Deprez: Dividenda znanja, Vulkan, Beograd, 2006, 160

Zajedničke karakteristike: sve žene su zaposlene i žive u Bijeljini, čime ova grupa spada u homogeniju grupu.

Ulogu moderatorke obavlja predstavnica "Soul business concept" i ima plan i program diskusije s ciljem da uključi sve žene u diskusiju i dobije povratne informacije.

Lokacija: Galerija Centra za kulturu Bijeljina.

Ispitanice su dobile simbolične poklone: mali blok i olovku.

Cilj istraživanja je da se stekne dublji uvid u potrošačke navike učesnica fokus-grupe, naročito kada su u pitanju haljine, kao i da li bi koristile e-platformu za iznajmljivanje haljina.

Online anketa: Jesmo li zelene i digitalizovane u modi?

Anketni upitnik je kreiran s ciljem kako bi se vidjeli stavovi o zelenoj ekonomiji i digitalizaciji u modnoj industriji. Zelena ekonomija je ekonomski model koji se zalaže za održivi i profitabilni razvoj, tražeći situacije koje donose ekonomske, socijalne i ekološke koristi. Anketa je anonimna i koristit će se u svrhu unapređenja poslovanja.

Uzorak: 100 ispitanika.

Metoda: online anketnih upitnik.

Rezultati istraživanja pokazuju je najveći problem tokom pronalaska svečanih haljina za posebne prilike nedostatak vremena i želje za šopingom. Pored toga, problem je i loša ponuda i neravnomjeran odnos cijene i kvaliteta. S obzirom da na definisanom lokalitetu (konkretno Bijeljina) ne postoji široka ponuda svečanih dizajnerskih haljina, žene se suočavaju s brojnim izazovima:

- kupuju online haljine za koje se nadaju da će im odgovarati,
- kupuju haljine koje su lošeg kvaliteta, neprepoznatljivog brenda,
- plaćaju visoku cijenu za neodgovarajući kvalitet,
- troše novac i vrijeme prilikom odlaska u veće gradove gdje je ponuda dostupnija,
- ulažu mnogo truda, energije i novca za odjevni predmet koji će obući samo jednom, eventualno dva puta.

Tim "Soul business concept" je prepoznao priliku za platformom za izdavanje i prodaju, jer se veliki broj ispitanica, u nedostatku vremena za fizičkom kupovinom, služi online platformama za kupovinu haljina, iako je prisutan strah da haljina neće biti odgovarajuća, jer je nedovoljna ponuda na tržištu da se potreba zadovolji. Pored spomenutih problema s kojim se potencijalne klijentkinje suočavaju, one ističu i da pretpavanje njihovih ormara odjevnim komadima koji okupiraju njihov privatni prostor izaziva nezadovoljstvo. Pogotovo kad su suočene sa činjenicom koliko novca je potrošeno na odjevne predmete koji su nošeni jednom ili dva puta. Prilikom predlaganja ideje o mogućnosti razmjene odjevnih predmeta (svečanih haljina) na platformi i dobijanja finansijske dobiti za iste usluge, ispitanice su dale pozitivan odgovor. Rezultat kvalitativne analize pokazuje da su ispitanice spremne da se registruju na platformi, oglašavaju svoje haljine i razmjenjuju ih između sebe, kao i iskustva i ideje uz određenu proviziju. Istraživanje u velikom procentu pokazuje zainteresovanosti žena da iznajmljuju ne samo tuđe nego i svoje haljine za posebne prilike imajući transparentne informacije o proizvodu. Prilikom istraživanja učesnicama je objašnjen koncept cirkularne ekonomije i smanjivanju uticaja prekomjerne kupovine i "fast fashion" na planetu. S tim u vezi ispitanice su dale pozitivan stav prema spomenutoj tematici i žele da budu dio cirkularne ekonomije.

Platforma će zadovoljiti potrebu klijentkinja, ali i pružiti im mnogo više:

- iz udobnosti svog doma moći će pregledati ponudu sa svim dostupnim informacijama o svečanim haljinama i izabrati onu koja im se najviše dopada,

- poručiti haljinu da im stigne na adresu,
- platiti u trenutku kada odluče da im haljina odgovara,
- uštediti novac, energiju i vrijeme,
- osloboditi prostor u ormaru i životnom prostoru,
- promovisati cirkularnu ekonomiju, čuvati okolinu i okruženje,
- biti dio globalne zajednice, dijeliti svoja iskustva,
- zarađivati,
- nositi dizajnerske haljine po izuzetno niskoj cijeni.

## Transformacija ka održivim modelima poslovanja

Misija je da se omogući ženama da se osjećaju najbolje na posebnim događajima. Započeli su revoluciju iznajmljivanja i trude se da mijenjaju modnu industriju i navike. Vizija je da smanje negativan uticaj fast fashiona na planetu, te je fokus na održivosti. Ideja “Soul business concept” je da se mijenja način razmišljanja, te da se žene oblače pionirskim “Ormar u oblaku”: ormar iz snova ispunjen beskonačnim izborom dizajnerskih stilova za iznajmljivanje, nošenje i vraćanje. Svaki trend, svaka boja, svaki print, veličina – dostupno je svima po nižim cijenama. Ovaj koncept doprinosi održivijoj budućnosti mode. “Soul business concept” - zajednica koja dijeli više od odjeće. “Soul business concept” nije samo ormar, nego zajednica - ona koja mijenja sve, od odjeće do inspiracije i ideja. Kroz rad biznisa promoviše se održivo poslovanje, inovativne tehnologije pakovanja i poslovanje u skladu s ciljevima održivog razvoja. Bitno je postaviti dobre temelje kako bi se biznis, ali i sama ideja razvijali. U kontekstu transformacije modne industrije ka održivim modelima poslovanja, platforma rentastyle.ba predstavlja pionirski primjer cirkularne ekonomije i digitalizacije u službi održivosti. Putem platforme, biznis je redefinirao način na koji se moda konzumira, omogućavajući korisnicima da iznajmljuju dizajnersku odjeću umjesto da je kupuju, čime se značajno utiče na ekološki otisak modne potrošnje. Što znači da se promoviše princip produženog životnog vijeka proizvoda, što je osnovni stub cirkularne ekonomije. Iznajmljivanjem odjeće, umjesto tradicionalnog modela “kupi – nosi – baci”, produžava se upotrebljivost svakog komada, smanjujući potrebu za stalnom proizvodnjom nove odjeće. Na ovaj način direktno se utiče na smanjenje količine tekstilnog otpada koji svake godine završava na deponijama. Svaki iznajmljeni komad koji se nosi više puta zamjenjuje potrebu za proizvodnjom novih, što značajno smanjuje emisije CO<sub>2</sub> i upotrebu prirodnih resursa. Plan je da se koriste digitalni alati za optimizaciju logistike i upravljanje zalihama, oslanjajući se na algoritme koji prate potražnju i ponašanje korisnika i na taj način smanje viškovi i neefikasni transportni tokovi. Ti podaci bi se dalje koristili za efikasnije planiranje cirkulacije garderobe i minimizaciju uticaja na životnu sredinu. “Soul business concept” promoviše promjenu potrošačkog mentaliteta, gdje se vrijednost ne ogleda u vlasništvu/konzumerizmu, već u funkcionalnosti i iskustvu korištenja. Ovaj pomak je ključan u prelasku s linearne na zelenu, održivu ekonomiju, jer smanjuje imperativ posjedovanja i podstiče odgovornu potrošnju. Naravno, urađeni su mali koraci, ali je neophodno edukovati nove generacije. U ovoj oblasti postoji niz mogućnosti - kreiranje inovativnih proizvoda, reciklaža odjeće, promocija zelene ekonomije u osnovnim i srednjim školama, i slično.

## Digitalizacija poslovanja

Istraživanja pokazuju da su preduzetnice visoko obrazovane i više koriste savremenu tehnologiju od svojih muških kolega i predstavljaju ekonomsku silu na koju treba računati za održivi ekonomski oporavak.<sup>3</sup> “Soul business concept” je pokrenuo digitalnu platformu i tako svoje poslovanje digitalizovao – rentastyle.ba. Rent a style je online platforma za iznajmljivanje/kupovinu/prodaju (dizajnerske) odjeće i modnih dodataka. Njena osnovna ideja je da korisnici mogu da iznajme skupu, brendiranu odjeću za određeni vremenski period, umjesto da je kupuju, s tim što registrovani korisnici mogu da kupuju i prodaju svoju odjeću, ali i uz opciju iznajmljivanja. Korisnici biraju odjeću prema kategorijama, dizajnerima, veličini i prilikama (npr. svečane ili koktel haljine). Tu su i korisničke recenzije, slike i preporuke za veličine koje pomažu pri izboru. Kroz platformu se promoviše cirkularna moda – produžava se životni vijek odjeće, smanjuje potrebu za masovnom proizvodnjom i doprinosi održivosti.

Platforma funkcioniše po principu:

- ISTRAŽI

Detaljno pregledaj ponudu i vidi koja ti haljina najbolje stoji,

- REZERVISI HALJINU

Ako si iz Bijeljine, možeš i da probaš.

- PREUZMI SVOJU HALJINU

Ako si iz Bijeljine, dogovaramo se oko ličnog preuzimanja. U ostale gradove šaljemo brzom poštom.

- IZDOMINIRAJ U HALJINI

Budi posebna i primijećena.

- VRATI HALJINU

Nošenu haljinu ubaci u ambalažu u kojoj je stigla i vrati nam nazad i ponovi proces.

## Zaključak

Dok u svijetu vještačka inteligencija “preuzima” poslove i marginalizuje ljudski rad, u Bosni i Hercegovini se koristi za jednostavne poslove ili u svrhu zabave. Još uvijek procesi nisu u potpunosti digitalizovani, kao da se samo zagrebalo po površini. Uz digitalizaciju se dodaju novi termini poput održivog poslovanja i zelene ekonomije. Iako smo ih prihvatili u svakodnevnoj komunikaciji, nastaje sumnja da li ljudi razumiju značenje ovih pojmova. Kako bismo mijenjali navike i osvijestili rutine i svakodnevnicu, neophodno je opipati “puls javnosti” i tad se radi istraživanje kako bi se odgovorilo na sva pitanja koja “vise u vazduhu”. Da li smo digitalizovani, održivi i spremni da živimo po principima zelene ekonomije?! Kako bi sve imalo snažniji impuls i kako ne bi sve bilo samo u formi napisanog rada, kroz samu studiju slučaja ćemo preći različita pitanja i odgovore, ogoliti se na tržištu i prekinuti linijsko poslovanje i opredijeliti se za cirkularno. Tržište je živ organizam, stalno se nešto dešava i potrebno je pratiti trendove, potražnju, ali i započeti revoluciju. Da bi se analiziralo tržište, potrebno je da ste dio njega i potrebno je raditi analize iz različitih perspektiva: klijenta s jedne i preduzetnika s druge strane. Tad se jasno slažu puzzle i dobija se cjelina. Autorka rada je suosnivačica malog biznisa “Soul business concept” koji predstavlja sinergiju mode, zelene ekonomije i digitalizacije. Kroz prizmu ovog biznisa će se prikazati napori i izazovi

---

<sup>3</sup> Natalie Sisson, Women for Entrepreneurs to Follow on Twitter, Forbes, Jersey, 2010.

savremenog poslovanja i pomjeranje granica. Da li je stanovništvo Bosne i Hercegovine naklonjeno tradicionalnom poslovanju ili vole da su u zoni komfora ili je neophodno edukovati ljude? Odgovori na ova pitanja su smjernice za buduće korake.

## **SUSTAINABLE FASHION AND DIGITIZATION IN BOSNIA AND HERZEGOVINA**

**Summary:** While artificial intelligence is increasingly taking over jobs and marginalizing human labor on a global scale, in Bosnia and Herzegovina it is still predominantly used for basic tasks or entertainment purposes. The processes of digitalization remain incomplete, as if only the surface has been scratched. With digitalization come new terms such as sustainable business and green economy — concepts that, although now present in everyday communication, raise questions about whether their true meanings are genuinely understood. In order to change habits and raise awareness of our daily routines, it is essential to take the "pulse of the public." This is where research comes in — to provide answers to all the questions that seem to linger in the air. Are we truly digitalized, sustainable, and ready to live according to the principles of the green economy? To give these issues a more tangible dimension — beyond theoretical discussion — a case study approach is applied to explore various questions and answers, expose our position in the market, move away from linear business models, and shift toward circular ones. The market is a living organism, constantly evolving, and it requires not only keeping pace with trends and demand but also initiating a revolution. In order to conduct meaningful market analysis, one must be an active part of it — examining it from multiple perspectives: that of the client on one side and the entrepreneur on the other. Only then can the puzzle pieces fall into place and reveal the full picture. The author of this paper is a co-founder of the small business Soul Business Concept, which embodies the synergy of fashion, the green economy, and digitalization. Through the lens of this business, the paper will illustrate the challenges and efforts of modern entrepreneurship and the shifting of boundaries. Are the people of Bosnia and Herzegovina inclined toward traditional business models, do they prefer to remain within their comfort zones, or is there a pressing need to educate and inform the public? The answers to these questions serve as guidelines for future actions.

**Keywords:** digitalization, green economy, fashion industry, sustainability, circular economy

### **Literatura**

1. Daniel Andriessen, René Tissen, Frank Lekan Deprez: *Dividenda znanja*, Vulkan, Beograd, 2006., 160
2. Natalie Sisson, *Women for Entrepreneurs to Follow on Twitter*, Forbes, Jersey, 2010.
3. Nenad Lalić, Olga Tmušić, Sonja Pajkić: *Faktori uspešnosti žena u preduzetništvu*, EkonBIZ, Bijeljina, 2017., 66
4. Patrizia Gazzola, Enrica Pavione, Roberta Pezzetti, Daniele Grechi: *Trends in the Fashion Industry. The Perception of Sustainability and Circular Economy*



# **BIOMATERIJALI I BIOUREĐAJI KAO POKRETAČI NAPRETKA U ROBOTICI: RAZVOJ INTELIGENTNIH, FLEKSIBILNIH I EKOLOŠKI ODRŽIVIH ROBOTSKIH SISTEMA**

**acc. prof. dr. Isak Karabegović**

Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine, Sarajevo

**dr. sc. Ermin Husak**

Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Bihać, Bihać

**prof. dr. Lejla Banjanović-Mehmedović**

Univerzitet u Tuzli, Fakultet elektrotehnike Tuzla, Bosna i Hercegovina

**Sažetak:** U posljednjih deset godina razvoj robotike sve više se oslanja na biomaterijale i biouređaje kako bi stvorio inteligentne, fleksibilne i ekološki održive robotske sisteme. Tradicionalni roboti, koji su uglavnom izrađeni od metala i plastike, suočavaju se s ograničenjima u pogledu adaptabilnosti, energetske efikasnosti i interakcije s okolinom. Uvođenje biomaterijala, poput biorazgradivih polimera, hidrogela i bioinspirisanih kompozita, omogućava konstrukciju robota koji su mekši, lakši i prilagodljiviji različitim okruženjima. Biouređaji, uključujući bioelektronske senzore, aktuatorske sisteme zasnovane na biološkim principima i neuralne interfase, igraju ključnu ulogu u poboljšanju funkcionalnosti robota. Ovi uređaji omogućavaju robotima da percipiraju i reaguju na promjene u okolini, što im daje veću autonomiju i interaktivnost. Integracija bioloških komponenti u robotske sisteme ne samo da poboljšava njihovu efikasnost već i smanjuje ekološki otisak, jer biomaterijali često nude mogućnost razgradnje i reciklaže. Biomimetički pristupi inspirisani organizmima iz prirode otvaraju nove mogućnosti za stvaranje robota sa sposobnošću samoizlječenja, regeneracije i adaptacije na ekstremne uslove. Primjena ovih inovacija već se istražuje u medicinskoj robotici, mekim robotima, industrijskoj automatizaciji i istraživanju svemira. U radu istražujemo potencijal biomaterijala i biouređaja u robotici, analizirajući najnovija dostignuća, prednosti i izazove u njihovoj primjeni. Kroz analizu inovativnih rješenja, rad ističe kako ove tehnologije mogu transformisati budućnost robotike i omogućiti razvoj održivih, inteligentnih i prilagodljivih robotskih sistema.

**Ključne riječi:** biomaterijali, biouređaji, inteligentni roboti, ekološka održivost, fleksibilni robotski sistemi

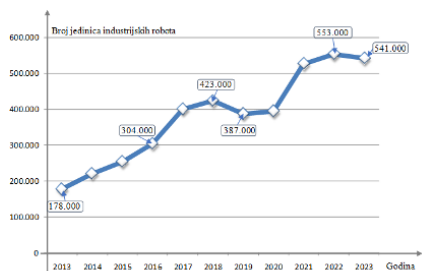
## **1. Uvod**

Industrija 4.0 donijela je revoluciju u proizvodne procese kroz digitalizaciju, pametne sisteme i automatizaciju, omogućavajući efikasniju, prilagodljiviju i održiviju proizvodnju. Ključni element ovog tehnološkog napretka su industrijski i servisni roboti čija integracija s vještačkom inteligencijom (AI), Internetom stvari (IoT) i naprednim materijalima oblikuje budućnost rada i interakcije između ljudi i mašina [1-3]. U tom kontekstu biomaterijali i biouređaji postaju ključni za razvoj fleksibilnih, inteligentnih i ekološki prihvatljivih robotskih sistema koji mogu odgovoriti na rastuće zahtjeve industrije i društva. Tradicionalni roboti, iako izuzetno precizni i pouzdani u ponavljajućim

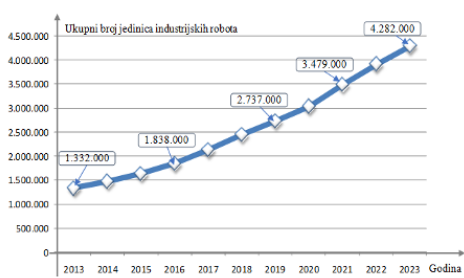
zadacima, često su ograničeni rigidnom strukturom i visokom potrošnjom energije. Njihova primjena u industriji zahtijeva unapređenje u pravcu veće fleksibilnosti, adaptacije na promjene u okruženju i smanjenja ekološkog otiska [4,5]. Ove izazove rješava razvoj inteligentnih robotskih sistema zasnovanih na biomaterijalima i biouređajima koji omogućavaju bolju integraciju tehnologije s prirodnim okruženjem. Primjena biomaterijala u robotici omogućava razvoj mekih robota, biohibridnih sistema i senzorskih uređaja sa sposobnostima samoprilagođavanja i samoiscjeljenja. Ove tehnologije ne samo da povećavaju sigurnost i efikasnost robota u industrijskim okruženjima već otvaraju i nove mogućnosti u servisnoj robotici – od medicinskih asistivnih uređaja do ekološki održivih automatizovanih rješenja. Fleksibilni roboti, napravljeni od biorazgradivih i laganih materijala, omogućavaju sigurniju interakciju s ljudima smanjujući rizik od povreda i povećavajući mogućnosti primjene u medicini, rehabilitaciji i preciznim industrijskim procesima [6-8]. Pored toga, ekološki održivi roboti doprinose smanjenju upotrebe klasičnih sintetičkih materijala koristeći obnovljive resurse i energetski efikasne tehnologije koje omogućavaju duži vijek trajanja i manji ekološki otisak. Kombinacija naprednih materijala s tehnologijama Industrije 4.0 omogućava stvaranje robotskih sistema koji su sposobni za autonomno donošenje odluka, optimizaciju proizvodnih procesa i interakciju sa složenim okruženjima na način koji oponaša prirodne sisteme [9-11]. Razvoj ovih sistema omogućava stvaranje robota koji mogu autonomno prilagođavati svoje funkcije i strukturu u skladu s promjenama u okruženju, čime se postiže veća efikasnost, sigurnost i dugoročna održivost tehnologije. Ovaj pravac razvoja ključan je za budućnost automatizacije, omogućavajući harmoničnu integraciju robota u industrijske, medicinske i ekološke sfere [12-14]. Takvi roboti ne samo da povećavaju produktivnost industrije, već i doprinose smanjenju ekološkog otiska, poboljšanju kvaliteta života i unapređenju tehnologije u skladu sa principima održivog razvoja.

## 2. Implementacija robota u svijetu

Industrijska robotika doživjela je značajan rast u posljednjih deset godina, vođena razvojem tehnologija Industrije 4.0, povećanom potražnjom za automatizacijom i sve većom potrebom za efikasnijim i preciznijim proizvodnim procesima. Industrijski roboti postaju ključni dio modernih proizvodnih procesa sa primjenom u različitim sektorima. Trend implementacije industrijskih robota prve i druge generacije u svijetu izvršili smo na osnovu statističkih podataka International Federation of Robotics (IFR), Ekonomske komisije pri UN-u za Evropu (UNECE) i Organizacije za ekonomsku kooperaciju i razvoj (OECD). Trend implementacije industrijskih robota na godišnjem nivou u svijetu prikazan je na dijagramima, a dijagrami implementacije industrijskih robota može prikazivati rast broja instalacija kroz godine, distribuciju po regijama i sektorima, te poređenje gustoće robota među zemljama. Na dijagramima Slike 1. prikazana je implementacija industrijskih robota prve i druge generacije na godišnjem i ukupnom nivou u posljednjih deset godina [15-19].



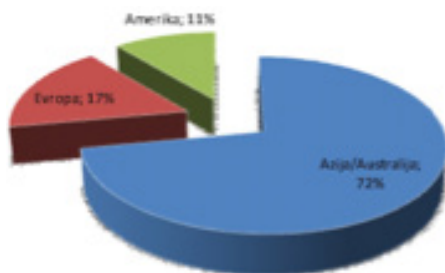
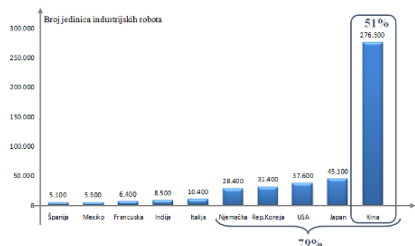
a-godišnja implementacija



b-ukupna implementacija

Slika 1 - Dijagram godišnje i ukupne implementacije industrijskog robota u svijetu za period 2013-2023. godine

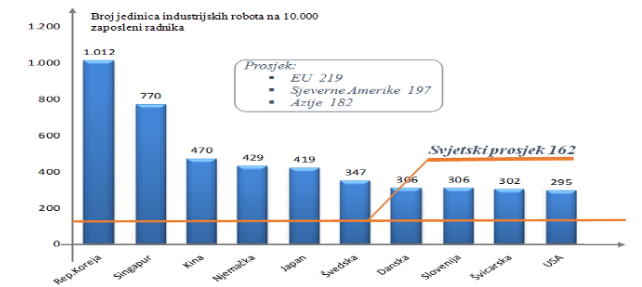
Analizom dijagrama prikazanih na Slici 1. zaključujemo da je trend rasta implementacije industrijskih robota ubrzan zbog sve veće potrebe za automatizacijom proizvodnje, smanjenja troškova rada i povećanja preciznosti i efikasnosti. U posljednjih deset godina godišnji rast instaliranih robota u prosjeku iznosi 10-15%, s rekordnim brojem novih instalacija u posljednjih nekoliko godina, a koji je na godišnjem nivo dostigao vrijednost implementacije oko 541.000 jedinica industrijskih robota (Slika 1.-a), dok je ukupna implementacija u 2023. godini dostigla vrijednost od oko 4,3 miliona jedinica industrijskih robota.



Slika 2 - Dijagram deset top zemalja u svijetu po implementaciji industrijskih robota u 2023.godini i procentualna primjena po kontinentima u 2023.godini [19]

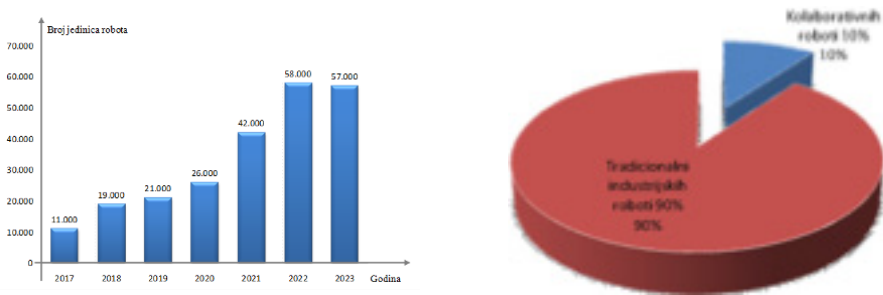
Analizirajući dijagram na prvoj Slici 2 dolazimo do zaključka da je Kina, kao vodeći proizvođač i potrošač industrijskih robota, instalirala preko 51% od ukupne implementacije industrijskih robota u svijetu u 2023. godini (u Kini je implementirano oko 276.300 jedinica industrijskih robota), a u prvih pet zemalja, pored Kine, su Japan, USA, Republika Koreja i Njemačka koje su vodeće u svijetu po implementaciji industrijskih robota jer su u 2023. godini implementirale oko 79% u odnosu na ukupnu implementaciju u toj godini. Pored ovih pet zemalja, u deset top zemalja po implementaciji ubrajaju se: Italija, Indija, Francuska, Meksiko i Španija, što pokazuje Slika 2. Na Slici 2 (desna slika) prikazan je trend implementacije po kontinentima u svijetu i to procentualna primjena, gdje zaključujemo da je sa najvećim rastom Azija/Australija oko 72%, zatim Evropa sa 17% i na trećem mjestu Amerika sa 11% implementacije u 2023. godini. Ovi podaci ukazuju na kontinuirani rast u implementaciji industrijskih robota širom svijeta, s posebnim naglaskom na azijsko tržište koje dominira globalnom potražnjom. Stvarna slika implementacije industrijskih robota se dobije ako imamo implementaciju robota na 10.000 zaposlenih radnika u industriji. Na Slici 3 prikazana je implementacija

industrijskih robota na 10.000 zaposlenih radnika u deset top zemalja svijeta u 2023. godini.



Slika 3 - Implementacija industrijskih robota u deset top zemalja u svijetu na 10.000 zaposlenih radnika u industriji u 2023. godini [19]

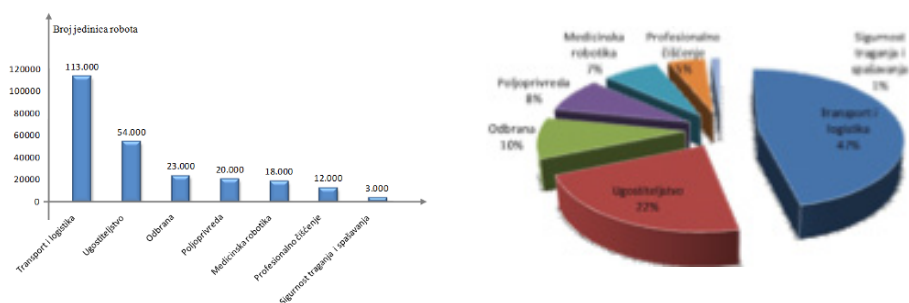
Implementacija industrijskih robota značajno varira među vodećim zemljama svijeta, a najnoviji podaci za 2023. godinu pokazuju znatne razlike u stepenu robotizacije među njima. Na vrhu ljestvice nalazi se Južna Koreja s impresivnih 1.012 jedinica industrijskih robota na 10.000 zaposlenih radnika u industriji. Ova brojka ukazuje na snažnu tehnološku usmjerenost i kontinuirana ulaganja u automatizaciju, posebno u sektorima poput automobilske i elektroničke industrije. Slijedi Singapur sa 770 robota na 10.000 radnika, što je također izrazito visok stepen robotizacije, uglavnom potaknut visokotehnološkom proizvodnjom i preciznom industrijom. Kina, koja se u posljednjem desetljeću značajno robotizirala, ima 470 jedinica na 10.000 radnika, što odražava njihov strateški cilj modernizacije industrije. Njemačka, poznata po svojoj snažnoj industrijskoj bazi, bilježi 429 robota na 10.000 zaposlenih, dok Japan, kao pionir u robotici, ima 419 jedinica. Švedska (347), Danska (306), Slovenija (302), Švicarska (295) i SAD (295) također se ubrajaju među vodeće zemlje u ovoj sferi. Svjetski prosjek iznosi 162 robota na 10.000 radnika, što znači da većina vodećih zemalja značajno premašuje taj broj. Na razini kontinenata, Evropa u prosjeku ima 219 robota, Sjeverna Amerika 197, a Azija 182, što pokazuje da su razvijene zemlje i regije s visokotehnološkom industrijom u značajnoj prednosti u odnosu na ostatak svijeta. Ova statistika ukazuje na ključnu ulogu industrijskih robota u modernizaciji proizvodnih procesa i povećanju produktivnosti, osobito u tehnološki naprednim zemljama. Visoka koncentracija robota omogućava automatizaciju repetitivnih i zahtjevnih zadataka, što pridonosi većoj učinkovitosti i globalnoj konkurentnosti.



Slika 4 - Implementacija kolaborativnih robota u svijetu u periodu 2017-2023. godine i procentualna primjena u 2023. godini [14-19]

Kolaborativni roboti (kobot) postali su ključna komponenta moderne industrijske

automatizacije u razdoblju od 2017. do 2023. godine. Za razliku od tradicionalnih industrijskih robota, kobotovi su dizajnirani za siguran rad u blizini ljudi, što ih čini idealnim za zadatke koji zahtijevaju saradnju čovjeka i stroja. Prema priloženim podacima, globalna implementacija kobotova bilježi konstantan rast tokom navedenog razdoblja. U 2017. godini bilo je instalirano oko 11.000 jedinica kobotova, dok je 2018. broj porastao na 19.000. Tokom 2019. i 2020. godine zabilježen je umjereniji rast s 21.000 i 26.000 jedinica. Značajan skok vidljiv je 2021. godine kada broj jedinica je dostigao 42.000. Vrhunac implementacije dogodio se 2022. godine s 58.000 jedinica, dok je u 2023. zabilježen blagi pad na 57.000 jedinica. Ovaj rast potaknut je potrebom za fleksibilnijim proizvodnim rješenjima, povećanjem proizvodnih kapaciteta te smanjenjem troškova rada u razvijenim i industrijski orijentiranim zemljama. Razlozi za popularnost kobotova leže u njihovoj svestranosti, sigurnosti i sposobnosti brze prilagodbe različitim proizvodnim procesima. Posebno su korisni u malim i srednjim poduzećima gdje se često mijenjaju proizvodne linije. Međutim, unatoč rastu, koboti u 2023. godini još uvijek čine samo 10% ukupnog broja industrijskih robota, dok tradicionalni industrijski roboti dominiraju sa čak 90%. To ukazuje da, iako raste interes za kobotima, tradicionalni roboti i dalje čine okosnicu automatiziranih proizvodnih pogona. Najveću primjenu koboti imaju u elektroničkoj i automobilskoj industriji (30%), a slijede sektori potrošačkih proizvoda (20%) te logistika i skladištenje (15%). U prehrambenoj i farmaceutskoj industriji njihov udio iznosi oko 10%, dok preostalih 25% otpada na druge industrijske grane. Kina, SAD i Njemačka vodeći su u implementaciji kobotova zahvaljujući snažnoj industrijskoj bazi i poticanju digitalizacije proizvodnih procesa. Evropa bilježi stabilan rast, posebno u automobilskoj i elektroničkoj proizvodnji. S obzirom na sve veći naglasak na sigurnost, prilagodljivost i učinkovitost proizvodnje, očekuje se da će tržište kobotova nastaviti rasti i u dolazećim godinama, iako će tradicionalni roboti još neko vrijeme ostati dominantni u industrijskim pogonima. Pored razvoja industrijskih robota druge generacije i njihove implementacije u svim proizvodnim procesima, razvoj i istraživanje u robotskoj tehnologiji doprinio je razvoju servisnih robota za profesionalnu ulogu, koji se koriste u proizvodnim procesima, a za sada najveću primjenu imaju servisni roboti za transport i logistiku koji se implementiraju za kontrolu gotovih proizvoda, nadzor i praćenje proizvodnih procesa u industriji, itd. Trend primjene servisnih robota za profesionalne usluge prikazan je na Slici 5. za 2023. godinu u svijetu za sedam top aplikacija.



Slika 5 - Implementacija servisnih robota za profesionalnu uslugu u sedam top aplikacija u 2023. godini u svijetu [20]

Na osnovu dijagrama prikazanih na Slici 5 zaključujemo da se najveći broj servisnih robota koristi u sektoru transporta i logistike, sa čak 113.000 jedinica, što čini gotovo polovinu ukupne upotrebe. Razlog za tako veliki broj je sve veća potreba za automatizacijom

u skladištima, distribuciji i dostavi, što doprinosi efikasnosti i smanjenju troškova. Na drugom mestu je ugostiteljstvo sa 54.000 jedinica. U ovom sektoru roboti se koriste za posluživanje, pripremu hrane, dostavu u hotelima i restoranima. Automatizacija ovih procesa poboljšava kvalitet usluge i smanjuje vreme čekanja. Sljedeća je odbrana sa 23.000 jedinica. U ovoj oblasti roboti se primarno koriste za izviđanje, praćenje i druge vojne aktivnosti, omogućavajući veću sigurnost i smanjenje rizika za ljudske živote. Poljoprivreda se nalazi na četvrtom mjestu sa 20.000 jedinica, gdje roboti pomažu u žetvi, navodnjavanju i održavanju usijeva. Automatizacija poljoprivrednih procesa doprinosi većoj produktivnosti i smanjenju ljudskog rada. Medicinski roboti čine 7% ukupne upotrebe sa 18.000 jedinica, a njihova primjena obuhvata asistenciju u operacionim salama, rehabilitaciju i pomoć u njezi pacijenata. Profesionalno čišćenje je sljedeća oblast sa 12.000 jedinica (5%), dok se sigurnost, traganje i spašavanje nalaze na posljednjem mjestu sa 3.000 jedinica (1%), uglavnom zbog specifičnih potreba i visokih troškova implementacije. Tortni dijagram pruža uvid u procentualnu zastupljenost robota u svakoj oblasti. Očigledno je da su transport i logistika najdominantniji sa 47%, dok ugostiteljstvo zauzima 22%. Odbrana (10%), poljoprivreda (8%), medicinska robotika (7%), profesionalno čišćenje (5%) i sigurnost (1%) čine manji dio ukupne implementacije. Primjena servisnih robota u 2023. godini pokazuje jasnu dominaciju u sektorima gdje je automatizacija ključna za efikasnost i produktivnost. Transport, logistika i ugostiteljstvo prednjače zbog svoje potrebe za brzinom i optimizacijom procesa. S druge strane, manje zastupljeni sektori poput sigurnosti i čišćenja ukazuju na specifične izazove u primjeni robota. Razvoj robotike ide velikom brzinom zahvaljujući naprednim tehnologijama, a upotreba biomaterijala i biouređaja robotima omogućuje širu primjenu gdje se do sada nisu primjenjivala jer povećavaju njihovu funkcionalnost.

### **3. UPOTREBA BIOMATERIJALA I BIOUREĐAJA KOD ROBOTA SA CILJEM POVEĆANJA NJIHOVE FUKCIONALNOSTI**

Biomaterijali i biouređaji koji se koriste u robotici često služe za omogućavanje robota da obavlja zadatke koji zahtijevaju interakciju s ljudskim tijelom, detekciju bioloških signala ili, čak, simulaciju bioloških funkcija. Biomaterijali su prirodni ili sintetički materijali koji su dizajnirani da oponašaju ili nadopunjuju biološka svojstva živih organizama [21,22,30]. Oni se koriste u različitim područjima uključujući medicinu, biotehnologiju i robotiku, gdje omogućuju razvoj fleksibilnih, biokompatibilnih i inteligentnih sistema. Navodimo samo neka od biomaterijala koji se koriste u robotici:

Pametni materijali (smart materials) su oni materijali koji mogu promijeniti svoja svojstva u odgovoru na spoljne stimuluse kao što su temperatura, svjetlost ili električna energija. Ovi materijali imaju sposobnost da odgovore na promjene u okolini i samostalno prilagode svoja svojstva u realnom vremenu. U robotici se oni koriste za izradu aktuatorskih sistema kao što su mehaničke ruke koje imitiraju ljudske pokrete ili senzori koji prepoznaju biološke signale. Naprimjer, pametni polimerni aktuatori omogućavaju robotima da izvršavaju složene pokrete s visokom preciznošću. Tu ubrajamo piezosenzitivne materijale koji se koriste za senzore koji detektuju pritisak ili vibracije, a primjenjuju se u robotici za praćenje pokreta ili detekciju sile. Elektroaktivni polimeri (EAP) mogu promijeniti oblik kada se primijeni električni napon i koriste se u mehaničkim sistemima robota (npr. za "mišiće" robota). Ovi materijali omogućavaju kreiranje robota s fleksibilnim i prilagodljivim strukturama, što je naročito korisno u humanoidnim i biomehaničkim robotima. Jedan mali broj primjera biomaterijala je

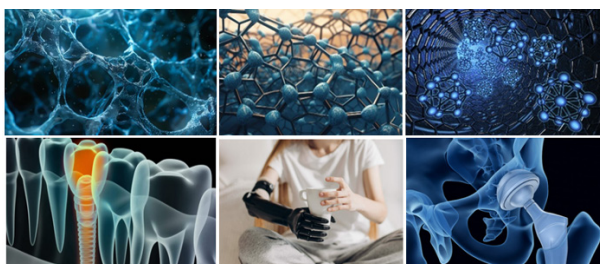


prikazan na Slici 6.

Gelovi i tečnosti sa promjenljivim svojstvima, kao što su hidrogelovi, mogu se koristiti u biomedicinskim uređajima i robotici. Oni omogućavaju robote koji mogu mijenjati oblik ili veličinu u odgovoru na promjene u okruženju. Naprimjer, hidrogelovi sa promjenljivom zapreminom mogu se koristiti u robotima za hvatanje ili manipulaciju osjetljivim biološkim tkivima. Ovi materijali mogu biti korisni za robote koji rade u biomedicinskim ili mikrohirurškim aplikacijama, gdje je potrebna visoka preciznost i prilagodljivost materijala.

Biopolimeri uključuju materijale koji su biološki razgradivi i koriste se za izradu dijelova robota koji mogu biti ekološki prihvatljivi. Naprimjer, bioplastika ili prirodni polimeri kao što je hitin mogu se koristiti u izradi lakih dijelova robota, čime se smanjuje negativan utjecaj na životnu sredinu. Pored toga, biopolimeri imaju potencijal za upotrebu u jednokratnim robotskim sistemima ili u uređajima koji zahtijevaju kratkotrajan kontakt sa živim organizmima.

Biokompatibilni materijali se koriste u biomedicinskim robotima koji direktno dolaze u kontakt sa ljudskim tijelom (npr. roboti za hirurške intervencije). U te svrhe koriste se materijali kao što su titanijum, silikon i specijalni polimerni materijali koji ne izazivaju odbacivanje od strane organizma. Biokompatibilni premazi i tanki slojevi se često koriste za prevenciju reakcija imunološkog sistema prilikom dugotrajnog kontakta sa tkivom. Na taj način se omogućava sigurna i dugotrajna upotreba robota u hirurgiji i medicinskoj dijagnostici.



Slika 6 - Samo mali broj primjera biomaterijala koji se koriste u robotici [23-29]

U robotici se biomaterijali koriste kako bi roboti stekli poboljšane sposobnosti interakcije s okolinom, veću fleksibilnost i mogućnost regeneracije, čime se proširuju mogućnosti njihove primjene u medicini, industriji i ekološkim sustavima. Korištenje biomaterijala u robotici temelji se na njihovim specifičnim svojstvima koja ih čine prilagodljivima za različite primjene. Upotrebom biomaterijala u izradi robotskih sistema otvaraju se nove mogućnosti u pogledu funkcionalnosti, sigurnosti i održivosti, što doprinosi razvoju inovativnih tehnologija u brojnim područjima. Biomaterijali predstavljaju ključnu komponentu u razvoju robota koji se mogu prilagoditi specifičnim potrebama korisnika ili okoline. Njihova svojstva omogućuju stvaranje robota koji su fleksibilni, lagani i ekološki prihvatljivi, što doprinosi širokoj primjeni u različitim sektorima. Ovi materijali ne samo da poboljšavaju fizičke osobine robota već omogućuju i interakciju s okolinom na prirodniji i sigurniji način. Primjena biomaterijala posebno je značajna u medicinskoj robotici, gdje su potrebni sigurni i pouzdani uređaji za rad u kontaktu s ljudskim tijelom. Naprimjer, robotske proteze koje koriste biokompatibilne materijale omogućuju prirodnije pokrete i bolju integraciju s tkivima [31,32]. U industrijskim primjenama, fleksibilni roboti napravljeni od biomaterijala mogu izvoditi



precizne zadatke bez oštećenja osjetljivih predmeta, dok u ekološkim sistemima biorazgradivi roboti pridonose smanjenju ekološkog otiska. Osim toga, biomaterijali se koriste za stvaranje robotskih senzora koji reagiraju na promjene u okolini. Ovi senzori omogućuju robotima da prilagode svoje ponašanje na temelju vanjskih podražaja, što je osobito korisno u dinamičnim okruženjima. Na taj način, biomaterijali ne samo da unapređuju konstrukciju robota već i povećavaju njihovu inteligenciju i autonomiju. Korištenjem biomaterijala u robotici, istraživači i inženjeri nastoje razviti sisteme koji mogu samostalno prilagoditi svoje funkcije ovisno o promjenjivim uvjetima [33-35]. Takvi napredni roboti mogu biti korisni u operacijama spašavanja, medicinskoj rehabilitaciji, poljoprivredi, te mnogim drugim područjima gdje su potrebni visoka fleksibilnost i prilagodljivost.

Biokompatibilnost - biomaterijali ne uzrokuju štetne reakcije u kontaktu s biološkim tkivima, što ih čini idealnim za medicinsku robotiku i protetske uređaje. Ova svojstva omogućuju razvoj robotskih proteza koje se prirodno integriraju s ljudskim tijelom, implantanata koji minimaliziraju rizik od odbacivanja i mehaničkih egzoskeleta koji podržavaju pokretljivost bez iritacije kože. Zbog toga su biomaterijali ključni u medicinskim aplikacijama gdje je potreban siguran i pouzdan kontakt s biološkim strukturom.

Fleksibilnost i elastičnost - za razliku od konvencionalnih krutih materijala, biomaterijali omogućuju robotima mekše i prirodnije pokrete. U mekoj robotici, gdje se zahtijeva prilagodljivost i sigurno rukovanje osjetljivim objektima, biomaterijali poput silikonskih polimera osiguravaju veću sigurnost i učinkovitost. Robotski senzori i aktuatori napravljeni od elastičnih biomaterijala mogu se savijati i prilagođavati okolini, čime se osigurava visoka razina preciznosti i osjetljivosti.

Samoregeneracija - neki biomaterijali imaju sposobnost autonomnog popravljavanja nakon oštećenja, što produžuje vijek trajanja robota i smanjuje potrebu za popravcima. Takvi materijali omogućuju robotima da nastave s radom čak i nakon manjih oštećenja, što je ključno za robote u ekstremnim uvjetima ili za medicinske uređaje s dugotrajnom primjenom. Samoregenerativni materijali inspirirani biološkim tkivima koriste mehanizme poput polimerne reorganizacije ili hemijske regeneracije.

Biorazgradivost - ekološki prihvatljivi biomaterijali mogu se razgraditi u prirodi bez štetnih posljedica po okoliš. Ovo svojstvo je posebno važno za jednokratne robote namijenjene ekološkim misijama, poput čišćenja onečišćenih područja ili jednokratnih implantabilnih medicinskih robota. Razgradivi materijali smanjuju utjecaj na okoliš i omogućuju sigurno odlaganje nakon završetka radnog vijeka.

Osjetljivost na podražaje - neki biomaterijali mogu mijenjati svoja svojstva pod utjecajem vanjskih faktora poput temperature, svjetlosti ili električnih signala. U robotici se ova svojstva koriste za stvaranje robotske kože koja može osjetiti promjene u okolini ili adaptivnih senzora koji prilagođavaju reakcije na različite podražaje. Takvi senzori omogućuju robotima da reagiraju na vanjske promjene u realnom vremenu.

Lagana masa i energetska efikasnost - biomaterijali su često lakši od metala i plastike, što omogućava robote s nižom potrošnjom energije i većom pokretljivošću. Ova svojstva su posebno korisna za bespilotne leteće robote i medicinske mikrorobote, gdje je smanjenje mase ključno za operativnu učinkovitost.

Ključni biouređaji koji se koriste u robotskoj tehnologiji su:

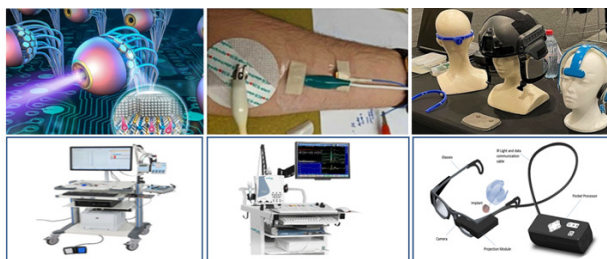
Biosenzori - detektiraju biološke signale poput promjena u nivou glukoze, pH vrijednosti ili krvnog pritiska. U medicinskim robotima biosenzori omogućuju kontinuirano praćenje pacijenata i pružanje prilagodljivih terapija.

Neurorobotika - integracija neuralnih signala za kontrolu robotskih uređaja. Omogućuje ljudima s ozljedama kičme kontrolu protetskih ruku i nogu putem EEG signala ili EMG uređaja koji detektiraju mišićne impulse.

Elektromiografski uređaji (EMG) - prate električne impulse mišića, omogućujući robotima da reagiraju na namjere korisnika. Koriste se u protetskim uređajima i rehabilitacijskim robotima.

Optogenetski uređaji - korištenje svjetlosnih impulsa za kontrolu živčanih i mišićnih tkiva, omogućujući preciznu stimulaciju i kontrolu robotskih pokreta u medicinskoj primjeni.

Biomaterijali u robotici predstavljaju ključni korak prema razvoju naprednih i prilagodljivih robotskih sistema koji mogu djelovati u složenim i promjenjivim okruženjima. Određeni broj primjera biouređaja je prikazan na Slici 7.



Slika 7 - Primjeri biosenzora, neurorobotskih uređaja, elektromiografskih uređaja i optogenetskih uređaja [36-42]

Razvoj i primjena biomaterijala u robotici suočava se s brojnim izazovima koji se mogu svrstati u nekoliko ključnih kategorija: tehnički, ekonomski i istraživački izazovi. Da bismo bolje razumjeli ove složene aspekte, izdvojit ćemo neke od najvažnijih problema i prepreka.

- Razvoj novih biomaterijala - stvaranje novih biomaterijala predstavlja kontinuiran izazov za istraživače, jer se teži poboljšanju njihovih mehaničkih svojstava. Cilj je stvoriti jače i otpornije materijale koji će moći podnijeti dugotrajnu upotrebu u robotskim sistemima. Osim toga, hibridni materijali, odnosno kombinacije biomaterijala s konvencionalnim materijalima, mogu značajno unaprijediti performanse robota. Takva sinergija omogućava bolju otpornost i funkcionalnost, što je ključno u primjenama gdje je dugovječnost materijala od velike važnosti.
- Tehnološka ograničenja - jedan od glavnih tehničkih izazova jest kompleksnost proizvodnje biomaterijala. Napredne tehnologije poput 3D printanja i nanotehnologije suočavaju se s problemom postizanja visoke preciznosti pri izradi robotskih dijelova. Dodatni problem predstavlja i nedovoljna preciznost metoda testiranja biomaterijala, što otežava potvrđivanje njihove dugoročne učinkovitosti. Precizna testiranja ključna su za osiguravanje pouzdanosti robota izrađenih od biomaterijala, što je posebno važno u medicinskim i industrijskim aplikacijama.
- Sigurnosna i etička pitanja - kada je riječ o sigurnosnim aspektima, biomaterijali u robotici postavljaju mnoga pitanja. Naprimjer, medicinski roboti izrađeni od biomaterijala moraju zadovoljiti stroge sigurnosne standarde i proći temeljita testiranja prije nego što dobiju dozvolu za kliničku upotrebu. Dodatno, upotreba bioloških materijala u robotici otvara etička pitanja, posebno kada su u pitanju materijali dobiveni iz ljudskih ili životinjskih tkiva. Pitanje održivosti također je značajno, s obzirom na to da korištenje takvih materijala može izazvati moralne

- dvojbe i regulatorne prepreke.
- Ekonomski i tržišni izazovi - industrijska primjena biomaterijala još uvijek nije u potpunosti zaživjela, što je dijelom posljedica visokih troškova istraživanja i razvoja. Prilagodba industrije na nove materijale ide sporije nego što se očekivalo, što usporava njihovu širu primjenu i masovnu proizvodnju. Za razvoj pristupačnih i izdržljivih biomaterijala potrebna su znatna finansijska ulaganja, što dodatno komplicira njihovo uvođenje u različite industrijske procese.
- Prednosti i izazovi buduće primjene - uprkos izazovima, upotreba naprednih biomaterijala i biouređaja u robotici donosi niz prednosti. Oni omogućuju bolju interakciju robota s biološkim sustavima, što je osobito korisno u medicinskim i rehabilitacijskim kontekstima. Razvoj tehnologija koje simuliraju ljudske funkcije napreduje brzo, osobito u biomedicinskim uređajima, neuralnim sučeljima i mehaničkim sistemima.

Uprkos trenutnim izazovima, biomaterijali imaju potencijal značajno unaprijediti robotske sisteme i njihovu primjenu u medicini, industriji i zaštiti okoliša.

#### 4. PREDNOSTI I NEDOSTACI KORIŠTENJA BIOMATERIJALA U ROBOTICI

Razvoj naprednih tehnologija u području robotike donosi brojne inovacije koje unapređuju sposobnosti i funkcionalnost robotskih sistema. Jedna od najznačajnijih promjena u posljednjem desetljeću je upotreba biomaterijala koji omogućuju bolju integraciju robota u biološke sisteme i povećavaju njihovu sposobnost interakcije s ljudima i okolišem. Biomaterijali predstavljaju širok spektar prirodnih i sintetičkih materijala koji se koriste za izradu robotskih komponenti i struktura s ciljem postizanja veće prilagodljivosti, izdržljivosti i funkcionalnosti [43-45]. Ovi materijali nalaze primjenu u raznim područjima, uključujući medicinsku robotiku, gdje omogućuju izradu proteza, eksoskeleta i hirurških robota koji mogu precizno i sigurno djelovati unutar ljudskog tijela. U industrijskom kontekstu, biomaterijali doprinose razvoju robota s većom fleksibilnošću i otpornošću na promjene u radnim uvjetima. Međutim, uz brojne prednosti, korištenje biomaterijala u robotici nosi i određene nedostatke. Jedan od ključnih izazova je složenost proizvodnje koja zahtijeva napredne tehnološke postupke kao što su 3D printanje i nanotehnologija. Osim toga, troškovi istraživanja i razvoja biomaterijala mogu biti visoki, što otežava njihovu široku primjenu.

Biomaterijali imaju mnoge prednosti koje ih čine ključnim za razvoj novih robotskih sistema. Njihova fleksibilnost, biokompatibilnost i mogućnost biorazgradnje čine ih izuzetno korisnim u medicini, industriji i zaštiti okoliša. Nabrojat ćemo neke glavne prednosti korištenja biomaterijala kod robota:

- Poboljšana biokompatibilnost - sigurna interakcija s ljudima i okolišem – biomaterijali su netoksični i kompatibilni s biološkim tkivima, što ih čini idealnim za medicinske robote i protetske uređaje, kao i smanjenje rizika od alergijskih reakcija – nasuprot konvencionalnim materijalima poput metala i plastike, biomaterijali ne izazivaju štetne imunološke odgovore.
- Fleksibilnost i prilagodljivost - veća pokretljivost robota – meki biomaterijali omogućuju robote koji mogu mijenjati oblik, prilagođavati se površinama i raditi u zahtjevnim uvjetima, kao i smanjenje težine robota – biomaterijali su lakši od tradicionalnih materijala, što smanjuje energetska potrošnju i poboljšava performanse.
- Samoregeneracija i dugotrajnost - mogućnost samoobnavljanja – neki biomaterijali mogu se regenerirati nakon oštećenja, produžujući vijek trajanja robota i

smanjujući troškove održavanja.

- Ekološka održivost - biorazgradivost – biomaterijali se mogu prirodno razgraditi nakon upotrebe, smanjujući problem elektroničkog otpada, kao i manje zagađenja – korištenje organskih materijala smanjuje ovisnost o plastici i toksičnim metalima.
- Napredna osjetilna svojstva - robotska koža s osjetljivošću – biomaterijali se mogu koristiti za razvoj umjetne kože s osjetljivošću na dodir, toplinu i vlagu, kao i adaptivni senzori – polimeri i hidrogeli mogu reagirati na promjene u okolišu i prilagođavati ponašanje robota.

Nedostaci korištenja biomaterijala u robotici uključuju ograničenu trajnost i otpornost na habanje u usporedbi s konvencionalnim materijalima poput metala i plastike. Biomaterijali su često osjetljivi na vlagu, temperature i mikroorganizme, što može smanjiti pouzdanost robota. Također, njihova mehanička svojstva, poput čvrstoće i elastičnosti, mogu varirati ovisno o uvjetima okoline. Proizvodnja biomaterijala može biti složena i skupa, a njihova degradacija može dovesti do kontaminacije ili kvarova. Ograničena predvidljivost svojstava i kraći vijek trajanja dodatni su izazovi u primjeni biomaterijala u robotskim sistemima. Iako biomaterijali donose brojne prednosti, postoje i određeni nedostaci koji ograničavaju njihovu široku primjenu, tako da ćemo izdvojiti određene nedostatke:

- Visoki troškovi proizvodnje - složen proces proizvodnje – Biomaterijali su često skuplji za proizvodnju u poređenju s tradicionalnim metalima i plastikom, kao i ograničena masovna proizvodnja – tehnologije za proizvodnju biomaterijala još nisu u potpunosti prilagođene industrijskim razmjerima.
- Smanjena izdržljivost - kratak vijek trajanja – neki biomaterijali imaju manju otpornost na trošenje, što može ograničiti njihovu primjenu u dugotrajnim robotskim sistemima, kao i osjetljivost na vanjske uvjete – biomaterijali poput hidrogela mogu biti osjetljivi na temperaturu, vlagu i UV zračenje, što može utjecati na njihov rad.
- Ograničena mehanička svojstva - manja čvrstoća u odnosu na metale – biomaterijali često nemaju istu razinu otpornosti na velika opterećenja kao čelik ili aluminij, kao i ograničena upotreba u teškoj industriji – zbog niže mehaničke izdržljivosti, biomaterijali nisu uvijek prikladni za robote u ekstremnim uvjetima (visoke temperature, visoki pritisak).

Budućnost biomaterijala u robotici ovisi o daljnjem istraživanju i inovacijama koje će omogućiti razvoj jačih, izdržljivijih i ekonomičnijih materijala. Uprkos trenutnim izazovima, biomaterijali imaju potencijal značajno unaprijediti robotske sustave i njihovu primjenu u medicini, industriji i zaštiti okoliša.

## 5. IMPLEMENTACIJA BIOMATERIJALA I BIOUREĐAJA U ROBOTICI

Kao što smo već rekli, biomaterijali i biouređaji se sve više koriste u robotici kako bi poboljšali fleksibilnost, funkcionalnost i održivost robotskih sistema. Njihova sposobnost da imitiraju biološke strukture i svojstva omogućava razvoj naprednih robota koji mogu bolje interagirati s okolinom, prilagođavati se različitim uvjetima i čak se regenerirati. Njihova primjena obuhvaća medicinsku robotiku, meku robotiku, biorazgradive robote, humanoidne robote te robote za zaštitu okoliša i industrijske primjene. Jedna od ključnih primjena biomaterijala u robotici je u medicinskim robotskim sistemima [8,13]. Biorazgradivi roboti izrađeni od biomaterijala predstavljaju ekološki prihvatljiv pristup robotici. Ovi roboti mogu obavljati zadatke u prirodnom okolišu,

poput praćenja kvalitete vode ili tla, a zatim se prirodno razgraditi nakon završetka misije. Takva održiva rješenja smanjuju ekološki otisak i promovišu očuvanje okoliša. U humanoidnoj robotici, biomaterijali omogućuju razvoj robota s prirodnijim izgledom i pokretima. Umjetna koža izrađena od biokompatibilnih polimera može pružiti osjet dodira i temperaturu, omogućujući robotima da bolje reagiraju na vanjske podražaje. To je posebno korisno u socijalnim robotima koji komuniciraju s ljudima. Industrijski roboti također mogu imati koristi od biomaterijala, posebno u proizvodnim procesima koji zahtijevaju osjetljivost i prilagodljivost. Naprimjer, robotske hvataljke izrađene od elastičnih biomaterijala mogu sigurno rukovati krhkim predmetima, poput stakla ili elektronike. Međutim, uprkos brojnim prednostima, postoje izazovi povezani s implementacijom biomaterijala i biouređaja u robotiku [32,46]. Ograničen vijek trajanja, osjetljivost na okolišne uvjete i složenost izrade neki su od problema koji zahtijevaju daljnja istraživanja i optimizaciju. Jedan mali broj primjera primjene biomaterijala i biouređaja je prikazan na Slici 8. Navodimo samo određene primjere primjene biomaterijala i biouređaja u robotici:

- Implementacija u medicinskoj robotici i protetici

Biomaterijali igraju ključnu ulogu u medicinskoj robotici jer omogućuju siguran kontakt robota s ljudskim tijelom. U ovoj domeni koriste se za izradu robotskih proteza, implantata, hirurških robota i rehabilitacijskih uređaja [47-49].

Robotske proteze i egzoskeleti

- biokompatibilni materijali poput titana, silikona i biopolimera koriste se za izradu robotskih proteza koje oponašaju funkciju ljudskih udova,

- napredni materijali s osjetilnim senzorima omogućavaju taktilni osjećaj, što poboljšava kontrolu nad protezama,

- egzoskeleti napravljeni od laganih i fleksibilnih biomaterijala koriste se za rehabilitaciju pacijenata s neurološkim i ortopedskim oštećenjima.

Hirurški roboti

- hirurški roboti (npr. Da Vinci robotski sistem) koriste biokompatibilne materijale za izradu preciznih hirurških instrumenata, kao i

- mikrohrurški roboti izrađeni od biomaterijala omogućuju minimalno invazivne zahvate unutar tijela.

Biorazgradivi implantabilni roboti

- u razvoju su biorazgradivi roboti napravljeni od materijala koji se nakon određenog vremena prirodno razgrađuju unutar tijela, eliminirajući potrebu za dodatnim hirurškim zahvatima.

- Implementacija kod meke robotike

Meka robotika koristi fleksibilne, elastične i biokompatibilne materijale kako bi roboti imali prirodnije pokrete i sigurniju interakciju s ljudima i okolinom.

Robotski aktuatori i senzori

- hidrogeli i elastomeri omogućavaju izradu fleksibilnih robota koji mogu mijenjati oblik i prilagoditi se različitim površinama,

- biomaterijali s memorijom oblika omogućuju robotima da reagiraju na vanjske podražaje poput topline ili vlage.

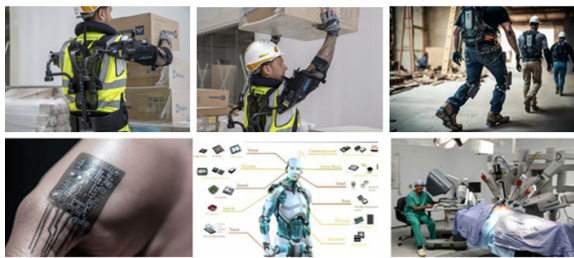
Robotska koža

- biološki inspirirani materijali koriste se za izradu robotske kože koja može detektirati dodir, temperaturu i pritisak,

- robotska koža izrađena od grafenskih i polimernih biomaterijala omogućava taktilnu percepciju sličnu ljudskoj.

## Mekani medicinski roboti

- roboti od biokompatibilnih elastomera mogu se koristiti za izvođenje endoskopskih i laparoskopskih asistiranih operacija.



Slika 8 - Samo neki primjeri implementacije biomaterijala i biouređaja u robotici [50-55]

- Implementacija kod biorazgradivih robota i ekološke primjene  
Ekološki prihvatljivi roboti napravljeni od biorazgradivih biomaterijala i biouređaja postaju sve popularniji u zaštiti okoliša i istraživanju ekosustava.

Biorazgradivi roboti za čišćenje okoliša

- roboti napravljeni od biorazgradivih polimera koriste se za prikupljanje otpada iz okeana ili tla,

Robotski uređaji za monitoring ekosistema

- biomaterijalni senzori omogućuju robotima da prikupljaju podatke o kvaliteti vode, zraka i tla bez ugrožavanja okoliša.

- Implementacija kod humanoidnih robota

Sve se više oslanja na biomaterijale i biouređaje kako bi njihova struktura i funkcionalnost što više nalikovala ljudima.

Napredna biološka imitacija

- silikonska i hidrogelna koža omogućava realističan izgled i taktilnu osjetljivost,

- biomimetički mišići i zglobovi napravljeni od polimera koji reagiraju na električne impulse omogućuju robotima realističnije pokrete.

Neuronski interfejsi i umjetni živčani sistemi

- biomaterijali koji se koriste za razvoj umjetnih neurona i sinapsi omogućuju humanoidnim robotima poboljšanu interakciju s ljudima.

- Implementacija kod industrijske robotike

Uposljednijim godinama industrijski roboti sve više koriste biomaterijale i biouređaje kako bi poboljšali sigurnost i učinkovitost u proizvodnim procesima.

Sigurniji roboti u proizvodnim linijama

- mekani roboti napravljeni od elastičnih biomaterijala smanjuju rizik od ozljeda radnika u industriji.

Biomaterijali u automatizaciji

- samoprilagodljive hvataljke od biomaterijala koriste se za manipulaciju osjetljivim predmetima, npr. u prehrambenoj industriji.

Biomaterijali i biouređaji imaju sve veću primjenu u robotici, omogućujući razvoj fleksibilnih, ekološki prihvatljivih i inteligentnih robotskih sistema. Od medicinskih uređaja i humanoidnih robota do ekoloških rješenja i industrijske automatizacije, njihova prisutnost mijenja način na koji roboti funkcioniraju i interagiraju s ljudima i okolinom. Zaključno, biomaterijali i biouređaji donose nove mogućnosti u razvoju robota, omogućujući im prirodnu interakciju s okolinom i ljudima. Iako izazovi ostaju, potencijal za unapređenje robotskih sistema u medicini, industriji i zaštiti okoliša čini ovu

temu iznimno važnom za budućnost robotike. Daljnji razvoj biomaterijala otvorit će nove mogućnosti za još sofisticiranije robotske sistema u budućnosti.

## 6. ZAKLJUČAK

Biomaterijali i biouređaji sve više igraju ključnu ulogu u razvoju naprednih robotskih sistema, omogućujući stvaranje inteligentnih, fleksibilnih i ekološki održivih rješenja. Ova simbioza biologije i robotike predstavlja značajan iskorak u tehnologiji, pružajući nove mogućnosti u medicini, industriji, poljoprivredi i drugim sektorima. Jedan od najvažnijih aspekata ove sinergije je fleksibilnost koju biomaterijali pružaju. Tradicionalni roboti, često izrađeni od krutih materijala, imaju ograničenu sposobnost prilagodbe kompleksnim okruženjima. Suprotno tome, biomaterijali inspirirani prirodnim strukturama omogućuju stvaranje robota koji mogu mijenjati oblik, rastezati se i prilagođavati različitim površinama. Takvi roboti, poznati kao mekani roboti, revolucioniraju pristup automatizaciji i interakciji s okolinom. Osim fleksibilnosti, biomaterijali doprinose i održivosti robotskih sistema. Korištenjem biološki razgradivih i obnovljivih materijala, smanjuje se ekološki otisak robotskih uređaja. Ovo je posebno važno u kontekstu globalnih napora za smanjenje otpada i očuvanje prirodnih resursa. Ekološki prihvatljivi roboti ne samo da doprinose smanjenju zagađenja već i promoviraju održive tehnološke inovacije. Inteligencija robotskih sistema također je znatno unaprijeđena zahvaljujući biouređajima. Senzori inspirirani biološkim sistemima, poput umjetnih mišića i živčanih mreža, omogućuju robotima da efikasnije percipiraju okolinu i prilagode svoje ponašanje u realnom vremenu. Ovi napredni senzorski sistemi omogućuju visok nivo autonomije, što je od ključne važnosti za primjene u medicinskoj robotici, gdje su preciznost i sigurnost prioriteti. Uprkos značajnim postignućima, izazovi ostaju, posebno u pogledu integracije biomaterijala s postojećim tehnološkim rješenjima i osiguravanja dugoročne stabilnosti i pouzdanosti. Istraživači se suočavaju s problemima kao što su biokompatibilnost i kontrola degradacije materijala, što zahtijeva daljnje eksperimente i inovativne pristupe. U budućnosti se očekuje daljnji razvoj biomimetičkih robotskih sistema sa sve većom primjenom u regenerativnoj medicini, industrijskoj automatizaciji i zaštiti okoliša. Kombinacija biološke inspiracije i napredne tehnologije nastavit će transformirati robotske sisteme pružajući efikasnije, sigurnije i ekološki prihvatljivije alternative tradicionalnim rješenjima. Zaključno, biomaterijali i biouređaji predstavljaju temelj nove generacije robota koji su inteligentni, prilagodljivi i održivi. Njihova primjena omogućuje razvoj robotskih sistema koji su sposobni rješavati kompleksne izazove modernog društva, potičući tehnološki napredak i održiv razvoj.



# BIOMATERIALS AND BIODEVICES AS DRIVERS OF PROGRESS IN ROBOTICS: DEVELOPMENT OF INTELLIGENT, FLEXIBLE AND ENVIRONMENTALLY SUSTAINABLE ROBOTIC SYSTEMS

**Summary:** Over the past decade, the development of robotics has increasingly relied on biomaterials and biodevices to create intelligent, flexible, and environmentally sustainable robotic systems. Traditional robots, primarily made of metal and plastic, face limitations in adaptability, energy efficiency, and environmental interaction. The introduction of biomaterials—such as biodegradable polymers, hydrogels, and bioinspired composites—enables the construction of robots that are softer, lighter, and more adaptable to diverse environments. Biodevices, including bioelectronic sensors, biologically inspired actuator systems, and neural interfaces, play a crucial role in enhancing robotic functionality. These components allow robots to perceive and respond to environmental changes, granting them greater autonomy and interactivity. Integrating biological elements into robotic systems not only improves their performance but also reduces their ecological footprint, as biomaterials often allow for decomposition and recycling. Biomimetic approaches, inspired by organisms in nature, open new avenues for developing robots capable of self-healing, regeneration, and adaptation to extreme conditions. These innovations are already being explored in fields such as medical robotics, soft robotics, industrial automation, and space exploration. This paper explores the potential of biomaterials and biodevices in robotics by analyzing recent advancements, benefits, and challenges in their application. Through the examination of innovative solutions, the paper highlights how these technologies can transform the future of robotics and enable the development of sustainable, intelligent, and adaptable robotic systems.

**Keywords:** biomaterials, biodevices, intelligent robots, ecological sustainability, flexible robotic systems

## Literatura

1. KarabegovićI., Banjanović-MehmedovićL.,(Ed.) 2021 , INDUSTRIAL ROBOTS:Desing, Application and Technology, NOVA Science Publisher, New York, USA, USA ISBN: 978-1-53617-779-4; pp.1-26.<https://novapublishers.com/>
2. KarabegovićI., Banjanović-MehmedovićL.,(Ed.) 2021 , SERVICE ROBOTS: Advances in Research and Application, NOVA Science Publisher, New York, USA, USA ISBN: 978-1-53619-573-6; pp.12-28.<https://novapublishers.com/>
3. Rakovića D., Uskokovića D.: Biomaterijali(Biomaterials) , ITN-SANU, 2010, pp 10-36.
4. TiwariA., NordinN. A.,(Edit.),Advanced Biomaterials and Biodevices,Scrivener Publishing LLC. .2014 , pp.3-30.<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9781118774052>
5. Todros, S.; Todesco, M.; Bagnò, A. Biomaterials and Their Biomedical Applications: From Replacement to Regeneration. *Processes* 2021, 9, 1949. <https://doi.org/10.3390/pr9111949>
6. Tathe, A., Ghodke, M., Nikalje, A.P., “A Brief Review: Biomaterials And Their Application”. *International Journal Of Pharmacy And Pharmaceutical Sciences* , V.2, Pp.19 23, 2010.
7. Bianchi, M.; Carnevale, G. Micro- and Nanostructured Biomaterials for Biomedical Applications and Regenerative Medicine. *Nanomaterials* 2024, 14, 1845. <https://doi.org/10.3390/nano14221845>
8. KarabegovićI., Banjanović-Mehmedović L., HusakE.and OmerM.,2023,Trend of implementing service robots in medical institutions during the COVID-19 pandemic: A review,Book: Medical and Healthcare Robotics, Editor:OlfaBoubaker, ,Publisher Elsevier Inc. pp: 237-263 ISBN: 978-0-44318-460-4, <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18460-4.00001-9>
9. Miljana Z. Rubežić, Aleksandra B. Krstić, Hristina Z. Stanković, Radomir B. Ljupković, Marjan S. Randelović, Aleksandra R. Zarubica, DIFFERENT TYPES OF BIOMATERIALS: STRUCTURE AND APPLICA-

- TION: A SHORT REVIEW , *Advanced technologies*, 9(1) (2020) 69-79, UDC 66.017/018:615.46, [https://www.researchgate.net/publication/342893716\\_Different\\_types\\_of\\_biomaterials\\_Structure\\_and\\_application\\_A\\_short\\_review](https://www.researchgate.net/publication/342893716_Different_types_of_biomaterials_Structure_and_application_A_short_review)
10. Tokareva O, Jacobsen M, Buehler M, Wong J, Kaplan D, Structure–function–property–design interplay in biopolymers: Spider silk, *Acta Biomaterialia*, 10 (2014) 3036-3041. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/DOI: 10.1016/j.actbio.2013.08.020>
  11. Niinomi, M. Recent metallic materials for biomedical applications. *Metall Mater Trans A* 33, 477–486 (2002). <https://doi.org/10.1007/s11661-002-0109-2>
  12. Niinomi, M., Liu, Y., Nakai, M., Et Al., “Biomedical Titanium Alloys With Young’s Moduli Close To That Of Cortical Bone”, *Regenerative Biomaterials*, Pp.173–185, 2016.<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/DOI: 10.1093/rb/rbw016>
  13. Karabegović I., 2021, Distribution and Implementation of Service Robotic Systems in Medicine,(in English, pages 41), Book: SERVICE ROBOTS: Advances in Research and Application , NOVA Science Publisher, New York, USA, pp.165-205., <https://novapublishers.com/shop/service-robots-advances-in-research-and-applications/>
  14. Banjanovic-Mehmedovic, L.,Karabegović I., Jahic, J., Omercic, M.,2021, Optimal path planning of a disinfection mobile robot against COVID-19 in a ROS-based research platform, *Journal Advances in Production Engineering & Management*Vol. 16, |Nu. 4.2021 | pp 405–417 ; <https://apem-journal.org>;<https://doi.org/10.14743/apem2021.4.409>
  15. International Federation of Robotics, “Executive Summary World Robotics 2014 Industrial Robots.”2014. [Online]. Available: [https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive\\_Summary\\_WR\\_Industrial\\_Robots\\_2024.pdf](https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive_Summary_WR_Industrial_Robots_2024.pdf)
  16. IFR, “World Robotics Report: ‘All-Time High’ with Half a Million Robots Installed in one Year,” IFR International Federation of Robotics.<https://ifr.org/ifr-press-releases/news/wr-report-all-time-high-with-half-a-million-robots-installed> [Accessed; Mar. 26, 2024].
  17. Bill, M., Müller, C., Kraus, W., and Bieller, S.,: World Robotics Report 2023, Frankfurt 2023. [Online]. Available: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/world-robotics-2023-report-asia-ahead-of-europe-and-the-americas>
  18. International Federation of Robotics, “Executive Summary World Robotics 2023 Industrial Robots.”2023. [Online]. Available: [https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive\\_Summary\\_WR\\_Industrial\\_Robots\\_2022.pdf](https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive_Summary_WR_Industrial_Robots_2022.pdf)
  19. International Federation of Robotics, “Executive Summary World Robotics 2024 Industrial Robots.”2024. [Online]. Available: [https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive\\_Summary\\_WR\\_Industrial\\_Robots\\_2024.pdf](https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive_Summary_WR_Industrial_Robots_2024.pdf)
  20. International Federation of Robotics, “Executive Summary World Robotics 2024 Service Robots.”2024. [Online]. Available: [https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive\\_Summary\\_WR\\_Service\\_Robots\\_2024.pdf](https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive_Summary_WR_Service_Robots_2024.pdf)
  21. Rezaie, H.R., Bakhtiari, L., Öchsner, A. (2015). Application of Biomaterials. In: Biomaterials and Their Applications. SpringerBriefs in Materials. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-17846-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-17846-2_2)
  22. Nasab, M.B., Hassan, M. R., Sahari, B.B., “Metallic Biomaterials Of Knee And Hip - A Review”, *Trends Biomater. Artif. Organs*, V.24, N.2, Pp.69-82, 2010.<https://www.researchgate.net/publication/279700648>
  23. [https://riannakalra.medium.com/When Nanotech Meets Water!. So I just read about how we can purify... | by Rianna Kalra | Medium](https://riannakalra.medium.com/When-Nanotech-Meets-Water!-So-I-just-read-about-how-we-can-purify...-by-Rianna-Kalra-Medium), [Accessed: Mar.12,2025]
  24. <https://www.freepik.com/>, [Accessed: Mar.18,2025]
  25. <https://www.freepik.com/>, Molecular structure design | Premium AI-generated image, [Accessed: Mar.24,2025]
  26. <https://www.slideserve.com/>,Material Applications in Dentistry, [Accessed: Feb.26,2025]
  27. <https://journalfatosnoticias.com/index.php/d/2021/12> Luzimara Fernandes,Descoberta sobre o grafeno pode fornecer memória super-rápida para computadores - Jornal Fatos e Notícias, [Accessed: Feb.26,2025]
  28. [https://www.harrisarkwaydental.com/Dental Implants Fort Worth, TX | Missing Teeth Replacement | Dental Implant Cost ,](https://www.harrisarkwaydental.com/Dental-Implants-Fort-Worth-TX-Missing-Teeth-Replacement-Dental-Implant-Cost-) , [Accessed: Apr..04,2025]
  29. <https://www.hawkins.biz/insight/an-analysis-of-failed-biomaterials/>,An Analysis of Failed Biomaterials, [Accessed: Apr..04,2025]
  30. Altman G H, Diaz F, Jakuba C, Calabro T, Horan RL, Chen J, Lu H. Richmond J, Kaplam DL. Silk-based biomaterials, *Biomaterials* 24 (2003) 401-416. <https://www.sciencedirect.com/>
  31. Kapoor S, Kundu S, Silk protein-based hydrogels: Promising advanced materials for biomedical applications, *Acta Biomaterialia*, 31( 2016) 17-32. <https://www.sciencedirect.com/>
  32. Karabegović I., Doleček V., Mobile Robotics,Raghvendra Kumar– Editor(s), Detecting and Mitigating Robotic Cyber Security Risks (in English, pages 29), Published: IGI Global, Hershey PA, USA,

- ISBN 9781522521549-hardcover; ISBN 9781522521556-ebook,pp.232-261, 2017; www.igi-global.com.
33. Karabegović I., Doleček V., The Role of Service Robots and Robots Systems in the tretment of patients in Medical Institutions,Kacprzyk Janusz – Editor(s),Lecture Notes in networks and Systems,Vol.3, (ISSN 2367-3370) Book: Advanced Technologies, Systems and Applications, Editor(s).M.Hadžikadić, (in English,18 pages), Published: SPRINGER, Deutschland,pp.9-27, 2016, www.springer.com; DOI 10.1007/978-3-319-47295-9\_2.
  34. VasilevichA. , Jan de Boer, Robot-scientists will lead tomorrow's biomaterials discovery, Current Opinion in Biomedical Engineering,Volume 6, June 2018, Pages 74-80, <https://doi.org/10.1016/j.cobme.2018.03.005>
  35. Han S., Wu J. , Artificial intelligence (AI) meets biomaterials and biomedicine,Smart Materials in Medicine,Volume 5, Issue 2, June 2024, Pages 251-255,<https://doi.org/10.1016/j.smaim.2024.03.001>
  36. <https://www.bug.hr/istrazivanje/bionicke-oci-veliki-iskorak-u-razvoju-sljedece-generacije-umjetnih-pomagala-za-25265>,[Accessed: Apr.05,2025]
  37. <https://www.bug.hr/istrazivanje/biosenzori-na-bazi-ugljika-citaju-naredbe-iz-mozga-i-salju-ih-robotima-24903>, [Accessed: Apr.05,2025]
  38. [https://www.antena3.ro/Un "bandaj inteligent" cu biosenzori ar putea ajuta la vindecarea rănilor cronice | Cine îl poate folosi | Antena 3 CNN](https://www.antena3.ro/Un%20bandaj%20inteligent%20cu%20biosenzori%20ar%20putea%20ajuta%20la%20vindecarea%20r%C4%99nilor%20cronice%20Cine%20%C4%99%20poate%20folosi%20Antena%203%20CNN),[Accessed: Apr.10,2025]
  39. [https://www.bug.hr/Sviranje klavira jača moć obrade podataka i smanjuje depresiju, stres i anksioznost - Istraživanje @ Bug.hr](https://www.bug.hr/Sviranje%20klavira%20ja%C4%87a%20mo%C4%87%20obrade%20podataka%20i%20smanjuje%20depresiju%20stres%20i%20anksioznost%20Istra%C4%97ivanje%20Bug.hr), [Accessed: Apr.12,2025]
  40. [https://nilemed-uae.com/Trutrace EMG – Nilemed UAE](https://nilemed-uae.com/Trutrace%20EMG%20-%20Nilemed%20UAE), [Accessed: Apr.12,2025]
  41. [https://www.eurekaalert.org/Transcranial optogenetic devic \[IMAGE\] | EurekaAlert! Science News Releases](https://www.eurekaalert.org/Transcranial%20optogenetic%20devic%20IMAGI), [Accessed: Apr.18,2025]
  42. <https://association-dmla.org/dmla-seche-les-espoirs-de-la-retine-artificielle/>, [Accessed: Apr.18,2025]
  43. AmbrogioV., CiarnelliV., NocchettiM., PerioliL., RossiC., Effect of hydrotalcite-like compounds on the aqueous solubility of some poorly water-soluble drugs, Journal of the Pharmaceutical Science 73 (2009) 285–91. <https://doi.org/10.1002/jps.10411>
  44. Kamachimudali, U., Sridhar, T.M. & Raj, B. Corrosion of bio implants. Sadhana 28, 601–637 (2003). <https://doi.org/10.1007/BF02706450>
  45. Albrektsson, T., Branemark, P.I., Et Al., “Osseointegrated Titanium Implants. Requirements For Ensuring A Long-Lasting, Direct Bone-To-Implant Anchorage In Man”, ActaOrthopaedicaScandinavica, V.52, Pp.155–170, 1981.<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>, DOI: 10.3109/17453678108991776
  46. Karabegović I., Banjanović-Mehmedović L., Husak E., 2023,Using Service Robots as the Base Technology of Industry 4.0 for Global Management of the Covid-19 Pandemic, Springer Nature Switzerland AG 2024, A. Badnjević and L. Gurbeta Pokvić (Eds.): MEDICON 2023/CMBEBIH 2023, 94, pp. 479–492, 2024. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-49068-2\\_50](https://doi.org/10.1007/978-3-031-49068-2_50)
  47. Karabegović I.,KarabegovićE., 2020, Smart Sensors: Suport for the Implementation of Industry 4.0 in Production Procesess,(in English, pages 17),Book: Integration Industry 4.0 in Business and Manufacturing,Published: IGI Global, Hershey PA, USA,pp.147-163. <https://www.igi-global.com/gateway/book/222291>
  48. Zafar M, Al-Samadani K. Potential use of natural silk for bio-dental applications, Journal of Taibah University Medical Science, 9. 2014,pp,171-177.<https://www.sciencedirect.com/>
  49. Ebrahimi, M., “Biomaterials Application In Therapeutic And Regenerative Medicine From The Perspective Of Patients' Faith”, Biomedical Journal Scientific & Technical Research, V.1, N.7, 2018.<https://biomedres.us/>, DOI: 10.26717/BJSTR.2018.08.001707
  50. <https://www.capttechu.edu/blog/exoskeletons-promising-development-construction-site-safety>, [Accessed: Apr.16,2025]
  51. <https://www.constructionnews.co.uk/tech/willmott-trials-robotic-exoskeleton-vest-on-live-site-04-10-2018/>,[Accessed: Apr.16,2025]
  52. <https://www.workhealthyaustralia.com.au/exoskeletons-key-reducing-work-related-musculoskeletal-disorders/>,[Accessed: Apr.16,2025]
  53. <https://www.neoteo.com/Haptikos>, de Nokia: teclados virtuales, sensaciones reales – NeoTeo, [Accessed: Apr.18,2025]
  54. Albustanji, R.N.; Elmanaseer, S.; Alkhatib, A.A.A. Robotics: Five Senses plus One—An Overview. Robotics 2023, 12, 68. ,<https://doi.org/10.3390/robotics12030068>, [Accessed: Apr.18,2025]
  55. <https://www.sliceofhealth.in/>, 4 Tech Advancements That Promise Great News For Healthcare In 2017, [Accessed: Apr.24,2025]





## **BIOGRAFIJE / ŽIVOTOPISI AUTORA**

**ALENDAR Mirza** rođen je 26. 3. 1995. u Münsteru, Njemačka. Magistar je građevinarstva s fokusom na upravljanje okolišnom infrastrukturom, trenutno uključen u master studij na Univerzitetu "Džemal Bijedić" u Mostaru. Ima više od sedam godina međunarodnog iskustva kao građevinski inženjer, s naglaskom na projekt menadžment, procjenu troškova i uticaja na okoliš. Radio je za američku firmu Ergeon Inc., gdje je kroz različite inženjerske i menadžerske pozicije učestvovao u razvoju rješenja za različite vrste građevinskih objekata. Certificiran je od strane Autodesk-a za napredni rad u programima AutoCAD i Revit. Aktivno učestvuje u konferencijama i projektima vezanim za digitalizaciju i održivi razvoj, a tečno govori engleski jezik. Redovni je učesnik radionica i razmjena u sklopu Erasmus+ programa za edukaciju.

**ARAPOVIĆ Martina** rođena 7. 9. 1999. godine u Mostaru. Osnovnu i srednju školu završila u Mostaru. Fakultetsko obrazovanje završila na Agronomskom i prehrambeno-tehnološkom fakultetu SUM-a, smjer prehrambeno inženjerstvo. Tijekom studiranja, nagrađena sa 3 dekanove, rektorovom i federalnom nagradom za najboljeg studenta. Zaposlena na Agronomskom i prehrambeno-tehnološkom fakultetu u Mostaru kao asistent na više modula. Posebno se ističe rad na ispitivanju fizičko-kemijskih i mikrobioloških svojstava fermentiranih proizvoda, istraživanju bioaktivnih spojeva u području prehrambene znanosti. Autor je i koautor sljedećih znanstvenih publikacija: The impact of production techniques on the physicochemical properties, microbiological, and consumer's acceptance of milk and water kefir grain-based beverages, *Fermentation*, 10(1), 2, 2023.; New Insights in Prebiotic Utilization: A Systematic Review, *Processes*, 12(5), 867, 2024.; Artificial intelligence innovation in functional food ingredient discovery, *Artificial Intelligence in Bosnia and Herzegovina*, 300, 132–140.

**BALTA Ivan** je stekao je visoko obrazovanje i završio doktorske studije u Hrvatskoj i inozemstvu, a iz područja humanističkih, društvenih i lingvističkih (klasičnih) jezika. Temeljna su obrazovanja bila iz historije, filozofije, metodike, metodologije znanosti, latinskog jezika. Bio je zaposlen u gimnazijama - srednjim školama (prvih 5 godina), Zavodu za prosvjetno-pedagošku službu Republike Hrvatske (12 godina), Filozofskom Pedagoškom fakultetu i Fakultetu za odgoj i obrazovanje Sveučilišta u Osijeku (22 godine), zatim na Filozofická fakulta Trnavska univerzita (Slovačka, 8 godina), a honorarno radio na sveučilištima u Zadru (5 godina), Zagrebu (2 godine), Tuzli (20 godina), Bihaću (4 godine), Mostaru (2 godine), itd. kao i na raznim univerzitetima u inozemstvu, npr. u Mađarskoj, Makedoniji, Srbiji te nekim srednjoevropskim zemljama. Stjecao je znanstveno-nastavna zvanja na sveučilištima u Osijeku, Zadru, Zagrebu i Mostaru te u Ministarstvu znanosti i visokog obrazovanja RH, a od docenta, izvanrednog profesora, redovnog profesora, redovnog profesora u trajnom zvanju, profesora emeritusa. Napisao je desetak znanstvenih knjiga, desetak sveučilišnih priručnika, jedan Latinsko-bosanski i bosansko-latinski rječnik, kao i oko tristotinjak objavljenih originalnih znanstvenih radova u znanstvenim časopisima, a u 15-ak znanstvenih časopisa bio je član uredništva. Sudjelovao je i imao desetak znanstvenih projekata te bio u više vijeća, odbora, komisija za reformu visokoškolskog obrazovanja u Ministarstvu znanosti i obrazovanja u HR i BiH, kao i u komisijama unapređivanja nastavnika u znanstveno-nastavnim zvanjima, kategorizaciji časopisa te akreditacijama sveučilišta. Predavao je i predaje na osnovnim, master i doktorskim studijima u zemlji i inozemstvu te sudjeluje po pozivima na znanstvenim konferencijama.



**BANOŽIĆ Marko** rođen je 1982. u Mostaru, nastanjen u Širokom Brijegu, oženjen, otac troje djece. Osnovnu i srednju školu završio u Širokom Brijegu, te kao maturant širokobriješke gimnazije objavio zbirku pjesama *Sjene noći*. Diplomirao na Sveučilištu u Mostaru 2005. godine, a 2007. godine diplomirao na Policijskoj akademiji u Sarajevu. Na poslijediplomskom studiju Jezici i kulture u kontaktu Sveučilišta u Mostaru 2010. godine obranio znanstveni magistarski rad i stekao akademski stupanj magistra znanosti. Doktorsku disertaciju obranio 12. prosinca 2022. godine na Filozofskom fakultetu Sveučilišta u Mostaru i stekao akademski stupanj doktora znanosti na informacijsko-komunikacijskom polju. Predavač na studiju Kriminalistike i sigurnosnog menadžmenta Pravnog fakulteta Sveučilišta u Mostaru. Od 2007. godine zaposlenik Ministarstva unutarnjih poslova Županije Zapadnohercegovačke. Autor je više znanstvenih i stručnih radova iz područja sigurnosti, komunikologije i medija. Sudionik je znanstvenih i stručnih skupova u zemlji i inozemstvu.

**BARAKOVIĆ NURIKIĆ Mirnesa**, doktor društvenih nauka iz područja ekonomije, rođena 24. 1. 1987. u Tuzli. Završila Gimnaziju „Dr. Mustafa Kamarić“ s učešćem na brojnim matematičkim takmičenjima. Ekonomski fakultet Univerziteta u Tuzli upisala 2005./2006., a kao najbolja u generaciji (smjer Računovodstvo i finansije) diplomirala 2009. s najvišom ocjenom. Dobitnica četiri srebrene plakete za prosjek 10 i Zlatne plakete Univerziteta u Tuzli. Postdiplomski studij na Ekonomskom fakultetu (Finansije, bankarstvo i osiguranje) završila 2012. kao prvi magistrant generacije, s prosjekom 10. Doktorski studij (Međunarodna ekonomija) upisala 2019./2020, sve obaveze završila s prosjekom 10, a disertaciju „Međuovisnost finansijske integracije i ekonomske stabilnosti malih otvorenih zemalja“ odbranila 3.11.2023. Položila je pedagoško-metodičku grupu predmeta i stručni ispit za profesora ekonomske grupe predmeta. Posjeduje certifikate iz oblasti statističkih alata i ECDL, aktivno govori engleski jezik. Profesionalno iskustvo stekla u javnom i privatnom sektoru (Općina Gračanica, Hypo Alpe-Adria-Bank, Univerzitet u Tuzli). Od 2012. angažovana kao spoljni saradnik-asistent, od 2018. viši asistent, a od 24. 2. 2025. kao spoljni saradnik-docent na Ekonomskom fakultetu Univerziteta u Tuzli (Međunarodna ekonomija). Autor/koautor jedne univerzitetske knjige i brojnih naučnih radova, te učesnica više konferencija.

**BANJANOVIĆ-MEHMEDOVIĆ Lejla** je vanredna profesorica na užoj naučnoj oblasti Automatika i robotika na Fakultetu elektrotehnike Univerziteta u Tuzli. Diplomirala je i magistrirala na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Sarajevu. Profesionalnu karijeru započela je u kompaniji Energoinvest – Kibernetika, gdje je radila kao inženjer razvoja softverskih rješenja za nadzor i upravljanje industrijskim postrojenjima i termoelektranama. Magistarski rad pod nazivom „Jedan algoritam kompleksne robotske montaže pomoću specijalno podešenih vibracija“ odbranila je 1999., dok je doktorsku disertaciju „Autonomous mobile robots localization in large indoor environments by using ultrasound range sensors“ odbranila 2006. na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu. Profesorica Banjanović-Mehmedović je autorica jednog univerzitetskog udžbenika, tri naučne knjige na engleskom jeziku objavljene u Sjedinjenim Američkim Državama, kao i osam poglavlja u naučnim knjigama. Objavila je više od 70 naučnih radova u časopisima i zbornicima međunarodnih konferencija, te je učestvovala ili vodila 33 naučna i istraživačka projekta, kako na nacionalnom, tako i na međunarodnom nivou. Održala je 24 pozvana predavanja na univerzitetima i naučnim institucijama u zemlji i inostranstvu. Takođe, bila je recenzent za više rukopisa knjiga,

te ima veliki broj naučnih radova za renomirane međunarodne časopise i konferencije. Dobitnica je više priznanja, među kojima se izdvajaju Soroš nagrada za akademsku izvrsnost, kao i dvije IEEE nagrade za najbolje naučne radove. Aktivna je članica međunarodnih stručnih tijela i organizacija, uključujući IEEE, kao i različite odbore Evropske komisije unutar FP7, HORIZON 2020 i Horizon Europe (2021. – 2027.), posebno u oblastima strateškog planiranja za industriju, digitalne tehnologije i svemirska istraživanja.

**BEŠIĆ Vedad** rođen je 26. 1. 2000. u Maoči. Osnovno obrazovanje završio 2015. u Čeliću, a iste godine upisuje Srednju tehničku školu u Brčkom, smjer tehničar za mehatroniku. 2019. upisuje Mašinski fakultet u Tuzli, odsjek Mehatronika, te 2023. godine boravi na programu razmjene studenata na Univerzitetu primijenjenih nauka u Kelnu (Njemačka), gdje učestvuje u međunarodnim studentskim projektima i timskim radovima. Godine 2024. završava bachelor rad na temu „Automatizirani sistem za navodnjavanje biljaka“ i stiče zvanje inženjera mašinstva. Nakon toga radi kao tehnolog za programiranje CNC mašina u firmi TMD Mibo u Brčkom, a od 2025. je asistent na Mašinskom fakultetu u Tuzli na oblasti opšte mašinstvo. Pored tehničkih interesa, bavi se poljoprivredom, posebno uzgojem jagoda.

**BERNADIĆ Alen** je rođen 6. ožujka 1971. u Mostaru (BiH) gdje je završio osnovnu i srednju školu (Stara Gimnazija Mostar, smjer Programer). Stekao je iskustvo na praktičnim poslovima poslovne informatike, računalnih mreža i relacijskih baza podataka za vrijeme angažmana u HVO-u i MUP-u HZ HB. Diplomirao je 19. 11. 1999. na Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu, smjer Elektroenergetika. Naslov teme diplomskog rada je bio “Numerički model širenja putnog vala metodom konačnih elemenata”. Od 1999. je zaposlen u Elektroprijenosu BiH na poslovima relejne zaštite, proračuna parametara za elektroenergetska postrojenja, mjerne tehnike i poslova razvoja. Trenutačno u Elektroprijenosu BiH obnaša funkciju rukovoditelja Sektora za planiranje i inženjering Operativnog područja Mostar. Stručni ispit iz elektrotehnike/elektroenergetike položio je 2004. sa stručnim radom “Tehničko rješenje sustava zaštite i upravljanja u transformatorskoj stanici TS 20/10 kV, 4 MVA Kupres”. Poslijediplomski doktorski studij Elektrotehnike i informacijske tehnologije upisao je 2006. na Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu. Doktorsku disertaciju naziva “Modeliranje prijelaznih pojava na višezičnom vodu s frekvencijski ovisnim parametrima” obranio je 10. svibnja 2013. Od 2014. je u zvanju znanstvenog suradnika na Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje (FESB) u Splitu, a od 2019. u zvanju docenta na Fakultetu elektrotehnike na FSRE Sveučilišta u Mostaru i nositelj predmeta “Elementi električnih postrojenja”. Do sada je objavio više od dvadeset i pet znanstvenih radova. Autor je i koautor više elaborata/studija za priključak obnovljivih izvora električne energije na distribucijsku ili prijenosnu mrežu. Član je programskog komiteta IEEE međunarodne konferencije International Conference on Environment and Electrical Engineering te recenzent više znanstvenih radova. Član je radne grupe za elektromagnetska zračenja u okviru Cigrea BiH i instituta za standardizaciju BiH. Državljanin je Bosne i Hercegovine i Republike Hrvatske.

**BERBEROVIĆ Denis** vanredni je profesor na Katedri za marketing Ekonomskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu. Predsjednik je Savjeta za nauku Federalnog ministarstva obrazovanja i nauke. Voditelj je globalne studije o skrivenim šampionima u zemljama u razvoju. Autor je brojnih naučnih radova i poglavlja objavljenih u domaćim i međunarodnim publikacijama. Potpisuje i autorstvo tri knjige iz oblasti marketinga. Jedan je od autora studije Lokalnog ekonomskog razvoja općina u Kantonu Sarajevo koju je sprovedla Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine.

**ČAJIĆ Elvir** rođen je 1986. godine u Tuzli. Prvobitno obrazovanje stekao je na Fakultetu elektrotehnike u Tuzli, gdje je završio studij tehničkog odgoja i informatike. Dalji akademski put nastavio je na master studiju iz matematike i fizike, a trenutno je doktorand iz oblasti matematike i fizike. Zaposlen je u osnovnoj školi „Prokosići“ u Lukavcu, kao i u Područnoj školi „Kiseljak“ u Tuzli. Ima preko deset godina nastavnog iskustva, tokom kojih je predavao matematiku, fiziku, informatiku i tehničku kulturu u osnovnim i srednjim školama. Njegova istraživačka interesovanja uključuju neuronske mreže, stohastičke procese, numeričke metode, simulaciju, digitalne alate u obrazovanju i predikciju ekoloških sistema. Posebnu pažnju posvećuje razvoju hibridnih modela koji povezuju klasične matematičke pristupe s algoritmima vještačke inteligencije. Autor je i koautor više od 90 naučnih i stručnih radova objavljenih u relevantnim domaćim i međunarodnim publikacijama. Njegov Google Scholar profil dostupan je na: <https://scholar.google.hr/citations?user=GFBVs1QAAAAJ&hl=hr>. Dobitnik je međunarodnog priznanja Microsoft Innovative Educator (MIE) Expert i posjeduje više od 1000 certifikata iz oblasti digitalnih tehnologija i savremene edukacije. Učestvuje u domaćim i međunarodnim naučnim konferencijama i edukativnim projektima, te kontinuirano doprinosi razvoju STEM obrazovanja i digitalne transformacije školstva.

**ČORIĆ Ivica** suosnivač je i direktor softverske tvrtke "Hera" iz Mostara s više od dva desetljeća iskustva u razvoju i implementaciji poslovnih informacijskih sustava. Također, radi kao docent na Filozofskom fakultetu Sveučilišta u Mostaru.

**DEMIROVIĆ Azelma** završila je Osnovnu školu i srednju Gimnaziju „Musa Ćazim Ćatić“ u Tešnju. Diplomirala i magistrirala na Fakultetu elektrotehnike u Tuzli, odsjek energetski i stekla zvanje Magistar elektrotehnike. Dugogodišnji volonter Crvenog križa. Dvije godine bila predsjednica mladih Crvenog križa općine Tešanj i učesnik je mnogih radionica i kampova za mlade. Također bila član EESTEC-a (Electrical Engineering Students' European Association). Trenutno zaposlena u MANN+HUMMEL BA d.o.o. Posjeduje certifikat Energy manager u sklopu programa EUREM (European Energy Manager).

**DRAKULIĆ Una** je rođena 17. 2. 1994. godine u Bihaću. Nakon gimnazije, 2012. godine upisala je Tehnički fakultet u Bihaću, smjer Elektrotehnika, kojeg završava u roku te dobija zvanje bachelora elektrotehnike, diplomiranog inženjera informatike. Master studije upisuje na Fakultetu elektrotehnike u Tuzli, kojeg završava u roku, 2020. godine i dobija zvanje magistar elektrotehnike. Doktorski studij upisala je 2021. godine na Tehničkom fakultetu na Univerzitetu u Bihaću, na odsjeku za elektrotehniku i računarstvo, gdje trenutno privodi studije kraju radeći na doktorskoj tezi. Od završetka I. ciklusa

studija, 2017. godine, zaposlena je na Tehničkom fakultetu, na kojem je napredovala, te je trenutno na poziciji višeg asistenta na odsjeku elektrotehnike, na užoj naučnoj oblasti za Automatiku i elektroniku. Do sada je objavila preko 25 naučnih radova u raznim naučnim časopisima, konferencijama i poglavlja u naučnim knjigama, te je i sama, sa svojim mentorom i radnim kolegom van.prof.dr. Edinom Mujčićem objavila dva univerzitetska udžbenika koja se aktivno koriste u nastavi na Tehničkom fakultetu, Digitalna elektronika i PYTHON programski jezik.

**DUZIĆ Ajna** je master student na Ekonomskom fakultetu Univerziteta u Sarajevu gdje trenutno svoje studije privodi kraju. Učestvovala je u izradi studije Lokalnog ekonomskog razvoja općina u Kantonu Sarajevo koju je sprovedla Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine. Jedan semestar provela je kao studentica na razmjeni na Ekonomskom fakultetu u Splitu (Hrvatska) gdje se kroz predmet Upravljanje pametnim gradovima upoznala sa ovom tematikom, te zainteresovala za mogućnosti implementacije ovih projekata u Sarajevu. Tokom studiranja, obavljala je studentske prakse u Lyonu (Francuska) i Düsseldorfu (Njemačka), te stekla dodatno međunarodno iskustvo.

**DŽAJIĆ Anica**, magistra medicinsko laboratorijske dijagnostike, rođena 1981. godine u Sarajevu, živi i radi u Zagrebu, majka jednog djeteta. Diplomirala 2016. na Fakultetu zdravstvenih studija u Rijeci, trenutno pohađa Interdisciplinarni doktorski studij Molekularne bioznanosti u Osijeku i Sveučilišni specijalistički studij Molekularne dijagnostike na Farmaceutsko-biokemijskom fakultetu u Zagrebu. Zaposlena u Dječjoj bolnici Srebrnjak u Zagrebu od 2007. godine, gdje radi na poslovima molekularne dijagnostike iz područja alergologije i imunologije. Autor je više znanstvenih i stručnih radova iz područja alergologije u pedijatrijskoj populaciji, sudionik znanstvenih i stručnih skupova.

**EMKIĆ Amir**, B.A., ing. maš., rođen 15. 12. 2000. u Šibošnici. Osnovno obrazovanje završio u Šibošnici, a srednje u Tehničkoj školi Brčko, smjer tehničar za mehatroniku. Diplomirao je 2024. godine na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Tuzli, gdje je iste godine upisao master studij. Od marta 2025. zaposlen je kao asistent na odsjeku Mehatronika Mašinskog fakulteta u Tuzli. Tokom stručne prakse radio je u firmi Semblic d.o.o. Tuzla na razvoju mehatroničkog sistema za monitoring kvaliteta zraka, uključujući dizajn, programiranje i integraciju mehaničkih, elektronskih i softverskih komponenti. Dobitnik je priznanja „Made in BiH“ za studentski projekat „Automatizirani uređaj za sortiranje dijelova prema boji“. Posebno je zainteresovan za automatizaciju, robotiku i mehatronički inženjering, sa iskustvom u softverima SolidWorks, MATLAB/Simulink, AutoCAD i različitim PLC sistemima.

**GAŠPAR Dražena** redovita je profesorica na Ekonomskom fakultetu Sveučilišta u Mostaru. Njezini istraživački interesi uključuju baze podataka, skladišta podataka, poslovne informacijske sustave i softverske aplikacije u poslovanju i obrazovanju. Suosnivač je softverske tvrtke "Hera" u Mostaru i ima više od dva desetljeća iskustva u razvoju i implementaciji poslovnih informacijskih sustava.

**GADŽO Amra** rođena je 29. aprila 1983. godine u Tuzli. Zaposlena je na Univerzitetu u Tuzli kao profesor u užoj naučnoj oblasti Računovodstvo, te obnaša funkciju predsjednice Odbora za upravljanje kvalitetom. Tokom svoje karijere objavila je oko 50 naučnih i stručnih radova, dvije knjige, izvela deset magistara ekonomije, te bila voditeljica ili učesnica petnaest naučno-istraživačkih projekata od značaja za Federaciju BiH i Tuzlanski kanton. Učesnica je tri COST akcije evropske mreže istraživača. Certificirani je računovođa i učestvovala je kao predavač u brojnim kontinuiranim profesionalnim edukacijama (KPE) za računovodstvenu profesiju. Ima više od deset godina iskustva u pripremi polaznika za polaganje stručnog ispita za zvanje certificiranog računovođe. Više puta je držala gostujuća predavanja u Švedskoj, Turskoj i na univerzitetima u Bosni i Hercegovini.

**GOTOVAC ATLAGIĆ Suzana** je diplomirala na Tehnološkom fakultetu Univerziteta u Banjoj Luci 1999. godine, zatim završila magistarske studije na Oćanomizu Univerzitetu u Tokiju 2002. godine, te doktorski studij na Čiba Univerzitetu u oblasti nanotehnologija, takođe u Japanu i to 2007. godine. Na kraju doktorskih studija dobitnica je Rektorove nagrade Čiba univerziteta s još 6 najproduktivnijih studenata 3. ciklusa. Radila je takođe i kao asistent na Institutu za hemiju Univerziteta Nušatel u Švajcarskoj, pod rukovodstvom međunarodnog stručnjaka za ugljenične materijale prof. dr. Frica Štuklog. Od 2007. godine živi i radi u Banjoj Luci i istaknuti je motivacioni govornik za povratak domaćih kadrova i radnika iz inostranstva, kao važnog preduslova za brži razvoj zemlje. U periodu od 2007. do 2015. godine vodila je i razvijala Laboratoriju za otpadne i površinske vode Instituta za javno zdravstvo Republike Srpske gdje se upoznala sa problematikom zagađenja voda i neophodnosti primjene nanotehnologija u tretmanima voda, te prati i istražuje ovu problematiku i kroz svoj akademski rad, od prelaska na Univerzitet, 2015. godine. Bila je vođa tima Univerziteta na devet međunarodnih projekata. Nedavno je sa svojim timom dobila projekat (DeepGreenInno.ba) u kome je jedna zemlja sa zapadnog Balkana prvi put bila vodeći partner u fondu EIT. Predsjednica je skupštine Udruženja inženjera tehnologije Republike Srpske i trudi se promovirati važnost ulaganja u sektor prerade materijala, ali uz neophodnost osvještavanja javnosti i nadležnih organa u pogledu primjene „zelenih principa“. Zagovornik je mogućnosti da se domaće sirovine prerađuju u nanomaterijale, čime bi se realizirala valorizacija domaćih resursa sa značajnom ekonomskom isplativošću i otvarala nova radna mjesta. Nosilac je prva dva domaća patenta u oblasti nanotehnologija i autorka više desetaka međunarodno recenziranih naučnih radova i izlaganja. Osnivač je jednog od prvih startupa nastalih kroz projekte UNIBL, pod nazivom NanoPoli centar (npcentar.org) koji se uspješno bavi promocijom STEAM oblasti vrlo mladim generacijama. Govori engleski, japanski i francuski jezik. Majka je troje djece i nestranačka ličnost.

**GRUBIŠIĆ Vlado** (mag. ing. mech.) zaposlen je u INTERA Tehnološkom Parku u Mostaru, gdje djeluje na projektima koji povezuju tehnologiju, inovacije i obrazovanje. Doktorski je kandidat čiji se istraživački interes usmjerava na primjenu umjetne inteligencije i robotike u obrazovnim i industrijskim sustavima. Njegov rad obuhvaća razvoj modela pametnih okruženja, istraživanje ljudsko-robotske interakcije u procesu učenja te analizu utjecaja digitalnih tehnologija na motivaciju, angažman i razvoj vještina.

**HALILOVIĆ Jasmin** je rođen 2. oktobra 1987. godine u Zvorniku. Osnovnu školu pohađa od 1994. do 2002. godine u Sapni, općina Sapna. Nakon osnovne škole upisuje srednju mašinsku tehničku školu u Sapni, koju završava 2006. godine te stiče stručno zvanje mašinski tehničar. Iste godine izabran je za učenika generacije Mješovite srednje škole u Sapni. Mašinski fakultet u Tuzli, smjer Proizvodno mašinstvo upisao je 2006. godine. Diplomirao je u 5. oktobra 2010. godine s radom Metodologija određivanja reakcija u kinematičkim parovima ravanskih mehanizama, pod mentorstvom profesora Denijala Sprečića. Dobitnik je bronzane i srebrene plakete JU Univerzitet u Tuzli. Nakon diplomiranja zaposlio se u firmi HST CNC Technik, kao rukovodilac proizvodnje. Od oktobra 2011. godine do decembra 2014. godine radio je kao profesor stručno-teorijske i praktične nastave mašinske grupe predmeta u JU Mješovita srednja škola Sapna. Takođe, od juna 2011. godine radi kao vanjski saradnik – asistent na Mašinskom fakultetu u Tuzli (uža naučna oblast „Mašinski elementi i mehanizmi“, bez zasnivanja radnog odnosa, gdje sudjeluje u nastavi izvođenjem vježbi iz nastavnih predmeta Konstruktivna geometrija i grafika i Tehnička dokumentacija. U akademskoj 2011./2012. godini upisuje postdiplomski studij na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Tuzli na odsjeku Proizvodno mašinstvo – smjer Proizvodne tehnologije. Magistrirao je 14. februara 2014. godine s radom Mehaničke i geometrijske karakteristike spoja kod elektrootpornog zavarivanja limova od ugljeničnog čelika pod mentorstvom profesora Samira Butkovića i time stekao akademsku titulu i stručno zvanje magistar mašinstva. Od novembra 2014. godine radi kao asistent na Mašinskom fakultetu u Tuzli (uža naučna oblast „Mašinski elementi i mehanizmi“), gdje sudjeluje u nastavi izvođenjem vježbi na sljedećim predmetima: Konstruktivna geometrija, Tehnička dokumentacija, Mehanizmi i dinamika mašina, Mehanizmi u mehatronici, Mjerenje i kontrola, Uljna hidraulika i pneumatika i Oblikovanje i razvijanje plašteva. U akademskoj 2015./2016. godini izabran je u saradničko zvanje višeg asistenta za užu naučnu oblast Mašinske konstrukcije. Iste akademske godine upisuje doktorski studij na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Tuzli na odsjeku Proizvodno mašinstvo - smjer Proizvodne tehnologije. Dana 16. maja 2019. godine uspješno je odbranio doktorsku disertaciju pod nazivom Uticaj parametara nitriranja i naknadne termičke obrade na mikrostrukturu i mehaničke osobine austenitnih nehrđajućih čelika bez nikla, čime stiče zvanje doktor tehničkih nauka iz područja mašinstva. Od oktobra 2019. godine izabran je u zvanje docenta. Do sada je, kao autor ili koautor, objavio 11. naučnih radova i učestvovao u izradi tri naučnoistraživačka projekta. Takođe, član je tehničkog komiteta BAS/TC4, čelik, čelični proizvodi, obojeni metali i legure. Jasmin Halilović je oženjen i otac jednog djeteta. Služi se engleskim jezikom.

**HAMZABEGOVIĆ Jasna** vanredna je profesorica na Tehničkom fakultetu Univerziteta u Bihaću, oblast Softversko inženjerstvo. Diplomirala je na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Sarajevu (smjer Informatika), magistrirala na Univerzitetu u Istočnom Sarajevu (Računarstvo i informatika), a doktorirala tehničke nauke na Univerzitetu u Bihaću 2014. s temom iz oblasti asistivne tehnologije za logopede. Nastavno iskustvo gradi od 1991. godine, prvo kao profesorica informatike u srednjim školama, a potom na Pedagoškom i Tehničkom fakultetu Univerziteta u Bihaću na predmetima iz oblasti programiranja, baza podataka, web i softverskog inženjerstva. Autorica je i koautorica više od 30 naučnih i stručnih radova objavljenih u domaćim i međunarodnim časopisima i zbornicima konferencija. Koautorica je univerzitetskog udžbenika Objektno-orijentisano programiranje sa C++ (2021). Učestvovala je u nekoliko međunarodnih projekata (Erasmus+, DAAD) iz oblasti inovativnih pristupa obrazovanju, digitalne



transformacije i regionalne saradnje. Aktivna je i kao recenzentica na međunarodnim naučnim skupovima (RIM, BHAAAS). Trenutno je voditeljica Odsjeka za elektrotehniku na Tehničkom fakultetu Univerziteta u Bihaću.

**HAURDIĆ Melisa** rođena je 8. februara 1994. u Bihaću. Nakon što je završila osnovnu i srednju školu s odličnim uspjehom, upisala je Pedagoški fakultet Univerziteta u Bihaću, odsjek Matematika i fizika, smjer Matematika i informatika, koji je završila 2016. s titulom Bachelor matematike i informatike. Magistar matematike postala je 17. marta 2023. godine na Prirodno-matematičkom fakultetu Univerziteta u Tuzli. Tokom studija, volontirala je u Centru za socijalni rad u Bihaću, pomažući djeci s poteškoćama kroz instruktivni rad iz matematike, te se obrazovala za rad s takvom djecom. Nakon završetka prvog ciklusa, radila je u nekoliko obrazovnih institucija u Bihaću i uspješno položila stručni ispit. Od 2020. godine angažovana je kao vanjski saradnik na Tehničkom fakultetu Univerziteta u Bihaću, a od januara 2023. godine postala je asistent, te kasnije viši asistent za užu naučnu oblast Matematika. Od početka 2021./2022. akademske godine sudjeluje u projektu "Doprinos akademske zajednice zaštiti ljudskih prava u BiH". Sudjelovala je na međunarodnoj naučnoj konferenciji "Razvoj i modernizacija proizvodnje" RIM2021 i RIM2022, gdje je objavila četiri rada pod naslovom. Jedan je od autora Univerzitetske knjige pod nazivom "Inženjerska matematika".

**HERIĆ Mensur** je diplomirao na Ekonomskom fakultetu Univerziteta u Tuzli na temu „Moderna portfolio teorija i hipoteza o efikasnosti tržišta kapitala kao teorijska ishodišta VAR koncepta.“ Na istom fakultetu je magistrirao na temu „Mogućnosti primjene lean sistema u funkciji unapređenja efikasnosti poslovanja u industriji namještaja.“ Aktualno je angažiran u Centru za osiguranje kvaliteta i internu evaluaciju Univerziteta u Tuzli. U svojstvu asistenta i višeg asistenta sudjelovao je u izvođenju vježbi na prvom i drugom ciklusu studija na nastavnim predmetima uže naučne oblasti Kvantitativna ekonomija i to na (1) Ekonomskom fakultetu uključujući nastavne predmete: Operacijski menadžment, Poslovna logistika, Rizik menadžment i osiguranje, Upravljanje kvalitetom, Poslovno odlučivanje, Kvantitativne metode u ekonomiji i menadžmentu, Metodologija ekonomskih istraživanja, Modeli odlučivanja u marketingu, Istraživanje tržišta, Primijenjena metodologija naučnoistraživačkog rada u ekonomiji, Istraživanje turističkih tržišta; (2) Prirodno-matematičkom fakultetu uključujući nastavni predmet Teorija odlučivanja i (3) Tehnološkom fakultetu uključujući nastavni predmet Ekonomika i organizacija proizvodnje u poljoprivredi. Kao član autorskog tima sudjelovao je u pisanju radova kao što su: „Akreditacija studijskih programa: iskustva u slučaju Univerziteta u Tuzli“ (Quality 2025, Neum, 2025), „Mogućnosti primjene alata generativne vještačke inteligencije u kreiranju obrazovnog sadržaja o upravljanju lancima opskrbe“ (Umjetna inteligencija u Bosni i Hercegovini: istraživanje, primjena i perspektive razvoja, Mostar, 2024), „Uloga radnog opterećenja studenata u osiguravanju kvaliteta učenja“ (Quality 2023, Neum, 2023), „Some Insights into Financial Literacy among Undergraduate Students: A Case of Bosnia and Herzegovina“ (International Journal of Financial Research, 2021), te „Likelihood of propensity to travel: Prediction based on socio-demographic factors“ (Hotel and Tourism Management, 2021). Aktualni istraživački interesi se odnose na kvalitet visokog obrazovanja, primjenu vještačke inteligencije i menadžment lanaca opskrbe.



**HODŽIĆ Migdat** iskusni je stručnjak s više od 35 godina industrijskog iskustva i dubokim znanjem iz teorijskih i praktičnih aspekata umjetne inteligencije, upravljanja složenim sistemima, teorije upravljanja, mašinskog učenja i srodnih oblasti. Dr. Hodžić predaje na više univerziteta na temama iz oblasti umjetne inteligencije i primijenjene matematike. Nositelj je više američkih patenata, autor je šest knjiga i preko 180 stručnih i naučnih radova. Trenutno je u ulozi osnivača i tehničkog direktora kompanije ARTI Analytics.

**HUBANA Armina** je zaposlena kao vanredni profesor na Ekonomskom fakultetu Univerziteta „Džemal Bijedić“ u Mostaru, na kojem je diplomirala 1997. godine. Magistarski postdiplomski studij je upisala u novembru 2001. na Ekonomskom fakultetu Univerziteta u Sarajevu, oblast Poslovna ekonomija, smjer Finansijski menadžment, te odbranila magistarski rad na temu: "Mogućnosti i ograničenja VaR/CaR metodologije u identifikaciji i upravljanju tržišnim i kreditnim rizikom u bankarskom poslovanju" 2006. Doktorirala je na Ekonomskom fakultetu Univerziteta „Džemal Bijedić“ u Mostaru 2012. na temu: "Finansijski derivativni instrumenti u funkciji portfolio menadžmenta". Od 2000. je zaposlena na Ekonomskom fakultetu Univerziteta „Džemal Bijedić“ u Mostaru, najprije kao asistent na užoj naučnoj oblasti Finansije, potom 2003. na oblasti Marketing, a od 2006. kao viši asistent na oblasti Finansije. Zvanje docenta na užoj naučnoj oblasti Upravljanje finansijama je stekla 10. 07. 2012. U zvanje vanrednog profesora je birana 2017. godine na užu naučnu oblast: Upravljanje finansijama. Tokom angažmana na Ekonomskom fakultetu, pored redovnih nastavnih obaveza, objavila je dvije knjige iz uže naučne oblasti: 1. „Finansijski derivativni instrumenti“, Ekonomski fakultet Univerziteta "Džemal Bijedić", Mostar, 2016., i 2. „Finansijska tržišta, institucije i instrumenti“, IC Štamparija, Mostar, 2021., i objavila preko 20 naučnih i stručnih radova u priznatim publikacijama, te je uzela učešća na nekoliko domaćih i međunarodnih naučnih konferencija. Također je nekoliko godina angažirana kao predavač na 2. ciklusu studija Ekonomskog fakulteta Univerziteta u Zenici, na predmetu Finansijski derivativi. Učestvovala je u izradi elaborata i pokretanju 3. ciklusa studija i bila je voditelj doktorskog studija na Ekonomskom fakultetu. U periodu 2015./2016. – 2018./2019. akademske godine je bila voditelj univerzitetskog multidisciplinarnog studija Poslovna informatika na Univerzitetu „Džemal Bijedić“ u Mostaru. Višestruki je učesnik „Erasmus + programm - Staff Mobility“, uglavnom kroz teaching program kao predavač na Ekonomskim fakultetima nekih od univerziteta, kao što su: TUKE University Košice – Slovačka; University College of Enterprise and Administration, Lublin – Poland; University of Granada – Spain; University Claude Bernard in Lyon – France; Alexandru Ioan Cuza University Iasi – Romania. Trenutno obavlja funkciju prorektora za finansije na Univerzitetu „Džemal Bijedić“ u Mostaru.

**HUBANA Tarik** stručnjak je s dokazanim iskustvom na raskršću umjetne inteligencije i energetike, uz doktorat tehničkih nauka sa Tehničkog univerziteta u Grazu, Austrija. Uspješno je vodio timove i upravljao velikim projektima, dok njegovo industrijsko iskustvo obuhvata elektroenergetske sisteme, digitalizaciju, te analizu podataka i poslovanja. Autor je više od 30 stručnih i naučnih radova, američkih patenata i knjiga od kojih se većina odnosi na primijenjenu umjetnu inteligenciju. Trenutno je u ulozi izvršnog direktora kompanije ARTI Analytics.

**HUSAK Ermin** rođen je 25. 1981. godine u Bihaću. Srednju Mašinsko-saobraćajnu mješovitu srednju školu u Bihaću završio je 1999. godine. Akademsko 1999./2000. godine upisuje se na Tehnički fakultet Univerziteta u Bihaću, gdje i diplomira 7. 5. 2004. godine na temu: „Fleksibilni obradni sistemi u obradi deformisanjem“. Poslije odbrane diplomskog rada, zasniva radni odnos u firmi „Bira“ d.d. Bihać, gdje je zaposlen na radnom mjestu Samostalni konstruktor-tehnolog. U akademskoj 2005./2006. godini upisao je postdiplomski studij na Mašinskom odsjeku Tehničkog fakulteta Univerziteta u Bihaću, smjer „Savremeno proizvodno inženjerstvo“. Magistarski rad pod nazivom „Prostorna integracija proizvodnih procesa primjenom mehatroničkih sistema“ odbranio je 28. 4. 2011. godine. Doktorsku disertaciju pod naslovom „Optimizacija pri proračunu složenih elastičnih sistema i uporedna analiza klasičnim i savremenim metodama“ prijavljuje 11.10.2011. godine i brani na Mašinskom fakultetu Univerziteta „Džemal Bijedić“ 29. 1. 2016. godine stičući zvanje doktora tehničkih nauka iz oblasti Mehanika. Od 2. 6. 2008. godine zaposlen je na Tehničkom fakultetu u Bihaću. Zvanje asistenta iz naučne oblasti Mehanika stekao je 5. 1. 2009. godine, Višeg asistenta iz iste oblasti 29. 9. 2011. godine, Docenta iz iste oblasti 22. 9. 2016. godine, a Vanrednog profesora iz iste oblasti 2. 7. 2021. godine. Postdoktorsko istraživanje, kao gostujući istraživač, proveo je na City University of London u trajanju od šest mjeseci školske 2016./2017. godine. Tema istraživanja bila je „Numerička analiza deformacija vijčanih kompresora“. Autor ili koautor je 130 radova objavljenih na međunarodnim skupovima i časopisima u zemlji i inozemstvu. Autor ili koautor je 5 univerzitetskih udžbenika. Učesnik je 13 domaćih i međunarodnih naučno istraživačkih projekata.

**IBRAHIMPASIĆ Jasmina** redovna je profesorica na Biotehničkom fakultetu Univerziteta u Bihaću, oblast inženjering i tehnologije (industrijska i okolišna biotehnologija). Diplomirala je na Prehrambeno-biotehnološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu (Biohemijsko inženjerstvo), magistrirala na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu (hemija) i doktorirala na istom univerzitetu iz oblasti biotehničkih nauka. Nastavnu karijeru započela je 1995. godine na Prehrambeno-biotehnološkom fakultetu u Zagrebu, a od 2004. djeluje na Biotehničkom fakultetu u Bihaću, gdje je angažirana i na Fakultetu zdravstvenih studija (Sanitarno inženjerstvo). Autorica i koautorica je preko 50 naučnih i stručnih radova u domaćim i međunarodnim publikacijama, te tri univerzitetska udžbenika. Učestvovala je u međunarodnim projektima (Tempus, Erasmus+, Interreg) iz oblasti zaštite okoliša i djeluje kao recenzentica na više međunarodnih skupova. Predsjednica je Organizacionog odbora međunarodne konferencije „5. Juni – svjetski dan zaštite okoliša“ te predsjednica Naučnog odbora skupa „Trgovska gora – neprihvatljiva lokacija skladišta radiokativnog i nuklearnog otpada“. Članica je ili članica odbora brojnih konferencija u BiH i regiji. Potpredsjednica je Savjeta za nauku Federalnog ministarstva obrazovanja i nauke.

**JUPIĆ Nedžad** rođen je 20. marta 1970. godine u Doboju. Završio je Rudarsko-geološko-građevinski fakultet 1999. godine, a Poslovnu ekonomiju 2025. godine na Univerzitetu u Tuzli. Certificirani je računovođa od 2016. godine. Vlasnik je i direktor Agencije za računovodstveni i poslovni konsalting CORTEX d.o.o. Tuzla. Bavi se razvojem poslovnih aplikacija za mala i srednja preduzeća te je autor brojnih softverskih modula za finansijsko knjigovodstvo, maloprodaju i veleprodaju, blagajnu, obračun amortizacije, eKUF, eKIF, ePDV, obračun plaća, obračun po ugovorima, materijalno knjigovodstvo, proizvodnju i druge poslovne procese. Učestvovao je u sedam komercijalnih i jednom

naučnoistraživačkom projektu. Objavio je pet naučnih i stručnih radova te je u postupku objave knjige. Kao predavač, učestvovao je u brojnim edukacijama i kursovima iz oblasti informatike i računovodstva. Aktivno sarađuje s Ekonomskim fakultetom Univerziteta u Tuzli na projektima iz oblasti računovodstva.

**JURČIĆ Igor** je rođen 3. 11. 1967. godine u Mostaru. Osnovnu i srednju školu je također završio u Mostaru. Nakon toga je upisao elektrotehniku na Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje (FESB) u Splitu, koji je s uspjehom završio. Odmah potom upisuje i poslijediplomski magistarski studij na istom fakultetu koji s uspjehom završava 1999. godine. Doktorski studij na istom Sveučilištu i Fakultetu s uspjehom završava 2023. godine te stječe titulu doktora znanosti iz područja Tehničkih znanosti, polje Elektrotehnike i grana Telekomunikacije i informatika. Naziv doktorske disertacije je "Cjeloviti tehnno-ekonomski model za analizu potencijala telekomunikacijskog operatora". Predaje na Fakultetu strojarstva, računarstva i elektrotehnike Sveučilišta u Mostaru na kolegijima Mobilne komunikacije, Optičke komunikacije i Telekomunikacijski sustavi i mreže. U karijeri je objavio preko 28 znanstvenih i stručnih radova u različitim časopisima, publikacijama i konferencijama te bio koautor u tri poglavlja u različitim knjigama iz područja ICT-a. Uz to je bio i član organizacijskih odbora i recenzent na nekoliko međunarodnih konferencija. Zaposlen je u HT ERONET-u od 1997. gdje je u proteklih nepunih 28 godina obnašao različite funkcije uključujući i mjesto predsjednika Uprave, člana Uprave te direktora i rukovoditelja različitih sektora i odjela. Oženjen je i otac jednog djeteta.

**JUSIĆ GERZIĆ Šejla** je rođena 2.10.1996. godine u Bihaću. Opću gimnaziju u Bosanskoj Krupi je završila 2015. godine kao učenik generacije. Diplomirala je 2019. godine na Pedagoškom fakultetu Univerziteta u Bihaću odsjek Matematika i fizika, a magistrirala 2021. godine na Prirodno – matematičkom fakultetu Univerziteta u Tuzli. Zaposlena je na Univerzitetu u Bihaću od jula 2020. godine, prvo kao asistent, a sada kao viši asistent na užoj naučnoj oblasti Matematika. Do sada ima objavljenih 6 naučnih i stručnih radova u domaćim i međunarodnim zbornicima i časopisima i objavljen jedan univerzitetski udžbenik iz oblasti matematike zajedno sa svojim kolegama sa katedre.

**KAPETINA Olga** je rođena 1991. godine u Sanskom Mostu. Od 1995. godine živi u Bijeljini. Zvanje mastera ekonomije je dobila na Fakultetu poslovne ekonomije Bijeljina, Univerzitet Istočno Sarajevo. Od 2017. godine je zaposlena u Gradskoj upravi Grada Bijeljina u Odsjeku za lokalni ekonomski razvoj i evropske integracije na mjestu SSS za LER i finansije. U oktobru 2023. godine je osnovala sa prijateljicima „Soul business concept“ s.p. Članica je Gorske službe spasavanja Bijeljina. Objavila je 10 stručnih radova. Sfera interesovanja su preduzetništvo, projektni ciklus, zelena ekonomije. Udata i majka jedne djevojčice.

**KARABEGOVIĆ Isak** je član Akademije nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine i redovni profesor Univerziteta u Bihaću. Autor i koautor više od 46 knjige, objavio preko 130 naučnih radova objavljenih u međunarodnim časopisima, preko 460 radova objavljenih u zbornicima radova s međunarodnih konferencija. Urednik 31 Zbornika radova održanih međunarodne konferencije. Član uredništva 36 međunarodna časopisa. Doktorirao na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Sarajevu 1989 godine, magistrirao na Fakultetu strojarstva i brodogradnje. Zagreb, Sveučilište u Zagrebu 1982 godine, a

diplomu diplomiranog inženjera mašinstva stekao na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Sarajevu 1978. godine. Osnivač Mašinskog fakulteta u Bihaću 1996. godine pri Univerzitetu u Sarajevu. Osnivač Univerziteta u Bihaću 1997. godine, te osnivač Tehničkog fakulteta u Bihaću Univerziteta u Bihaću 1990. godine. Bio je dekan Mašinskog fakulteta u Bihaću, dekan Tehničkog fakulteta u Bihaću u više navrata i rektor Univerziteta u Bihaću nekoliko navrata. Njegovi naučni interesi uključuju područja mehanike, robotike i novih tehnologija. Osnivač je i glavni tajnik Društva za robotiku u Bosni i Hercegovini. Radio je u zvanju profesora više škole (1978-1989) na Višoj tehničkoj školi Bihać Univerziteta u Banja Luci. U profesorskom zvanju od 1989-1992 na Mašinskom fakultetu u Zenici Univerziteta u Sarajevu, a od 1995 na Mašinskom fakultetu Bihać Univerziteta u Sarajevu te od 1997 na Tehničkom fakultetu Univerziteta u Bihaću. Držao je nastavu i na Elektrotehničkom fakultetu u Tuzli (1990. - 1992), Mašinskom fakultetu u Sarajevu (1997. - 1999.) i na Mašinskom fakultetu i Mostaru (2000. - 2007), predavajući više kolegija iz Mehanike krutog i deformabilnog tijela i Robotike na dodiplomskom i postdiplomskom studiju. Osnivač je Mašinskog fakulteta u Bihaću 1996. godine pri Univerzitetu u Sarajevu. Bio je osnivač Univerziteta u Bihaću 1997. godine, te osnivač Tehničkog fakulteta u Bihaću Univerziteta u Bihaću 1990. godine. Bio je mentor većeg broja diplomskih, magistarskih i doktorskih radova. Učesnik je i organizator većeg broja znanstveni skupova. Bio je dekan Više tehničke škole Univerziteta u Banja Luci (1982. - 1996., 1998. - 1992.), dekan Mašinskog fakulteta Bihać Univerziteta u Sarajevu (1995. -1997.), dekan Mašinskog fakulteta Univerziteta u Bihaću (1997. - 1999.), dekan Tehničkog fakulteta Univerziteta u Bihaću (1999. - 2001.), rektor Univerziteta u Bihaću (2002. - 2004.), dekan Tehničkog fakulteta Univerziteta u Bihaću (2004. - 2010.), prorektor za nastavu Univerziteta u Bihaću (2015. - 2016.). Od 2019. godine dopisni član Akademije nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine. Bio je jedan od osnivača Društva za robotiku u BiH 2003. godine. Generalni sekretar Društva za robotiku u BiH od 2003. godine, član odbora za mehatroniku Akademije nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine, član odbora za energiju, energetiku i okoliš Akademije nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine, član Američkog udruženja za nauku i tehnologiju, član Društva za mehaniku Hrvatske, član Društva za mehaniku Srbije, član Društva elektro inženjera Hrvatske i član Saveza inženjera i tehničara Srbije i član Savjeta istraživačkog odbora Američkog biografskog instituta. Kao ekspert za evaluaciju visokog obrazovanja učestvovao u evaluaciji Univerziteta Crna Gora, Univerziteta u Sarajevu, kao predsjednik Komisije za ispunjavanje uvjeta za rad visokoškolske ustanove eMPIRICA na Tuzlanskom kantonu. Dobitnik je povelje Univerziteta u Banja Luci 1990. godine, povelje Tehničkog fakulteta Bihać, povelje Univerziteta u Bihaću, prestižne nagrade za naučni rad i stvaralaštvo iz oblasti tehničkih znanosti-mehanika od Internacionalnog biografskog centra iz Cambridge. Kao rektor dobitnik je nagrade „Međunarodni trofej za tehnologiju i kvalitet“ 2003. godine u Ženevi. Dobitnik srebrene plakete Mašinskog fakulteta u Mostaru Univerziteta u Mostaru 2009. godine. Dobitnik plakete kao najmenadžer Bosne i Hercegovine, Jugoslovene i Srednje Evrope u Sarajevu 2008. godine. Dobitnik je Plakete grada Bihaća za izuzetan doprinos za razvoj obrazovanja i nauke, i većeg broja priznanja za svoj znanstveno-pedagoški rad na Univerzitetu u Bosni i Hercegovini i Svijetu. Dobitnik Povelje “26. februar” Grada Bihaća za izuzetna ostvarenja i postignute rezultate u naučnom radu i stvaralaštvu u obrazovnom sistemu, te izuzetan doprinos u cjelokupnom društveno-političkom razvoju i unapređenju kvaliteta življenja grada Bihaća.

**KASIĆ KURTAGIĆ Sajra** rođena 29. 6. 1995. godine u Bihaću. Poslije gimnazije, 2014. godine upisala Pedagoški fakultet Univerziteta u Bihaću (Odsjek: Matematika i fizika, Smjer: Matematika i fizika). 2018. godine završava fakultet u roku i dobija zvanje bachelora matematike i fizike. Master studij upisuje na Prirodno-matematičkom fakultetu Univerziteta u Tuzli, kojeg završava 2023. godine i dobija zvanje magistra. Od 2018. godine obavlja poslove asistenta na Tehničkom fakultetu, Pedagoškom fakultetu, Biotehničkom fakultetu i Fakultetu zdravstvenih studija Univerziteta u Bihaću. Trenutno je na poziciji višeg asistenta na Tehničkom fakultetu Univerziteta u Bihaću.

**KONJHODŽIĆ Seid** rođen je 4. marta 1983. godine u Sarajevu. Zaposlen je u Agenciji za bankarstvo Federacije Bosne i Hercegovine od 2011. godine, gdje trenutno obavlja funkciju šefa Odjela za nadzor poslovanja banaka. Magistarsku titulu stekao je na Ekonomskom fakultetu Univerziteta u Sarajevu, smjer Menadžment. Posjeduje i certifikat iz oblasti finansijskih rizika i regulative (Financial Risk and Regulation Certificate) koji dodjeljuje Global Association of Risk Professionals (GARP), kao i sertifikat „Risk Management Expert“ koji dodjeljuje Frankfurter School of Finance and Management. Trenutno je student doktorskog studija na Ekonomskom fakultetu Univerziteta „Džemal Bijedić“ u Mostaru. Pored navedenog, bio je angažovan od strane World Bank Group kao kratkoročni konsultant (Short-Term Consultant) u oblasti bankarske supervizije i regulatornog razvoja.

**KOSIĆ Milica** diplomirani hemičar i student master studija hemije na Prirodno-matematičkom fakultetu Univerziteta u Banjoj Luci. U toku osnovnih studija bavila se istraživanjima u oblasti valorizacije sekundarnih sirovina, konkretno reupotrebom mikrosilike kao otpadnog materijala iz procesa proizvodnje metalnog silicijuma. Srodna istraživanja nastaviće kroz drugi ciklus studija stavljajući ovog puta akcenat na istraživanja polimetaličnih ruda s područja Bosne i Hercegovine, koje sadrže rijetke metale neizostavne u savremenim informacionim sistemima. Po završetku osnovnih studija radi kao saradnik u startup kompaniji NanoPoli Centar u organizaciji i sprovođenju nastave, te pripremi naučnog sadržaja i literature za polaganje prijemnog ispita iz hemije. Od juna 2025. godine zaposlena je na Prirodno-matematičkom fakultetu kao asistent na projektu RM-SLO-PLUS-HUB. SLO Hub for the RM Sector, koji se tiče upravo promocije održivog i odgovornog rudarstva na evropskom tlu. Autor je nekoliko poster radova izloženih na domaćoj konferenciji internacionalnog karaktera – NanoPol: Nanomaterials and Polymers -Applied Chemistry for Sustainable Development.

**KASIĆ KURTAGIĆ Sajra** rođena 29. 6. 1995. godine u Bihaću. Poslije gimnazije, 2014. godine upisala Pedagoški fakultet Univerziteta u Bihaću (Odsjek: Matematika i fizika, Smjer: Matematika i fizika). 2018. godine završava fakultet u roku i dobija zvanje bachelora matematike i fizike. Master studij upisuje na Prirodno-matematičkom fakultetu Univerziteta u Tuzli, kojeg završava 2023. godine i dobija zvanje magistra. Od 2018. godine obavlja poslove asistenta na Tehničkom fakultetu, Pedagoškom fakultetu, Biotehničkom fakultetu i Fakultetu zdravstvenih studija Univerziteta u Bihaću. Trenutno je na poziciji višeg asistenta na Tehničkom fakultetu Univerziteta u Bihaću.

**KULENOVIĆ Fatka** rođena je u Bihaću 20. januara 1971. godine gdje je završila osnovnu školu i gimnaziju s odličnim uspjehom. Dobitnik je tadašnje nagrade Ognjen Prica za

odličan uspjeh iz svih predmeta tokom cijelog školovanja. U srednjoj školi uspješno je učestvovala na takmičenjima iz matematike na svim razinama što je i odredilo njen daljnji tok obrazovanja. Godine 1996. diplomirala je na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu i stekla zvanje profesor matematike i informatike. Na Prirodno-matematičkom fakultetu Univerziteta u Sarajevu je 2004. godine odbranila magistarski rad pod nazivom "Optimizacija na grafu i njena primjena u tehnici" i stekla akademski stepen magistra nauka iz područja Matematike, polje Primjenjena matematika. Na Prirodno-matematičkom fakultetu Univerziteta u Sarajevu je 2014. godine uspješno odbranila doktorsku disertaciju pod nazivom "Metode matematičkog programiranja za rješavanje lokacijskih i alokacijskih problema" i stekla zvanje doktor matematičkih nauka. Na Tehničkom fakultetu, odnosno Univerzitetu u Bihaću je zaposlena od 1996. godine na kojem je prošla sve nivoe od asistenta, višeg asistenta do danas vanredne profesorice iz naučne oblasti Matematike. Radila je i na Pedagaškom i Biotehničkom fakultetu Univerziteta u Bihaću, zatim i godinama vršila obuku kandidata iz područja informatike pri jednoj humanitarnoj organizaciji. Obavlja dužnost prodakane-se za naučno istraživački rad u drugom mandatu na Tehničkom fakultetu Univerziteta u Bihaću. Objavila je preko 40 naučnih i stručnih radova u domaćim i međunarodnim zbornicima i časopisima i učestvovala na brojnim međunarodnim naučnim i stručnim konferencijama. Učestvovala je nekoliko međunarodnih i domaćih projekata finansiranih od strane EU, kao i nekoliko puta bila učesnica mobilnosti nastavnog osoblja. Autor je 2 univerzitetska udžbenika iz matematike. Mentor je ili član brojnih komisija za završne diplomske i master radove iz Primjenjene matematike. Udata je i majka dvoje odrasle djece, kćerka studentica Psihologije i sin student Medicine.

**KURTIĆ Amir**, dipl. ing. elektrotehnike, rođen 11. 9. 1976. u Doboju. Srednje obrazovanje završio u Tešnju 1995. godine, a Elektrotehnički fakultet u Tuzli 2001. Od 2002. zaposlen u kompaniji MANN+HUMMEL BA d.o.o., trenutno na poziciji rukovodioca proizvodnog inženjeringa. Profesionalno iskustvo obuhvata vođenje tehničkog servisa, održavanje industrijskih sistema, upravljanje infrastrukturom, energetskom efikasnošću i implementacijom ISO standarda. Aktivno učestvuje u stručnim projektima i objavljuje radove u oblasti elektroenergetike i industrijske automatizacije. Objavio više radova na skupovima BH K/O CIGRE, CIRED i u časopisu B&H Electrical Engineering. Aktivno koristi engleski jezik u pisanju, čitanju i stručnoj komunikaciji.

**LANDEKA Nikolina** rođena je 20.12.2001. godine u Banjoj Luci, gdje je završila osnovnu i srednju školu. Diplomirala je na Studijskom programu hemija, Prirodno-matematičkog fakulteta, Univerziteta u Banjoj Luci, čime je stekla zvanje diplomiranog hemičara. Trenutno je zaposlena kao asistent istraživač u oblasti nanotehnologija i u završnoj je fazi master studija. Njen istraživački rad bazira se na analizi i karakterizaciji mineralnih i sekundarnih sirovina sa područja Bosne i Hercegovine, u cilju njihove valorizacije i konverzije u savremene nano-materijale visoke vrijednosti. Cilj njenog diplomskog rada bio je određivanje sadržaja i koncentracije hloridnih jona u uzorcima arheološke keramike pronađene na području grada Tuzla, čime je dokazano da je proces proizvodnje soli iz rude sa ovog područja bio prisutan i u periodu neolita. Njena master teza dio je istraživanja koje se sprovodi na Studijskom programu hemija, a u čijoj je osnovi ispitivanje i valorizacija crvenog mulja, otpadnog materijala iz procesa prerade rude boksita. Bila je uključena u istraživanje mogućnosti modifikacije gline pirofilita hemijskim metodama, u svrhu njegove upotrebe kao punioca u ekološkim fasadama.



Ovo internacionalno istraživanje sprovedeno je u okviru INDUSAC projekta, finansirano od strane Horizon Europe programa. Dodatno, saradnica je u startup kompaniji NanoPoli centar iz Banjaluke, koja se bavi promocijom STEAM oblasti mladima, kao i konsultantskim uslugama u oblasti cirkularne ekonomije i održivih tehnologija, sa akcentom na proizvodnju savremenih materijala.

**MABIĆ Mirela** docentica je na Ekonomskom fakultetu Sveučilišta u Mostaru. Njezini istraživački interesi uključuju poslovne informacijske sustave, primjenu ICT, softvera i digitalnih tehnologija u svakodnevnom životu, poslovanju i obrazovanju, kvalitetu visokog obrazovanja, primijenjenu statistiku i metodologiju istraživanja.

**MARTINOVIĆ Danijela** je vanredni profesor na Univerzitetu u Sarajevu – Ekonomskom fakultetu. Rođena je 11. 1. 1974. u Sarajevu. Profesorica Martinović je autorica i koautorica većeg broja udžbenika, naučnih radova, strategija i analiza iz oblasti Mikroekonomija – predmeta Ekonomike preduzeća i Uvoda u poslovanje.

**MIČIĆ Ljubiša** docent je na Ekonomskom fakultetu Univerziteta u Banjoj Luci, gdje je ujedno i šef studijskog programa Poslovna informatika i koordinator Laboratorije za elektronsko poslovanje. Osnovne studije iz ekonomije je završio na Univerzitetu u Banjoj Luci, magistarsku diplomu informacionih sistema i tehnologija je stekao na Univerzitetu u Beogradu a doktorsku diplomu poslovne informatike na Univerzitetu u Novom Sadu. Njegov akademski i istraživački rad fokusiran je na digitalnu transformaciju, upravljanje znanjem, informacione sisteme, upravljanje poslovnim procesima i primjenu novih tehnologija u poslovanju i javnoj upravi. Dr. Mičić ima bogato iskustvo u međunarodnoj akademskoj saradnji i istraživanju, posebno kroz aktivno učešće u Erasmus+ i Horizon projektima. Doprinio je višestrukim inicijativama finansiranim od strane EU, usmjerenim na unapređenje digitalnih kompetencija, inovacija i održivog razvoja u visokom obrazovanju i na tržištu rada. Između ostalog, učestvovao je u USE IPM projektu (Horizon), Across University Alliance, DilanEdu, BewBu i drugim E+ projektima. Kao dio svog međunarodnog akademskog angažmana, bio je gostujući predavač u okviru Erasmus+ mobilnosti na nekoliko vodećih evropskih univerziteta, uključujući Univerzitet u Mariboru (Slovenija), Univerzitet Thomas More (Belgija), Univerzitet u Reykjaviku (Island), Univerzitet u Granadi (Španjolska), Univerzitet u Sučavi (Rumunija), Freie Universität Berlin (Njemačka) i drugi. Takođe je Fulbrightov stipendista (Univerzitet George Washington, Washington, DC, SAD), stipendista je američkog State Departmenta (Univerzitet DePaul, Chicago, IL, SAD), alumni Švedskog instituta (Univerzitet u Malmeu), alumni DAAD-a, alumni UK FCO-a (BH Fellowship program), stipendista Konfucijevog instituta (Tianjin) i stipendista Norveške ambasade i kompanije EY-a. Strastveno se zalaže za podsticanje interdisciplinarnе saradnje, promociju digitalne pismenosti i preduzetništva, te usklađivanje IKT inovacija sa ciljevima održivog razvoja. Dr. Mičić takođe aktivno sarađuje sa civilnim društvom i omladinskim organizacijama, fokusirajući se na digitalnu inkluziju, razvoj karijere mladih, posebno u domenu digitalnih kompetencija te izgradnju kapaciteta profitnog i neprofitnog sektora u jugoistočnoj Evropi. Aktivno je učestvovao u obezbjeđenju kvaliteta u zemlji kroz učešće u preko deset eksternih posjeta komisija prilikom akreditacije visokoškolskih ustanova i studijskih programa. Tečno govori Engleski jezik (C2) a posjeduje srednje znanje Njemačkog jezika (B2).



**NEZIRIĆ Emir** je rođen 28. 1. 1985. godine u Mostaru. Osnovnu i srednju školu završava u Jablanici, dok studij Mašinstva na Univerzitetu “Džemal Bijedić” u Mostaru upisuje u 2004. godini. Po završetku studija 2009. godine dobija izbor u zvanje asistenta, te zasniva radni odnos na Mašinskom fakultetu Univerziteta “Džemal Bijedić” u Mostaru, gdje i danas radi kao vanredni profesor. Titulu doktora nauka stekao je na istoj instituciji u 2017. godini. Autor/koautor je dvije knjige i preko trideset radova izlaganih na domaćim i međunarodnim konferencijama, te objavljenim u međunarodnim časopisima. Učesnik je više istraživačkih projekata, COST akcija, Erasmus+ CBHE projekata i drugih projekata na temu razvoja visokog obrazovanja. Kroz rad na Institutu za mašinstvo Mašinskog fakulteta stekao je bogato iskustvo kroz saradnju sa privredom na preko 120 manjih ili većih komercijalnih projekata. Glavna oblast istraživanja mu je tehnička mehanika sa fokusom na vibracije rotacionih mašina, dok je kroz istraživačke, komercijalne i druge projekte aktivan i u oblasti energetike.

**OSMANOVIĆ Almir** rođen je 11. novembra 1980. godina u Tuzli, Bosna i Hercegovina. Osnovnu, a zatim srednju tehničku školu mašinskog smjera završio je u Tuzli 1999. Akademске 1999./2000. upisao se na Mašinski fakultet u Tuzli, odsjek: Proizvodno mašinstvo. Diplomirao je u Junu 2004. godine na Mašinskom fakultetu u Tuzli, odsjek Proizvodno mašinstvo. Kao priznanje za postignuti uspjeh u toku studija dodijeljena je Zlatna plaketa Univerziteta u Tuzli. Nakon diplomiranja zapošljava se 2005. godine na Mašinskom fakultetu u Tuzli, kao asistent na odsjeku Proizvodno mašinstvo. Na Mašinskom fakultetu u Tuzli akademske 2006./2007. godine je upisao postdiplomski magistarski studij, odsjek Mehatronika. Magistrirao je 23. januara 2009. s radom pod nazivom: Naučni pristup inoviranju hidrauličkog sistema mobilnih mašina, pod mentorstvom prof. dr.sc. Sead Avdić, red.prof. na Mašinskom fakultetu u Tuzli. U zvanje višeg asistenta na Mašinskom fakultetu, Univerziteta u Tuzli, izabran je u mart 2009. godine, odsjek: Mehatronika, uža naučna oblast: Mašinsku automatiku i robotiku. Dana 15. 2. 2014. godine uspješno brani doktorsku disertaciju pod nazivom: Mehatronički pristup analizi upravljanih hidrauličkih servo-sistema, na Mašinskom fakultetu, Univerziteta u Tuzli pod mentorstvom prof.dr.sc. Maida Čohodar, van.prof., čime stječe zvanje doktora tehničkih nauka iz područja mašinstva. U martu 2014. godine izabran je u zvanje docenta na odsjeku: Mehatronika, uža naučna oblast: Mašinska automatika i robotika. U zvanju docenta izvodi predavanja na sljedećim predmetima: I ciklus studija: Uljna hidraulika i pneumatika (odsjek: Mehatronika; Proizvodno mašinstvo; Energetsko mašinstvo), Osnovi mehatroničkog inženjeringa, Modeliranje i simulacija mehatroničkih sistema, Fleksibilna automatika, Automatsko upravljanje, Tehnika procesnih računara, Automatizacija i regulacija fluidnih sistema. II ciklus studija: Hidraulički i pneumatski sistemi, Industrijska automatizacija i robotizacija, Dizajn mehatroničkih sistema i Proporcionalna i servohidraulika. III ciklus studija: Analogija mehaničkih i električnih sistema, Robotizacija procesa proizvodnje. U martu 2019. godine izabran je u zvanje vanrednog profesora na Mašinskom fakultetu, Univerziteta u Tuzli, odsjek: Mehatronika, uža naučna oblast: Mehatronički inženjering. U zvanju vanrednog profesora izvodi predavanja na sljedećim predmetima: I ciklus studija: Uljna hidraulika i pneumatika (odsjek: Mehatronika; Proizvodno mašinstvo; Energetsko mašinstvo), Osnovi mehatroničkog inženjeringa, Modeliranje i simulacija mehatroničkih sistema, Fleksibilna automatika, Automatsko upravljanje, Tehnika procesnih računara, Automatizacija i regulacija fluidnih sistema. II ciklus studija: Hidraulički i pneumatski sistemi, Industrijska automatizacija i robotizacija, Dizajn mehatroničkih sistema i Proporcionalna i

servohidraulika. III ciklus studija: Mašinska automatizacija i robotizacija proizvodnje, Biomehatronički inženjering, Analogija mehaničkih i električnih sistema, Robotizacija procesa proizvodnje. Usporedo s pedagoškim radom bavi se i Naučno-istraživačkim radom i do sada je objavio više od 25 naučnih i stručnih radova u zemlji i inostranstvu, autor i koautor je tri knjige. Kao naučni-istraživač bio je uključen u više domaćih i internacionalnih projekata uz stručno usavršavanje na institucijama van Bosne i Hercegovine, kao što su City University, KU Leuven, UNESCO IHE, TU Liberec itd..

Član je dva tehnička komiteta instituta za standardizaciju Bosne i Hercegovine, BAS/TC51 – Automatika i BAS/TC 53 - Hidraulika. Otac je jednog djeteta. Aktivno se služi engleskim jezikom uz poznavanje i njemačkog jezika.

**OSMANOVIĆ Azira** rođena 1986. godine u Banovićima. Diplomirala na Ekonomskom fakultetu Univerziteta u Tuzli 2009. godine na smjeru Računovodstvo i finansije, i dobitnik je „Zlatne plakete“ Univerziteta u Tuzli. Magistarski rad odbranila 2012. godine na Ekonomskom fakultetu Univerziteta u Tuzli, a doktorsku disertaciju odbranila 2022. godine na Ekonomskom fakultetu u Brčkom, Univerzitet Istočno Sarajevo, na temu „Uticaj kreativnog računovodstva na finansijske izvještaje u Bosni i Hercegovini“. Certificirani je interni revizor za javni sektor i certificirni računovođa. Trenutno zaposlena kao interni revizor u Jedinici interne revizije na Unverzitetu u Tuzli. Kao autor i koautor objavila više od 30 naučnih i stručnih radova.

**PEHLIĆ Izet** redovni je profesor odgojnih znanosti u radnom odnosu s punim radnim vremenom na Islamskom pedagoškom fakultetu Univerziteta u Zenici. Doktorirao je 2010. godine na Odsjeku za pedagogiju Filozofskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu. Završio je dodiplomski i postdiplomski studij pedagogije. Univerzitetski je nastavnik na predmetima Školska pedagogija, Teorija nastave, Didaktika, Nastavna komunikacija, Dokimologija, Metodika ranog odgoja, Integrirani predškolski kurikulum, Uvod u metodologiju istraživanja, Savremeni tokovi obrazovanja, Metodologija istraživanja u odgojnim znanostima. Objavio je 6 knjiga, 2 metodička priručnika, autor je 10 poglavlja u knjigama, urednik je 11 publikacija. Objavio je veći broj znanstvenih i stručnih radova iz odgojnih znanosti, te učestvovao na većem broju znanstveno-stručnih skupova u zemlji i inozemstvu. Učestvovao je u organizaciji većeg broja znanstveno-stručnih skupova i konferencija s međunarodnim učešćem u ulozi člana projektnog tima i ulozi voditelja projekta. Na različitim je pozicijama i poslovima na Islamskom pedagoškom fakultetu u Zenici u radnom odnosu od 1995. godine do danas. Trenutno je u radnom odnosu s punim radnim vremenom u zvanju redovnog profesora za naučnu oblast pedagogija i na poziciji prodekana za naučnoistraživački rad na Fakultetu.

**RIZVANOVIĆ Aida** docent je za naučnu oblast Inkluzivna edukacija na studijskom program Inkluzivna edukacija Islamskog pedagoškog fakulteta u Zenici, a u radnom odnosu s punim radnim vremenom u Rektoratu Univerziteta u Zenici. Doktorirala je 2017. godine na Nastavničkom fakultetu Univerziteta u “Džemal Bijedić” u Mostaru i stekla zvanje doktora pedagoških nauka. Univerzitetski je nastavnik na predmetima Uvod u inkluzivnu edukaciju, Inkluzivna edukacija, Asistivna tehnologija u edukaciji, Programi unapređivanja socijalnih kompetencija, Inkluzivni pristup izbornoj nastavi u osnovnoj školi, Inkluzivni pristup u odnosu s vršnjacima. Na Univerzitetu u Zenici je u radnom odnosu od 1993. godine do danas na različitim poslovima.

**ŠARIĆ Damir** rođen u Kladnju 1976. godine. Osnovnu i srednju školu završio u Kladnju. Diplomirao na Ekonomskom fakultetu Univerziteta u Tuzli 2002. godine. Magistrirao i doktorirao na Univerzitetu za poslovne studije Banja Luka. U zvanju vanrednog profesora izabran 2021. godine za naučno polje Ekonomske nauke, uža naučna oblast Marketing i logistika, i Menadžment i organizacija na Evropskom univerzitetu “Kallos” Tuzla. Zaposlen u Zavodu zdravstvenog osiguranja TK na mjestu savjetnik direktora za finansijske poslove. Kao autor i koautor objavio preko 30 naučnih i stručnih radova, a autor je i udžbenika “Poduzetništvo”.

**ŠPAGO Damir** docent je na Mašinskom fakultetu Univerziteta „Džemal Bijedić“ u Mostaru. Magistarski studij završio je na istom fakultetu, u oblasti obnovljivih izvora energije. Učestvovao je u nekoliko evropskih projekata kao što su EGPR 2019, KALCEA, Pelmob i drugi. Također je radio na više komercijalnih projekata u saradnji s lokalnom industrijom. Trenutno je nastavnik na Univerzitetu „Džemal Bijedić“ u Mostaru na predmetima iz oblasti Procesno-energetskog mašinstva i obnovljivih izvora energije. Istražuje u istoj naučnoj oblasti, s fokusom na hibridne sisteme obnovljivih izvora energije (HRES), njihovu optimizaciju, energiju vjetra i termodinamiku. Autor je 12 naučnih radova objavljenih u zbornicima konferencija i časopisima.

**ŠUNJIĆ-BEUS Mira** doktor je ekonomije i profesor emeritus na Univerzitetu u Sarajevu – Ekonomskom fakultetu. Rođena je 5. 10. 1942. godine u Mostaru. Tijekom svog radnog vijeka obavljala je dužnost šefa Katedre za menadžment i Katedre za mikroekonomiju, bila je članica Nadzornog odbora Privredne banke Sarajevo, članica Republičke zajednice za naučni/znanstveni rad, članica Savjeta Ekonomskog fakulteta u Sarajevu i potrošnik u Sudu udruženog rada. Dobitnica je niza nagrada: Povelje sa Zlatnom plaketom, povodom 50 godina rada Ekonomskog fakulteta u Sarajevu, Ordena rada sa srebrenim vjencem, Diplome Savjeta Ekonomskog fakulteta za postignuti uspjeh u radu i Plakete za doprinos razvoju Alumni asocijacije Ekonomskog fakulteta u Sarajevu. Profesorica Šunjić -Beus je autorica i koautorica 13 knjiga i udžbenika, te većeg broja naučnih radova, strategija i analiza.

**TUFEKČIĆ Nermin** završio je četverogodišnji dodiplomski studij na Islamskom pedagoškom fakultetu Univerziteta u Zenici gdje je i prvi put magistrirao sa tezom “Zastupljenost i funkcija sadržaja ekologije u udžbenicima osnovnoškolske islamske vjeronauke”. Drugi put je magistrirao na Nastavničkom fakultetu Univerziteta “Džemal Bijedić” u Mostaru sa temom “Determiniranost ekološke svijesti adolescenata sadržajima i aktivnostima islamske vjeronauke”. Zvanje doktora nauka iz oblasti pedagogije dobio je 6. 1. 2015. kada je odbranio doktorsku disertaciju “Kvalitet odgoja i obrazovanja mladih za ekološki održivi razvoj” na Nastavničkom fakultetu Univerziteta “Džemal Bijedić” u Mostaru. Drugi doktorat je odbranio na Univerzitetu za islamske studije u Novom Pazaru na temu “Kvalitet razvoja ekološke svijesti kroz religijski odgoj u školi” i stekao zvanje doktor religijske pedagogije. Objavio je niz zapaženih stručnih i naučnih radova, te bio aktivni učesnik na većem broju domaćih i međunarodnih naučno-stručnih skupova, seminara i savjetovanja.

**VASILJ Višnja** rođena 6. rujna 1971. godine u Salzgitteru (Njemačka). Osnovnu i srednju školu završila u Mostaru. Nakon toga, 1990. godine upisala fakultet i diplomirala 1996. godine na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Od 1997. godine do danas zaposlena na Agronomskom i prehrambeno-tehnološkom fakultetu Sveučilišta u Mostaru i kroz to razdoblje ostvarila napredovanje od znanstveno-nastavnog zvanja od mlađeg asistenta do izvanrednog profesora (trenutno). Nositelj više kolegija na preddiplomskom studiju agronomije i prehrambene tehnologije (Opća mikrobiologija i Mikrobiologija hrane). Na diplomskim studijima nositelj kolegija Mikrobiološka sigurnost i kvaliteta hrane, Mikroorganizmi i biljke, Bolesti i mane vina i Specijalna mikrobiologija. Vanjska suradnica na Fakultetu prirodno matematičkih i odgojnih znanosti i na Farmaciji, Sveučilišta u Mostaru, nositelj kolegija Mikrobiologije. Tijekom znanstvenog napredovanja kao stipendist, 2006. godini boravila na Zavodu za mikrobiologiju Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, na usavršavanju i stjecanju znanja vezanih za izolaciju bakterija i kvasaca iz prirodnih sredina, i njihovu identifikaciju tradicionalnim i molekularnim metodama. Stipendiju dobila u okviru poziva projekta IDA – e (International Development Agency) i Bosne i Hercegovine „Stipendije za podršku mladih naučnika u oblasti poljoprivrede iz Bosne i Hercegovine IDA kredit br. 3742 – BOS. Također tijekom 2006. godine angažirana kao ekspert na projektu „Promocija održivih poljoprivrednih sistema s ograničenim utjecajem na okoliš u BiH“, te izabrana za tehničkog revizora u pružanju konzultantskih usluga stručnog mišljenja kroz tehničku pomoć Jedinici za koordinaciju poljoprivrednih projekata (APCU) i Jedinici za implementaciju projekata u šumarstvu i poljoprivredi (PIU) pri Ministarstvu poljoprivrede, vodoprivrede i šumarstva Federacije BiH. Član Hrvatskog Mikrobiološkog društva HMD-e (sekcija za mikrobiologiju okoliša), te član Pedološkog društva Bosne i Hercegovine. Od 2010. godine Savjetnik za ocjenu plana aktivnosti i studija o procjeni utjecaja na okoliš u postupku izdavanja okolišnih dozvola. Voditelj tri znanstveno stručna projekta, sudjelovala na više od 15 domaćim i međunarodnih skupova i konferencijama, objavila jednu knjigu, te mentor oko 20 završnih i diplomskih radova, te komentor na jednom doktorskom radu. Autor ili koautor više znanstvenih i stručnih radova.

**VESELINOVIĆ Ljiljan** vanredni je profesor na Univerzitetu u Sarajevu – Ekonomskom fakultetu. Rođen je 25. 5. 1984. godine u Zavidovićima. Trenutno obavlja dužnost Prodekana za kvalitet i održivi razvoj. Dobitnik je nagrade Univerziteta u Sarajevu za naučni rad u 2020. godini. Autor i koautor je 6 udžbenika i preko trideset naučnih radova, nositelj niza projekata od kojih treba izdvojiti projekt „(Zeleno) preduzetništvo: Simulacija održivog poslovnog okruženja za razvoj preduzetničkih vještina“ koje financira Ministarstvo za nauku, visoko obrazovanje i mlade Kantona Sarajevo. Profesor Veselinović izvodi nastavu na dodiplomskom, magistarskom i doktorskom studiju, na osam predmeta, na našem i engleskom jeziku.



**VLADA FEDERACIJE  
BOSNE I HERCEGOVINE**  
FEDERALNO MINISTARSTVO  
OBRAZOVANJA I NAUKE/ZNANOSTI

