

ДИТ

Друштво Истраживање Технологије

НАУЧНО
СТРУЧНИ
ЧАСОПИС

ГОДИНА XXXII*** БРОЈ **45**
Март 2026

SCIENTIFIC
PROFESIONAL
JOURNAL

YEAR XXXII *** ISSUE **45**
March 2026

МАШИНСТВО
ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И
РАЧУНАРСТВО
ТЕХНОЛОГИЈЕ
МЕНАџМЕНТ И ЕКОНОМИЈА
ВЕЛИКАНИ НАУКЕ

ДИТ Број 45 /2026 *ГОДИНА XXXII



COBISS.SR-ID 105108999



Друштво Истраживање Технологије

Научно-стручни часопис
Scientific-professional journal

Година XXXII, Број 45, март 2026. год.
Year XXXII, Issue 45, March 2026. year

Оснивач: Друштво инжењера и техничара Зрењанин

Издавачи: Друштво инжењера, Зрењанин
Висока техничка школа струковних студија у Зрењанину

Главни уредник: Проф. др Милорад Ранчић, Друштво инжењера Зрењанин
Технички уредник: Проф. др Жељко Еремић, ВТШСС Зрењанин

Одговорни уредници:

Машинство: Проф. др Љиљана Радовановић, ТФ“Михајло Пупин“ Зрењанин
Енергетика: Проф. др Јасмина Пекез, ТФ“Михајло Пупин“ Зрењанин
Електротехника и рачунарство: Проф. др Жељко Еремић, ВТШСС Зрењанин
Технологије: Проф. др Данијела Јашин, ВТШСС Зрењанин
Менаџмент и економија: Проф. др Дејан Молнар, Економски факултет, Београд

Издавачки савет:

Председник Издавачког савета: Милан Зечар, дипл.инж. Друштво инжењера Зрењанин
Чланови Издавачког савета:

Проф. др Миодраг Ковачевић, ВТШСС Зрењанин
Горан Маринковић, дипл. инж. Културни центар Зрењанин
Проф. др Милан Николић, ТФ“Михајло Пупин“, Зрењанин
Проф. др Обрад Спаић, Факултет за производњу и менаџмент, Требиње
Др Здравко Ждрале, Завод за јавно здравље Зрењанин
Душко Радишић, мсц, Град Зењанин
Славиша Влачић, дипл. инж, Телеком Србија, Зрењанин
Милан Димитријевић, дипл.инж. ДЕК Институт, Зрењанин
Борислав Умићевић, дипл. маш. инж, УМИНГ, Зрењанин

Адреса издавача: Друштво инжењера Зрењанин
Македонска 11, 23000 Зрењанин
E-mail: milorad.rancic@diz.org.rs
www.diz.org.rs

Штампа: Висока техничка школа струковних студија у Зрењанину
Тираж: 300

Часопис је први пут уписан у Регистар средстава јавног информисања
Министарства за информисање Републике Србије 24.11.1994.године
под редним бројем 1807.

ISSN 0354-7140

ИЗДАВАЧИ



**ДРУШТВО ИНЖЕЊЕРА
ЗРЕЊАНИН**



ВИСОКА ТЕХНИЧКА ШКОЛА У ЗРЕЊАНИНУ



ГРАД ЗРЕЊАНИН

**ФИНАНСИЈСКА ПОДРШКА
ПОКРАЈИНСКИ СЕКРЕТАРИЈАТ ЗА ВИСОКО
ОБРАЗОВАЊЕ, НАУКУ И ТЕХНОЛОШКИ РАЗВОЈ**

СР - Каталогизација у публикацији
Библиотека Матице српске, Нови Сад

62

ДИТ : Друштво, Истраживање, Технологије :
научно-стручни часопис / главни уредник Милорад
Ранчић. - Год. 1, бр. 1 (1995)-год. 9, бр. 19/20
(2003) ; Год. 20, бр. 21/22 (2014)- . - Зрењанин :
Друштво инжењера Зрењанин, 1995-2003; 2014-
. - 30 cm

Полугодишње.
ISSN 0354-7140 = ДИТ
COBISS.SR-ID 105108999

РЕЧ ГЛАВНОГ УРЕДНИКА

Поштовани читаоци,

У овом четрдесет петом броју нашег часописа можете прочитати радове из области машинства, електротехнике и рачунарства, технологија, менаџмента и економије. Аутори прилога се баве савременим и атрактивним темама као што су то: мерење фактора заштите заштитне маске, прорачун и конструкција стреле дизалице, СКАДА системи у аутомобилима, примена неуронских мрежа при детекцији кварова, анализа механизма везивања и позиционирања, примена конволуционих неуронских мрежа у пољопривреди, примена фази логике у аутомобилској индустрији, утицај променљивих на садржај токсичних елемената у земљишту, мерење квалитета ваздуха, уклањање органских материја из воде, микробиолошка контрола јагода, адаптација малих и средњих предузећа, изазови образовања у ери вештачке интелигенције, концептуални интеграције ЛЕАН у прехранбеној индустрији, Као што се види садржај овог броја је разноврстан и актуелан. У овом, четрдесет петом броју, из историје српске науке издвојили смо и представили инжењера Добривоја Божића, великог конструктора и иноватора. На листи научних часописа у Републици Србији наш часопис ДИТ је и за 2025. годину рангиран са М53.

Главни уредник
Др Милорад Ранчић, професор



Савез инжењера и техничара Србије
доделио је 3. фебруара 1997. године
Научно-стручно-информативном
часопису "ДИТ"

Повељу за најбољу



публикацију у Србији у 1996. години.

САДРЖАЈ

РЕЧ ГЛАВНОГ УРЕДНИКА	3
МАШИНСТВО	
Marina Ilić, Miljan Miletić, Lidija Radovanović: MERENJE FAKTORA ZAŠTITE ZAŠTITNE MASKE UPOTREBOM LASERSKOG FOTOMETRA <i>MEASUREMENT OF THE PROTECTION FACTOR OF THE PROTECTIVE MASK USING A LASER PHOTOMETER</i>	9
Бранислав Миленковић, Младен Крстић, Ђорђе Јовановић: ПРОРАЧУН И КОНСТРУКЦИЈА СТРЕЛЕ ГРАЂЕВИНСКО СТУБНЕ ДИЗАЛИЦЕ <i>CALCULATION AND CONSTRUCTION OF THE ARROW TOWER CRANE</i>	17
Тамара Милић, Миодраг Ковачевић, Марија Матотек Анђелић: SCADA СИСТЕМИ У АУТОМОБИЛСКОЈ ИНДУСТРИЈИ – УТИЦАЈ У БОРБИ ПРОТИВ КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА <i>SCADA SYSTEMS IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY – ROLE IN THE FIGHT AGAINST CLIMATE CHANGE</i>	25
Душан Малић, Александар Рајић: АНАЛИЗА МЕХАНИЗАМА ВЕЗИВАЊА И ПОЗИЦИОНИРАЊА ГЕОМЕТРИЈЕ У 3D CAD СОФТВЕРУ FREECAD <i>ANALYSIS OF ATTACHMENT AND MAP MODE MECHANISMS IN THE 3D CAD SOFTWARE FREECAD</i>	33
Miljan Miletić, Lidija Radovanović, Marina Ilić: UPOTREBA NEURONSKIH MREŽA ZA DETEKCIJU KVAROVA U PREVENTIVNOM ODRŽAVANJU FABRIKE <i>THE USE OF NEURAL NETWORKS FOR FAULT DETECTION IN FACTORY PREVENTIVE MAINTENANCE</i>	41
ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО	
Маша Кнежевић, Бранко Маркоски: ПРИМЕНА КОНВОЛУТИВНИХ НЕУРОНСКИХ МРЕЖА У ПОЉОПРИВРЕДИ <i>APPLICATION OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS IN AGRICULTURE</i>	49
Еди Даруши: ИЗАЗОВИ ОБРАЗОВАЊА У ЕРИ ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ <i>CHALLENGES FACING EDUCATION IN THE ERA OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE</i>	55
Маша Кнежевић, Бранко Маркоски: ПРИМЕНА FUZZY LOGIKE U AUTOMOBILSKOЈ ИНДУСТРИЈИ: ИНТЕЛИГЕНТНИ СИСТЕМИ UPRAVLJANJA I ASISTENCIЈЕ VOZAČU <i>APPLICATION OF FUZZY LOGIC IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY: INTELLIGENT CONTROL AND DRIVER ASSISTANCE SYSTEMS</i>	63
ТЕХНОЛОГИЈЕ	
Гордана Лудажин, Јелена Киурски-Милошевић, Александра Шућуровић: АНАЛИЗА УТИЦАЈА ПРОМЕНЉИВИХ НА САДРЖАЈ ТОКСИЧНИХ И ЕСЕНЦИЈАЛНИХ ЕЛЕМЕНАТА У ЗЕМЉИШТУ, ПШЕНИЦИ, МЕКИЊАМА И БРАШНУ <i>ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF VARIABLES ON THE CONTENT OF TOXIC AND ESSENTIAL ELEMENTS IN SOIL, WHEAT, BRAN AND FLOUR</i>	73
Iris Borjanović Trusina, Nikola Jerković, Željko Eremić, Jelena Kiurski Milošević: МЕРЕЊА КВАЛИТЕТА ВАЗДУХА И ПОДРШКА ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ <i>AIR QUALITY MEASUREMENTS AND AI SUPPORT</i>	81
Данијела Јашин, Милана Драшковић, Гелерт Глигор: УКЛАЊАЊЕ ПРИРОДНИХ ОРГАНСКИХ МАТЕРИЈА ИЗ ВОДЕ ЕКОЛОШКИМ КОАГУЛАНТИМА <i>REMOVAL OF NATURAL ORGANIC MATTER FROM WATER USING ECO-FRIENDLY COAGULANTS</i>	87
Milana Drašković, Danijela Jašin, Željko Eremić: МИКРОБИОЛОШКА КОНТРОЛА ЗАМРЗНУТИХ ЈАГОДА <i>MICROBIOLOGICAL CONTROL OF FROZEN STRAWBERRIES</i>	95
МЕНАџМЕНТ И ЕКОНОМИЈА	
Ivana Denčić, Sanja Stanisavljev, Mila Kavalić, Dejan Kovačević: АДАПТАЦИЈА МАЛИХ И СРЕДЊИХ ПРЕДУЗЕЊА НА РЕГУЛАТОРНЕ ЗАХТЕВЕ ЕВРОПСКЕ УНИЈЕ: ОРГАНИЗАЦИОНИ И ИНФОРМАЦИОНИ АСПЕКТ <i>ADAPTATION OF SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES TO EU REGULATORY REQUIREMENTS: ORGANIZATIONAL AND INFORMATIONAL DIMENSIONS</i>	103
Дејан Ковачевић, Сања Станисављевић, Милан Николић, Ивана Денчић: КОНЦЕПТУАЛНИ МОДЕЛ ИНТЕГРАЦИЈЕ LEAN КОНЦЕПТА И ИНДУСТРИЈЕ 4.0 У ПРЕХРАМБЕНОЈ ИНДУСТРИЈИ СРБИЈЕ – ИЗАЗОВИ И ПРЕДУСЛОВИ <i>A CONCEPTUAL MODEL FOR THE INTEGRATION OF LEAN AND INDUSTRY 4.0 IN THE SERBIAN FOOD INDUSTRY – CHALLENGES AND PREREQUISITES</i>	111
ДОБРИВОЈЕ БОЖИЋ	121
УПУТСТВО ЗА ПИСАЊЕ РАДОВА.....	124



ДОБРИВОЈЕ БОЖИЋ (1885 – 1967)

Машински инжењер.
Велики српски конструктор,
иноватор и проналазач.
Аутор чувене пнеуматске
кочнице која је примењена
у железницама широм света.



Друштво Истраживање Технологије

Научно-стручни часопис
Scientific-profesional journal

Година XXXII, Број 45, март 2026. год.
Year XXXII, Issue 45, March 2026. year

МАШИНСТВО

Одговорни уредник:

Проф. др Љиљана Радовановић
Технички факултет “Михајло Пупин“
Зрењанин

Редакцијски одбор:

Проф. др Милија Крајишник,
Машински факултет,
Универзитет у Источном Сарајеву

Проф. др Драган Шешлија,
Факултет техничких наука,
Универзитет у Новом Саду

Проф. др Бранко Савић,
Висока техничка школа струковних студија
Нови Сад

Редакција:

Друштво инжењера Зрењанин
ул. Македонска 11,
23000 Зрењанин
E-mail: milorad.rancic@diz.org.rs
www.diz.org.rs

MERENJE FAKTORA ZAŠTITE ZAŠTITNE MASKE UPOTREBOM LASERSKOG FOTOMETRA

MEASUREMENT OF THE PROTECTION FACTOR OF THE PROTECTIVE MASK USING A LASER PHOTOMETER

MARINA ILIĆ¹
MILJAN MILETIĆ²
LIDIJA RADOVANOVIĆ²

¹Vojnotehnički institut u Beogradu, Beograd

²Akademija strukovnih studija Kruševac, odsek tehničko tehnološki

REZIME

Cilj ove studije je da se predstave rezultati istraživanja o potencijalnoj upotrebi laserskog fotometra (LF) za detekciju prisustva aerosolnih čestica (NaCl) i čestica parafinskog ulja (PU) u metodi za određivanje faktora zaštite zaštitnih maski (ZM). Ovo istraživanje je neophodno za kontinuirano unapređenje metode zasnovane na detekciji aerosolnih čestica (NaCl) kao što je opisano u referenci [1]. Studija će uporediti metodu korišćenjem plamenog fotometra (PF) sa metodom koja koristi (LF), koja je testirana sa aerosolnim česticama (NaCl). Nakon toga, metoda koja koristi aerosol (PU) biće primenjena na iste uzorke zaštitnih maski i biće sprovedena merenja. Poređenjem rezultata merenja, potrebno je utvrditi mogućnosti detekcije NaCl aerosola i PU aerosola i odrediti optimalnu snagu i talasnu dužinu laserskog uređaja za ravnomernu primenu u obe metode.

Ključne reči: plameni fotometra (PF), laserski fotometar (LF), zaštitna maska (ZM), uporedna analiza, tačnost merenja.

ABSTRACT

The aim of this study is to present the results of research on the potential use of a laser photometer (LF) to detect the presence of aerosol particles (NaCl) and paraffin oil particles (PU) in a method for determining the protection factor of protective masks (ZM). This research is necessary for the continuous improvement of the method based on the detection of aerosol particles (NaCl) as described in reference [1]. The study will compare a method using a flame photometer (PF) with a method using (LF), which was tested with aerosol particles (NaCl). After that, the method using aerosol (PU) will be applied to the same samples of protective masks and measurements will be carried out. By comparing the measurement results, it is necessary to determine the detection possibilities of NaCl aerosol and PU aerosol and to determine the optimal power and wavelength of the laser device for uniform application in both methods.

Key words: flame photometer (PF), laser photometer (LF), protective mask (ZM), comparative analysis, measurement accuracy.

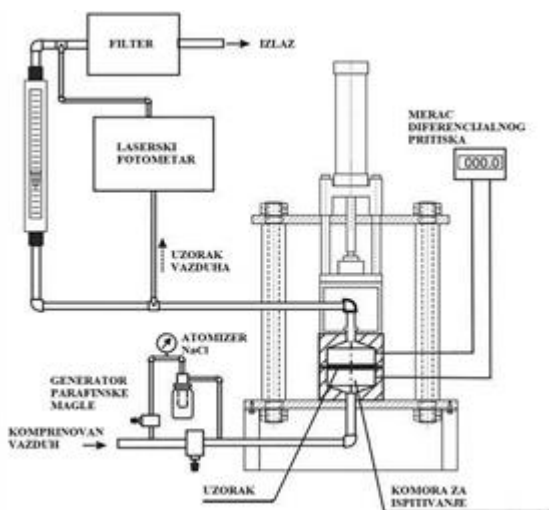
1. UVOD

Kao što je naznačeno u apstraktu, cilj ove studije je da se demonstrira potencijal za modernizaciju metode koja se koristi za ispitivanje aerosolnih čestica NaCl i aerosola parafinskog ulja na LF. U početku su istraživanja sprovedena na aerosolima NaCl i PF, što je omogućilo naknadno poređenje dobijenih rezultata sa onima koji su prvobitno dobijeni iz aerosola NaCl i LF, a kasnije sa aerosolima PU i LF. Naravno, sva ispitivanja su sprovedena na istim uzorcima ZM i filtera [1, 2].

2. METODA I MERENJA

Za ispitivanje koje uključuje čestice NaCl, ključno je obezbediti odgovarajuću koncentraciju aerosola za potrebe ispitivanja. Generator aerosola stvara aerosol natrijum hlorida iz 2% rastvora reagensa natrijum hlorida rastvorenog u destilovanoj vodi. Koristi se veliki Kolisonov raspršivač, koji zahteva protok vazduha od 100 l/min pod pritiskom od 7 bara. Atomizer i njegovo kućište su integrisani u kanal koji održava konstantan protok vazduha.

Slika 1 prikazuje blok dijagram metode na kojoj su izvršena za ispitivanja [1, 3].



Slika 1. Blok dijagram aparature za ispitivanje.

Da bi se obezbedilo potpuno sušenje čestica aerosola, možda će biti potrebno

zagrijati ili odvlažiti vazduh. Srednja koncentracija natrijum hlorida u zatvorenom prostoru treba da bude $8 (\pm 4) \text{ mg/m}^3$, sa varijacijom koja ne prelazi 10% u celoj efektivnoj radnoj zapremini. Distribucija veličine čestica je određena kao ekvivalentni aerodinamički prečnik od $0,02 \mu\text{m}$ do $2 \mu\text{m}$, sa srednjim prečnikom mase od $0,6 \mu\text{m}$ [4].

Ovaj odeljak detaljno opisuje istraživanje i verifikaciju koncentracije i veličine čestica. Nakon dobijanja referentnih vrednosti za broj i veličinu čestica, izvršena je verifikacija pomoću plamenog fotometra sa različitim uzorcima mase.

Plameni fotometar je ključni instrument za precizno merenje koncentracije natrijum hlorida u maski za lice. Da bi se osigurala efikasnost instrumenta u ovu svrhu, mora se uzeti u obzir nekoliko važnih karakteristika performansi. Prvo, instrument treba da bude posebno dizajniran za direktnu analizu aerosola natrijum hlorida. Pored toga, trebalo bi da ima mogućnost merenja koncentracija aerosola NaCl u rasponu od 15 mg/m^3 do 5 ng/m^3 . Štaviše, ukupan uzorak aerosola potreban fotometru ne bi trebalo da prelazi 15 l/min . Slika 2 prikazuje fotomultiplikator koji detektuje čestice NaCl koje sagorevaju sa vodonikom [2, 4, 5].



Slika 2. Fotomultiplikator PF

Vreme odziva fotometra, isključujući sistem za uzorkovanje, ne bi trebalo da prelazi 500 ms. Na kraju krajeva, neophodno je minimizirati odziv na druge elemente,

posebno ugljenik, jer njegova koncentracija fluktuirala tokom ciklusa disanja. To se može postići osiguravanjem da propusni opseg filtera za interferenciju ne prelazi 3 nm i uključivanjem svih potrebnih filtera propusnog opsega. Slika 3 ilustruje filtere koji se koriste za maskiranje izvora svetlosti u PF. Ovi filteri se koriste isključivo tokom rada PF, dok LF ne koristi ove filtere. Isto važi i za aerosole koji se koriste u PU, koji se koriste samo u LF, dok je za rad PF potreban konstantan plamen vodonika, u koji se uzorak uvodi nakon izdisaja sa NaCl aerosolima[1, 6].



Slika 3. Filteri za maskiranje na PF

Mora se naglasiti da je neophodno održavati konstantan protok vazduha koji je temeljno filtriran, bez nečistoća ugljenika, vode ili prljavštine.

Aerosol parafinskog ulja se proizvodi u sličnom opsegu masenih koncentracija, generalno od 1 do 10 mg/m³, sa maksimalnim pragom od 15 mg/m³, što omogućava direktno poređenje sa merenjima na bazi NaCl. S obzirom na tačne karakteristike kapljica parafinskog ulja i njihova poboljšana svojstva rasejanja svetlosti, neophodna osetljivost merenja je kalibrisana na ≤ 10 ng/m³, što je adekvatno za precizno određivanje masene koncentracije u ispitivanom opsegu [1, 7, 8; 9].

U ovom istraživanju korišćen je sertifikovani merni instrument COHERENT (FIELD MAX II), koji je imao ključnu ulogu u detekciji talasnih dužina laserskog zračenja, kao i u preciznom određivanju izlazne snage laserskog izvora svetlosti.

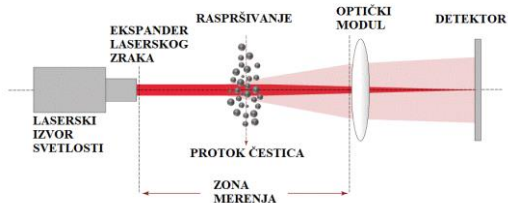
Ovaj instrument omogućio je pouzdanu kalibraciju laserskog fotometra i verifikaciju stabilnosti emitovanog zračenja tokom eksperimentalnog postupka (slika 4).



Slika 4. Merač talasne dužine i snage laser diode

Nastavak istraživanja odnosi se na razvoj i primenu laserskog fotometra kao alternative klasičnom plamenom fotometru. Konceptualno rešenje zasniva se na postavljanju laserske diode na prednjem delu vakuumske cevi, gde ona predstavlja stabilan izvor koherentne svetlosti. Emitovani laserski zrak se zatim usmerava i prelama pomoću sistema konveksnih ogledala, između kojih se uvodi uzorak vazduha sa suspendovanim česticama NaCl i čestice PU.

Prolaskom laserskog zraka kroz mešavinu vazduha i čestica NaCl, čestica PU dolazi do rasipanja i apsorpcije svetlosti, pri čemu se intenzitet zračenja koji dospeva do detektora menja u zavisnosti od koncentracije čestica u uzorku. Detekcija se vrši pomoću fototranzistora, koji generiše električni signal proporcionalan nivou čestica prisutnih u mernom prostoru. Tokom istraživanja izveden je veći broj eksperimenata sa laserskim diodama različitih talasnih dužina, kako bi se ispitalo njihov uticaj na osetljivost i stabilnost merenja. Šematski prikaz predloženog rešenja laserskog fotometra prikazan je na slici 5.



Slika 5. Laserski fotometar(LF)

Za prikupljanje i merenje optičkog signala u ovom istraživanju korišćena je fotoelement sonda proizvođača COHERENT, model OP-2 VIS, namenjena za merenja u vidljivom spektralnom opsegu [10, 11].



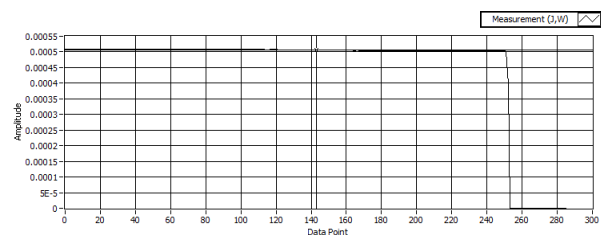
Slika 6. Sonda proizvođača COHERENT, model OP-2 VIS

Pored navedene sonde, sprovedena su i dodatna merenja korišćenjem različitih fotoelemenata, uključujući fototranzistore, fotodiode i fotootpornike. Dobijeni rezultati pokazali su da su merne karakteristike ovih elemenata u približno istim granicama, pri čemu je ukupna preciznost sistema bila znatno više zavisna od kvaliteta i kalibracije merne sonde nego od samog tipa korišćenog fotoosetljivog elementa.

3. REZULTATI ISPITIVANJA

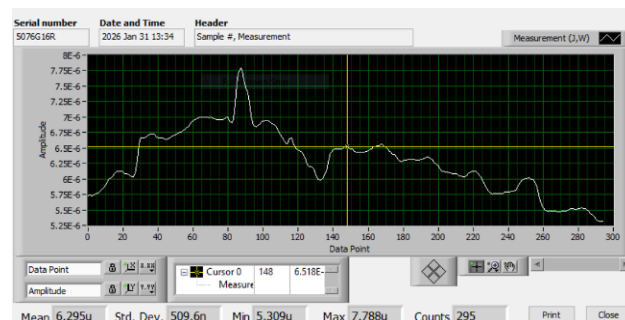
U ovom poglavlju biće predstavljeni grafici merenja rezultata dobijenih na foto sondi za različite vrednosti snage i talasne dužine laser diode. Sva merenja izvršena su

pod istim uslovima pri istoj koncentraciji aerosola NaCl i istoj veličini čestica, kao i pri istoj vlažnosti reagensa koja je ulazila u laserski fotometar. Na slici 7 prikazan je grafik za lasersku diodu talasne dužine 200nm i snage 0.3mw. Može se videti da se na grafiku registruje samo vrlo mali deo promena prikazanih na amplitude u 248 data point.



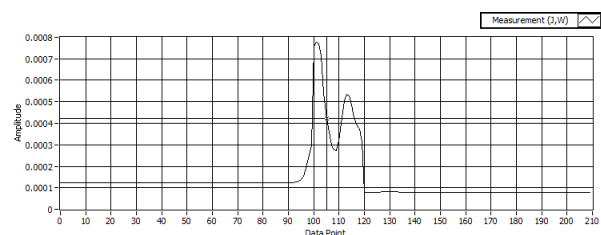
Slika 7. Grafik za laser diodu 200nm NaCl

Na slici 8 prikazani su rezultati za istu laser diodu, ali za uzorak tretiran parafinskom maglom.



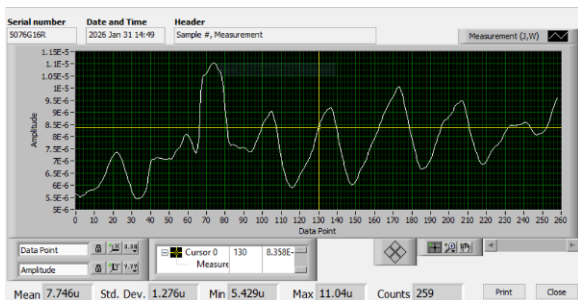
Slika 8. Grafik za laser diodu 200nm PU

Na slici 9 prikazan je grafik za lasersku diodu talasne dužine 400nm i snage 0.3mw. Može se videti da se na grafiku registruje promena vrednosti prikazanih na amplitudama između 90 i 120 data point.



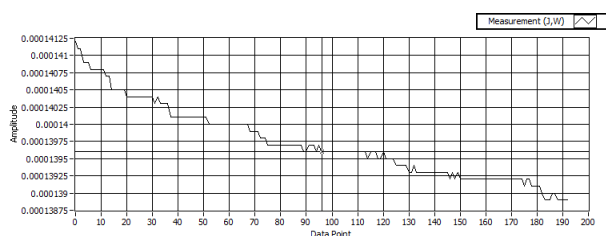
Slika 9. Grafik za laser diodu 400nm NaCl

Na slici 10 prikazani su rezultati za istu laser diodu, ali za uzorak tretiran parafinskom maglom.



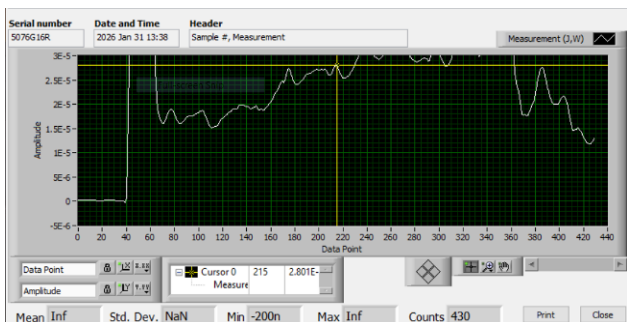
Slika 10. Grafik za laser diodu 400nm PU

Na slici 11 prikazan je grafik za lasersku diodu talasne dužine 500nm i snage 0.3mw. Može se videti da se na grafiku registruje veliki broj promena kroz čitavu skalu data point prikazanih na amplitudama između 1 i 192 data point.



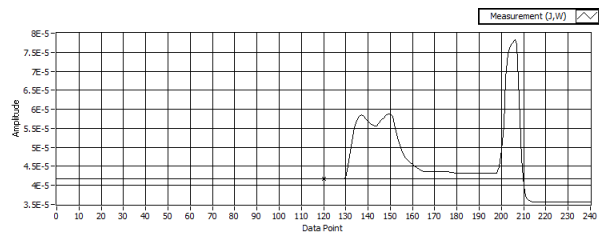
Slika 11. Grafik za laser diodu 500 nm NaCl

Na slici 12 prikazani su rezultati za istu laser diodu, ali za uzorak tretiran parafinskom maglom.



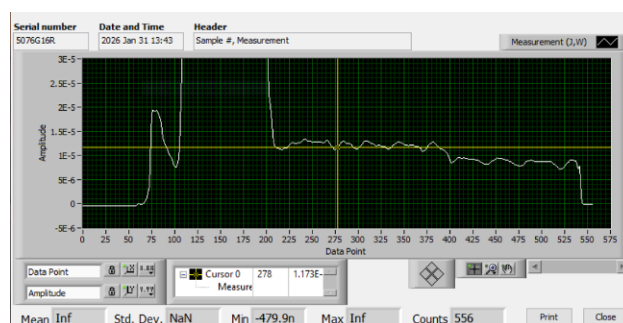
Slika 12. Grafik za laser diodu 500nm PU

Na slici 13 prikazan je grafik za lasersku diodu talasne dužine 600nm i snage 0.3mw. Može se videti da se na grafiku registruje promena vrednosti prikazanih na amplitudama između 130 i 210 data point.



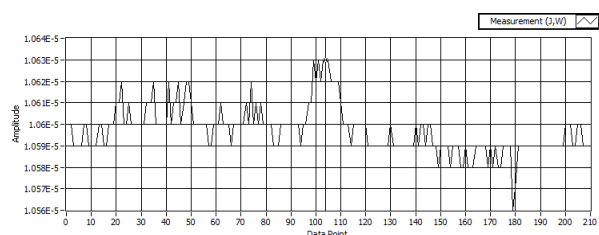
Slika 13. Grafik za laser diodu 600nm NaCl

Na slici 14 prikazani su rezultati za istu laser diodu, ali za uzorak tretiran parafinskom maglom.



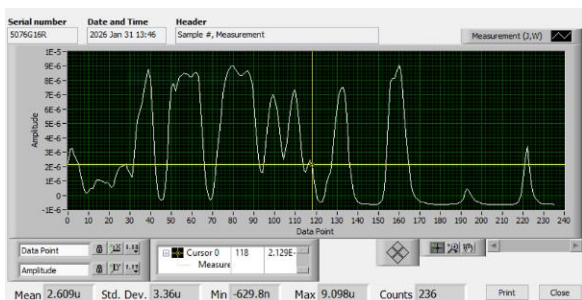
Slika 14. Grafik za laser diodu 600nm PU

Na slici 15 prikazan je grafik za lasersku diodu talasne dužine 700nm i snage 0.3mw. Može se videti da se na grafiku registruje veliki broj veoma učestalih promena kroz čitavu skalu data point prikazanih na amplitudama između 1 i 210 koje traju sve do kraja merenja. Na ovom grafiku se može uočiti i najveća snaga izmerena na celom opsegu senzora. Ova talasna dužina daje najbolju klasifikaciju i najbolje očitavanje za prisustvo čestica NaCl.



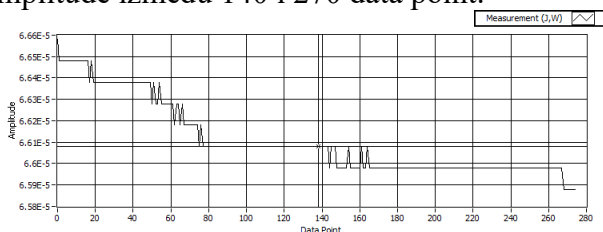
Slika 15. Grafik za laser diodu 700 nm NaCl

Na slici 16 prikazani su rezultati za istu laser diodu, ali za uzorak tretiran parafinskom maglom.



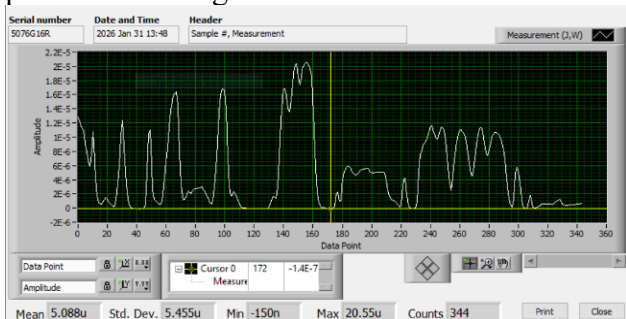
Slika 16. Grafik za laser diodu 500nm PU

Na slici 17 prikazan je grafik za lasersku diodu talasne dužine 800nm i snage 0.3mw. Može se videti da se na grafiku registruju promene u opsegu od 1 do 79 data point i amplitude između 140 i 270 data point.



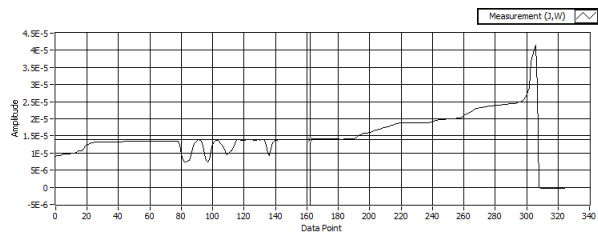
Slika 17. Grafik za laser diodu 800 nm NaCl

Na slici 18 prikazani su rezultati za istu laser diodu, ali za uzorak tretiran parafinskom maglom.



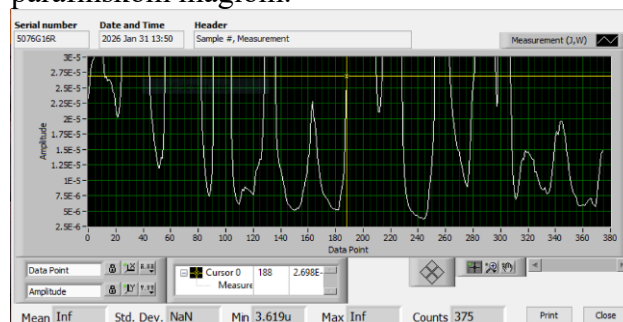
Slika 18. Grafik za laser diodu 800nm PU

Na slici 19 prikazan je grafik za lasersku diodu talasne dužine 900nm i snage 0.3mw. Može se videti da se na grafiku registruju promene u opsegu od 1 do 140 data point i amplitude između 140 i 320 data point. Prikazane amplitude su nasumične sa simboličnim vrednostima u očitavanju, tako da se prilikom izbora ove laser diode ne dobija jasna slika promene koncentracije u odnosu na snagu očitavanja signala na fotometrijskom senzoru.



Slika 19. Grafik za laser diodu 900 nm NaCl.

Na slici 20 prikazani su rezultati za istu laser diodu, ali za uzorak tretiran parafinskom maglom.



Slika 20. Grafik za laser diodu 900nm PU

4. ZAKLJUČAK

Sprovedeno istraživanje uspešno je potvrdilo mogućnost zamene standardnog reagensa na bazi natrijum-hlorida (NaCl) parafinskim uljem u postupku fotometrijskog merenja koncentracije aerosolnih čestica. Eksperimentalni rezultati pokazali su da laserski fotometar predstavlja pouzdanu i stabilnu alternativu klasičnim metodama merenja, uz očuvanje visoke osetljivosti i ponovljivosti mernog sistema.

Analizom različitih talasnih dužina i izlaznih snaga laserskih dioda utvrđeno je da optimalne performanse sistema, u pogledu odnosa signal-šum, stabilnosti signala i preciznosti detekcije, daje laserska dioda talasne dužine 780 nm i izlazne snage 100 mW. Ova konfiguracija omogućava efikasnu detekciju kako NaCl aerosola, tako i parafinske magle, uz minimalan uticaj spoljašnjih smetnji i fluktuacija optičkog signala.

Dodatno, rezultati su pokazali da primena više laserskih dioda različitih talasnih dužina može doprineti povećanju selektivnosti sistema, dok se konfiguracija sa

talasnom dužinom od 780 nm i snagom od 100 mW izdvaja kao najpovoljnije rešenje za praktičnu primenu. Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da razvijeni laserski fotometar ima značajan potencijal za primenu u laboratorijskim i industrijskim uslovima, naročito u oblasti kontrole aerosola i ispitivanja filtracionih sistema.

5. LITERATURA

- [1] M Miletić, M Ilić, T Marković, Examination of the protection factor with a laser photometer, 11th International Scientific Conference on Defensive Technologies-OTEX 2024 DOI: 10.5937/OTEH24063M
- [2] Double Chooz collaboration, The Double Chooz antineutrino detectors, *Eur. Phys. J. C* 82 (2022) 804 [arXiv:2201.13285].
- [3] RENO collaboration, RENO: An Experiment for Neutrino Oscillation Parameter θ_{13} Using Reactor Neutrinos at Yonggwang, arXiv:1003.1391.
- [4] IceCube collaboration, Calibration and Characterization of the IceCube Photomultiplier Tube, *Nucl. Instrum. Meth. A* 618 (2010) 139 [arXiv:1002.2442].
- [5] R. Dossi, A. Ianni, G. Ranucci and O.Y. Smirnov, Methods for precise photoelectron counting with photomultipliers, *Nucl. Instrum. Meth. A* 451 (2000) 623.
- [6] DarkSide collaboration, Light Yield in DarkSide-10: A Prototype Two-Phase Argon TPC for Dark Matter Searches, *Astropart. Phys.* 49 (2013) 44 [arXiv:1204.6218].
- [7] L.N. Kalousis, J.P.A.M. de André, E. Baussan and M. Dracos, A fast numerical method for photomultiplier tube calibration, 2020 JINST 15 P03023 [arXiv:1911.06220].
- [8] R. Brun and F. Rademakers, ROOT: An object oriented data analysis framework, *Nucl. Instrum. Meth. A* 389 (1997) 81.
- [9] M. Abramowitz and I.A. Stegun, *Handbook of Mathematical Functions: with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables*, Dover Publications, 0009-Revised edition (June 1, 1965).
- [10] L.N. Kalousis, Calibration of the Double Chooz detector and cosmic background studies, Ph.D. Thesis, University of Strasbourg (2012).
- [11] O.Y. Smirnov, Energy and spatial resolution of a large-volume liquid-scintillator detector, *Instrum. Exp. Tech.* 46 (2003) 327 [arXiv:1811.02321]

Adresa autora: Miletić Miljan, Akademija strukovnih studija Kruševac, odsek tehničko tehnološki
e-mail: mmelektronik1@gmail.com
Rad primljen: februar 2026.
Rad prihvaćen: mart 2026.



ДОБРИВОЈЕ БОЖИЋ
(1885 – 1967)

Машински инжењер.
Велики српски конструктор,
иноватор и проналазач.
Аутор чувене пнеуматске
кочнице која је примењена
у железницама широм света.

ПРОРАЧУН И КОНСТРУКЦИЈА СТРЕЛЕ ГРАЂЕВИНСКО СТУБНЕ ДИЗАЛИЦЕ

CALCULATION AND CONSTRUCTION OF THE ARROW TOWER CRANE

БРАНИСЛАВ МИЛЕНКОВИЋ¹

МЛАДЕН КРСТИЋ²

БОРЋЕ ЈОВАНОВИЋ³

¹Ваздухопловна академија, Београд

²Универзитет у Крагујевцу, Факултет за машинство и грађевинарство, Краљево

³Математички институт САНУ, Београд

РЕЗИМЕ

У раду смо приказали и објаснили основне елементе грађевинско стубне дизалице. Затим је извршен прорачун стреле за дате случајеве оптерећења у програмском пакету “SAP2000”.

За конструкцију стреле смо узели стрелу грађевинско стубне дизалице компаније ALFA типа A557 CITY.

Након анализе у програму извршили смо прорачун најоптерећенијих профилних елемената.

Из услова напонског критеријума извршен је нумерички прорачун којим је доказана стабилност стреле грађевинско стубне дизалице.

Кључне речи: дизалица, стрела, SAP 2000

ABSTRACT

In this paper, we have presented and explained the basic elements of a construction of the tower crane. Then, the arrow was calculated for the given load cases in the SAP2000 software package.

For the arrow construction, we used the arrow of an ALFA construction tower crane, type A557 CITY.

After analysis in the program, we calculated the most loaded profile elements.

A numerical calculation was performed based on the stress criterion conditions, which proved the stability of the arrow of the construction tower crane.

Key words: crane , arrow, SAP 2000

1. УВОД

Дизалицама се постављају нарочито велики захтеви, који проистичу из специфичности самог посла. Због трошкова који проистичу из одржавања, смањивања машинског парка и олакшаног смештаја и транспорта, велика

пажња се поклања типизацији дизалица [1].

Свака новоконструисана дизалица треба да буде што једноставније конструкције, али у потпуности прилагођена захтевима који се од ње траже. Испуњавајући овај захтев задовољено је и низ других као што су:

лака монтажа и демонтажа, једноставан пренос са једног градилишта на друго, лака обука опслужуиоца за руковање и др.

Дизалица при раду мора да буде сигурна и обезбеђена од преоптерећења. Стављање у погон и заустављање не сме да зависи од поузданости опслужуиоца. Сви делови дизалице треба да су приступачни, уз избегавање уградње осетљивих делова, јер њихово присуство доводи до честих и дуготрајних прекида. Због тога што ове дизалице углавном раде на отвореном простору треба их конструктивно применити тако да временске и температурне промене имају секундарни карактер.

Појам грађевинско стубне дизалице (слика1.) највише се везује за грађевинарство због своје велике примене, и у овој области њихова конструкција је добила специфичне облике, одлике и особине. Такође се примењују за опслуживање складишта, речних пристаништа, фабрика и погона, итд.

За масовну градњу стамбених објеката примењују се грађевинско стубне дизалице носивости (0.3-1.5)t, дохвата (10-30)m, а за градњу стамбених и других објеката од монтажних елемената, примењују се дизалице носивости (3-5)t, дохвата (15-30)m.



Слика 1. Грађевинско стубне дизалице

Предности примене ових дизалица огледа се у следећем:

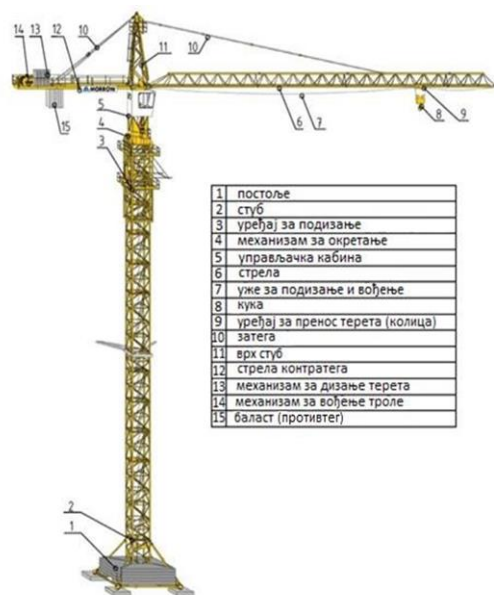
- повећањем учинка,
- скраћењем времена изградње,
- смањењем броја запослених,
- квалитету изведених операција.

До негативних карактеристика у примени може доћи из два разлога:

- услед неправилног избора машина за извођење одређених операција,
- због недовољно усаглашених организационо – техничких услова експлоатације.

2. ОСНОВНИ КОНСТРУКТИВНИ ЕЛЕМЕНТИ ГРАЂЕВИНСКЕ СТУБНЕ ДИЗАЛИЦЕ

Развој различитих технологија грађења резултирао је различитим облицима дизалица. Како је већ речено, постоји велики избор врста и типова дизалица па их је због тога тешко све обухватити, међутим неки основни елементи су увек препознатљиви, а то су стуб и хоризонтална стрела. Општа листа и приказ елемената дизалице може се видети на слици 2.



1	постоље
2	стуб
3	уређај за подизање
4	механизам за окретање
5	управљачка кабина
6	стрела
7	уље за подизање и вођење
8	кука
9	уређај за пренос терета (колица)
10	затега
11	врх стуб
12	стрела контрагата
13	механизам за дизање терета
14	механизам за вођење троле
15	баласт (противтер)

Слика 2. Саставни елементи грађевинско стубне дизалице

Стуб је специфични констукцијски елемент којег прво уочимо када угледамо грађевинску стубну дизалицу.

То је решеткаста конструкција која је вијчаном везом монтирана и учвршћена за постоље. Стуб је састављен од низа сегмената који се лако монтирају и демонтирају јер су исто тако међусобно повезани вијцима и клиновима. Висина једног стубног сегмента је приближно једнака висини спрата зграде (2,5m), а висину дизалице одређује укупан број сегмената.



Слика 3. Сегмент стуба

Хоризонтална стрела је решеткаста конструкција која је израђена поступком заваривања из цеви и различитих профила. Стрела се слаже и спаја из више сегмената од којих је један сегмент прикључни, а други завршни. Укупна дужина стреле одређује дохват грађевинско стубне дизалице, а зависи од броја сегмената. Зависно од модела и конфигурације дизалице, хоризонтална стрела може доћи у различитим дужинама. Стрела служи као пруга за вођење колица, а механизам за вођење колица постављен је на прикључном сегменту стреле.



Слика 4. Хоризонтална стрела

Колица су уређај за пренос терета који има могућност кретања дуж доње стране хоризонталне стреле. Главна функција овог уређаја је захватити терет затим га пренети и спустити на одређено жељено место [3].

Оквир колица се ради од челичних профила са уздужним и попречним носачима. На угловима оквира и на осталим местима где су важне везе морају се поставити јаки потпорни лимови. На оквир колица уграђују се точкови, затим котурови за вођење челичног ужета за терет.



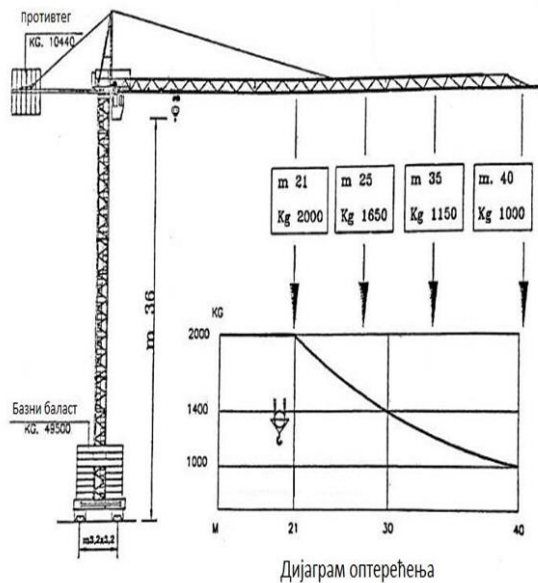
Слика 5. Уређај за пренос терета

3. ПРОРАЧУН ГРАЂЕВИНСКО СТУБНЕ ДИЗАЛИЦЕ

За прорачун стреле анализирана су четири случаја оптерећења [2], а сагласно дијаграму оптерећења (слика 6):

- када се колица налазе на 40m и има носивост од 1000kg,
- када се колица налазе на 35m и има носивост од 1150kg,
- када се колица налазе на 25m и има носивост од 1650kg,

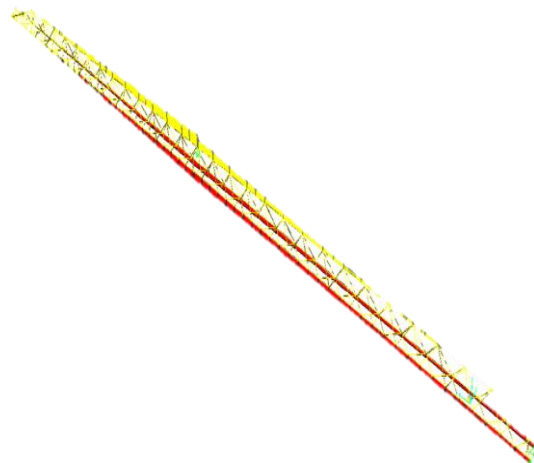
и када се колица налазе на 21m и има носивост од 2000kg.



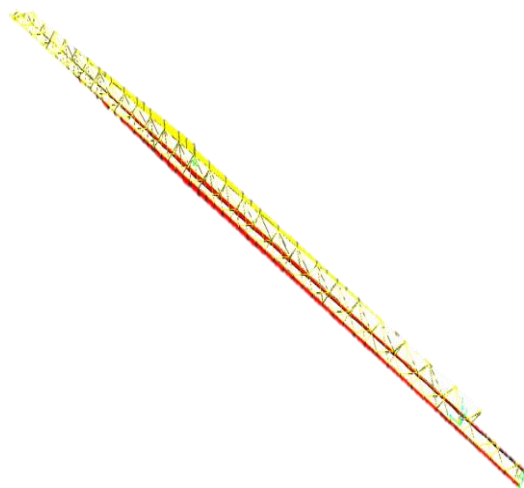
Слика 6. Дијаграм оптерећења

Конструкција стреле се састоји од низа сегмената различитих дужина који су међусобно спојени.

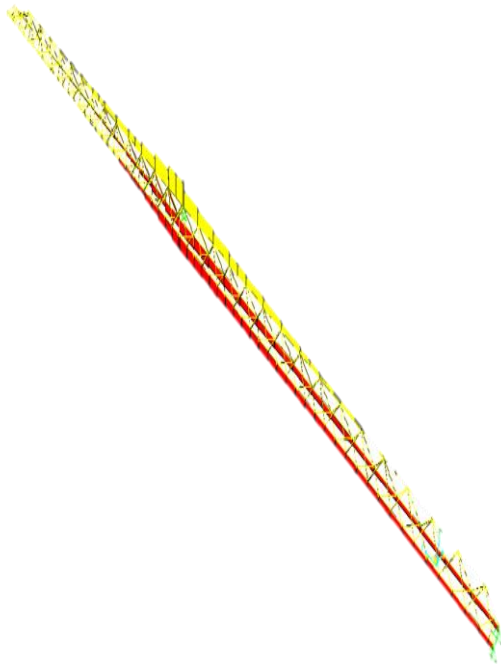
За прорачун елемента конструкције стреле коришћене су вредности аксијалне силе добијене програмским пакетом, а за различите случајеве оптерећења (слика 7,8.,9,10.).



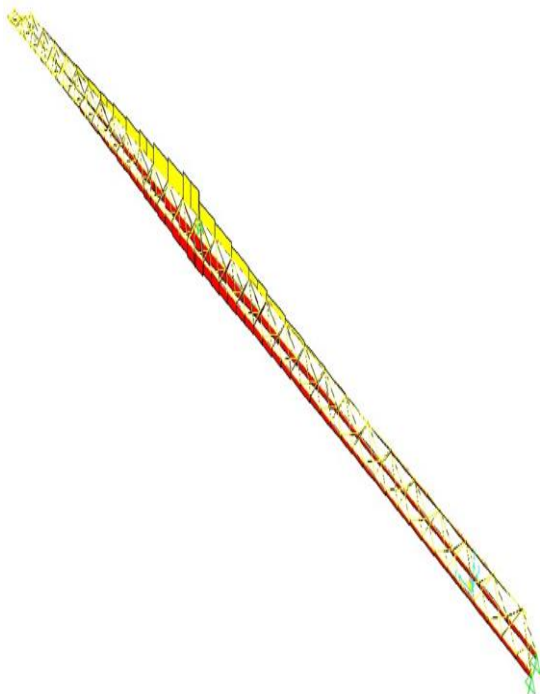
Слика 7. Приказ аксијалних сила за 1 случај оптерећења



Слика 8. Приказ аксијалних сила за 2 случај оптерећења



Слика 9. Приказ аксијалних сила за 3 случај оптерећења



Слика 10. Приказ аксијалних сила за 4 случај оптерећења

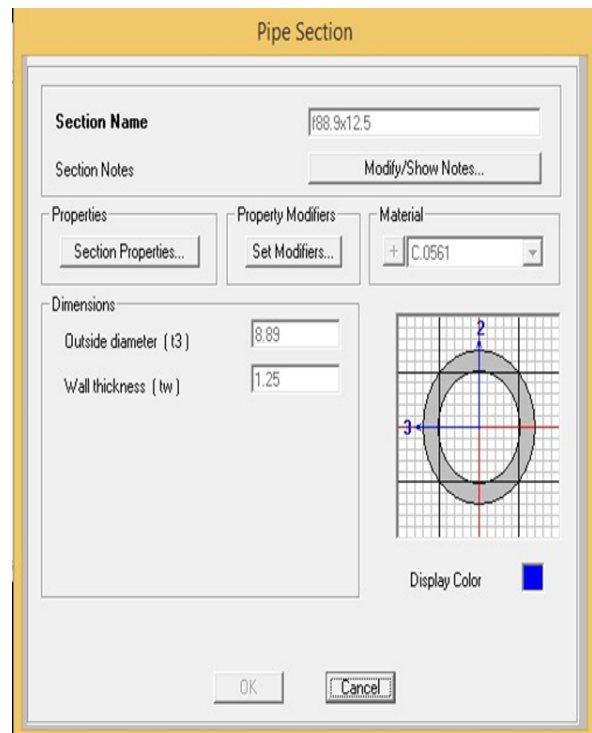
Стрела се састоји од низа елемената. Први у низу који се анализира је горњи

појас. Он је цео израђен од истог профила $\varnothing 88,9 \times 12,5$. На слици 11 приказан је 3D модел једног од сегмената стреле на којем је јасно видљив горњи појас.

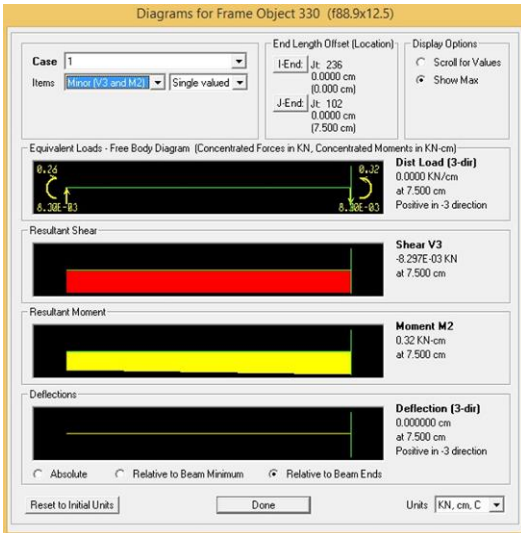


Слика 11. 3D модел једног сегмента стреле

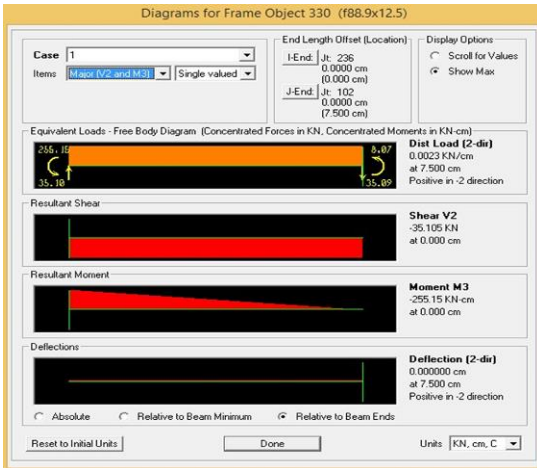
Гледајући дијаграме оптерећења закључено је да профилни елемент $\varnothing 88,9 \times 12,5$ најоптерећенији у позицији од 102 до 236. Самим тим за њу ћемо и вршити доказ напона.



Слика 12. Изглед попречног пресека
Слика 13. Дијаграм оптерећења и деформација око подужне осе 1

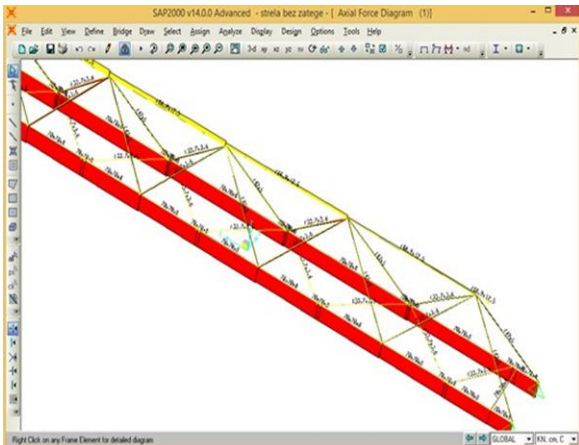


Слика 14. Дијаграм оптерећења и деформација око подужне осе 2

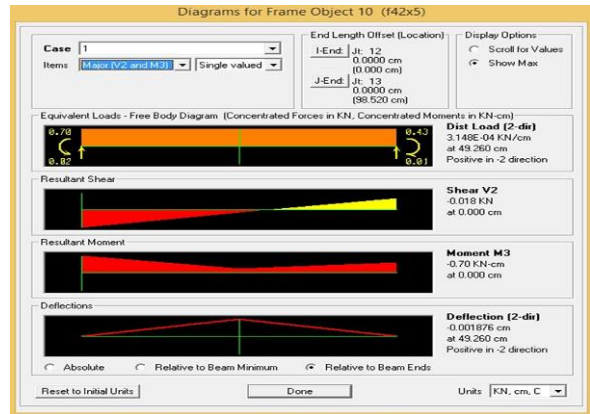


Слика 15. Дијаграм оптерећења и деформација око подужне осе 3

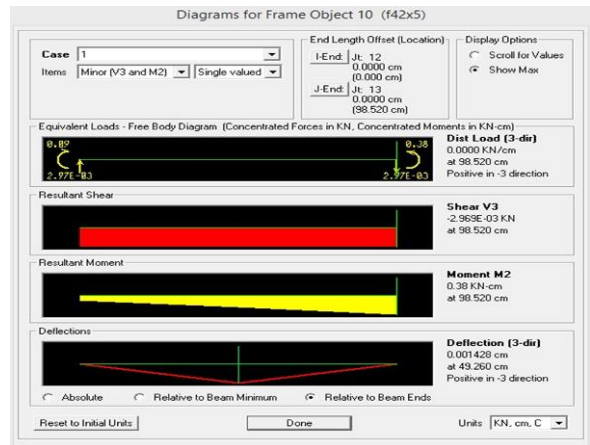
Посматрајући дијаграме оптерећења, доносим закључак да је најоптерећенија у положају када се колица налазе на 40м и оптерећена носивошћу од 1тоне.



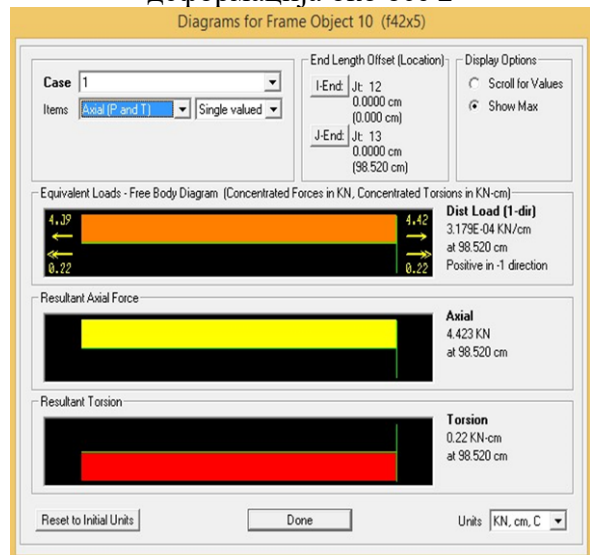
Слика 16. Приказ аксијалних сила



Слика 17. Дијаграм оптерећења и деформација око осе 3



Слика 18. Дијаграм оптерећења и деформација око осе 2



Слика 19. Дијаграм оптерећења и деформација око осе 3

4. ЗАКЉУЧАК

У раду је анализирана конструкција стреле грађевинско стубне дизалице компаније ALFA типа А 557 CITY за различите случајеве оптерећења, према доступној документацији и према реално изведеном решењу. На основу свих извршених анализа у програмском пакету “SAP2000” и нумеричким путем. Показало се да је прорачуната конструкција стреле предимензионисана и да задовољава све доказе напона за које је урађен прорачун. На основу свих наведених анализа закључено је да

конструкција може издржати и већа оптерећења од прописаних. За даља испитивања намеће се идеја прорачуна силе ветра за дате случајеве оптерећења.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Давор Острић, Дизалице, Машински факултет, Београд 1992.
- [2] Др Миле Савковић дипл. маш. инж, Металне конструкције-решени задаци, Краљево, 2008.
- [3] Александар Н. Стефановић, Грађевинске машине I, Београд, 1980

Адреса аутора: Бранислав Миленковић, професор машинске групе предмета, Ваздухопловна академија, Београд, Булевар војводе Бојовића 2
е-маил: bmilenkovic92@gmail.com
Рад примљен: фебруар 2026.
Рад прихваћен: март 2026.



ДОБРИВОЈЕ БОЖИЋ
(1885 – 1967)

Машински инжењер.
Велики српски конструктор,
иноватор и проналазач.
Аутор чувене пнеуматске
кочнице која је примењена
у железницама широм света.

SCADA СИСТЕМИ У АУТОМОБИЛСКОЈ ИНДУСТРИЈИ – УТИЦАЈ У БОРБИ ПРОТИВ КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

SCADA SYSTEMS IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY – ROLE IN THE FIGHT AGAINST CLIMATE CHANGE

ТАМАРА МИЛИЋ¹
МИОДРАГ КОВАЧЕВИЋ¹
МАРИЈА МАТОТЕК АНЂЕЛИЋ¹

¹Висока техничка школа струковних студија у Зрењанину

РЕЗИМЕ

Аутомобилска индустрија игра значајну улогу у глобалној емисији гасова. Конкретно, она има позитиван утицај на ефекат стаклене баште. Тематика овог рада се базира на значају SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) система у оптимизацији индустријских процеса у оквиру производње аутомобила и управљања моторима. SCADA доприноси смањењу потрошње енергије и емисије штетних загађивача као што су угљендиоксид и азотни оксиди. Овај рад анализира техничку архитектуру, специфичне примене у контроли дизел мотора и еколошке предности које су подржане релевантним студијама случаја и емпијским подацима.

Кључне речи: SCADA системи, аутомобилска индустрија, климатске промене, индустријска аутоматизација, смањење емисија

ABSTRACT

The automotive industry plays a significant role in global gas emissions. Specifically, it has a positive impact on the greenhouse effect. The focus of this paper is on the importance of SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) systems in optimizing industrial processes within automotive manufacturing and engine management. SCADA contributes to reducing energy consumption and the emission of harmful pollutants such as carbon dioxide and nitrogen oxides. This paper analyzes the technical architecture, specific applications in diesel engine control, and the ecological benefits supported by relevant case studies and empirical data.

Key words: SCADA systems, automotive industry, climate change, industrial automation, emissions reduction

1. УВОД

Климатске промене представљају један од најозбиљнијих изазова у свету данашњице, а аутомобилска индустрија, има значајну улогу у проналажењу решења. У урбаним подручјима, на пример у Европи, више од 70% становништва је насељено у градовима, где саобраћај и индустрија доприносе повећаним концентрацијама загађивача као што су азотни оксиди и честичне материје. Ослобађање оваквог загађења може имати негативан утицај по само становништво (здравствени ризици, убрзано пропадање зграда и кућа, урушавање историјских споменика и локалитета и оштећење вегетације у и око градова) [1].

Смог и дугорочне просечне концентрације штетних једињења као што су: олово, бензен, бензопирен и честичне материје значајно повећавају емисије из друског саобраћаја, који такође доприноси са више од половине емисија азотних оксида и 35% емисија испарљивих органских једињења. Дизел мотори, који су и даље присутни у путничком и теретном саобраћају, такође доприносе емисији честица које лако да уђу у респираторни систем [1].

У настојању да се смањи дати негативни утицај, све заступљенији постају дигитализовани системи управљања и контроле. Најважнији међу алатима ове врсте је SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) систем, који омогућава прикупљање података, откривање различитих одступања и оптимизацију процеса у реалном времену. Због своје прилагодљивости и употребне вредности, SCADA системи се све више користе за повећање енергетске ефикасности и смањење ослобађања штетних честица по околину [2, 3].

Пораст потражње за енергијом услед раста људске популације широм света покреће људе да истовремено траже нове врсте обновљивих извора енергије и смање употребу енергије. Поред

потражње за енергијом, оскудица конвенционалних извора енергије може имати значајну улогу у енергетским истраживањима. При примени различитих метода за смањење потрошње енергије, појављује се феномен енергетске ефикасности. Феномен енергетске ефикасности може се дефинисати као смањење употребе енергије без утицаја на финансијску добит, благостање и квалитет производа. Алтернативни извори енергије који се данас истражују могу се сврстати као: ветар, вода, сунце, природни гас, нафта, таласи, водоник и геотермална енергија. Сваки од ових извора енергије производи електричну енергију, која је у последњим годинама најпопуларнији облик енергије. Одрживост, као снажан доминантан фактор 21. века, приморава више области као што су енергетика, дизајн, производња и аутомобилска индустрија да буду флексибилније и иновативније [4].

2. УТИЦАЈ АУТОМОБИЛСКЕ ИНДУСТРИЈЕ НА КЛИМАТСКЕ ПРОМЕНЕ

Извори енергије који се ослањају на фосилна горива представљају главне загађиваче животне средине и не могу обећати одрживу будућност. Са аспекта одрживости, обновљиви извори енергије као што су ветар и вода представљају добре алтернативе за решавање овог проблема. Електрична возила су у последњим годинама једна од највише дискутованих тема. Поред тога што употреба ових возила омогућава одрживу потрошњу енергије, снабдевање ових возила енергијом из обновљивих извора представља „Yin-Yang“ фигуру. У супротном, сан о чистој животној средини, одрживости енергије и ниском емитовању угљеника не може се остварити. Према извештају Европске агенције за животну средину (ЕЕА), друмски саобраћај чини отприлике 72% емисија у транспортном сектору, при чему

путничка возила чине преко 60% емисија угљен-диоксида из наведеног сектора [3]. Емисије не долазе само из саобраћаја, већ и из производних и логистичких процеса у аутомобилској индустрији (на пример: транспорт компоненти од добављача до фабрике, складиштење, достава на производну линију, повратна логистика, итд.). Данас су фабрике често опремљене роботима (на пример работи за фарбање, заваривање, итд.) и машинама које саме обављају већи део посла. Међутим, због софистицираности те опреме долази до већег утрошка енергије, а самим тим и до повећане потрошње струје и повећаног загађења ваздуха [4].

Дизел мотори као извори азот-моноксида, азот-диоксида и PM2.5 честица су све чешће узрочници респираторних и кардиоваскуларних обољењима. Европска унија (EU) је 2014. године усвојила стандард "Euro 6", који има за циљ да ограничи емисије азотних оксида из дизел возила [5]. Истраживања показују да емисије из возила често премашују прописане граничне вредности, посебно код старијих возила која имају лоше одржаване системе издувних гасова [6].

Аутомобилска индустрија се последњих година ослања на дигитализацију производних процеса, како би боље пратила енергетске токове и емисије. Увођењем SCADA система, било би могуће пратити параметре у реалном времену, оптимизовати потрошњу и аутоматски откривати неефикасности путем индикатора перформанси (KPI), што доприноси повећању еколошке одговорности и смањењу оперативних трошкова [3, 7, 8].

3. АРХИТЕКТУРА И ФУНКЦИОНАЛНОСТ SCADA СИСТЕМА

У фабрици која располаже великим бројем машина је веома тешко константно физички пратити функционалност сваке машине. Управо

тај посао обављаја SCADA систем тако што на рачунару приказује шта која машина ради, да ли функционише на адекватан начин и уколико је потребно омогућава да се одређена функција укључи/искључи на даљину (на пример: пумпе, вентили, аларми, итд.). SCADA представља систем који је дизајниран за надзорну контролу, управљање индустријским процесима и прикупљање података. Улога SCADA система није само да прати, прикупља и обрађује податке, већ и да реагује на основу додељених или унапред дефинисаних аутоматизованих функција. SCADA системи функционишу у сложеним окружењима где се ослањају на мрежу постојећих уређаја и софтверских компоненти, омогућавајући надзор у реалном времену [8].

Иако се с правом могу очекивати значајне уштеде у развоју и одржавању применом SCADA производа за имплементацију контролног система, то не значи да је у питању процес „без труда“. Потреба за правилним инжењерингом не може се довољно нагласити како би се смањио напор у развоју и како би се постигло да систем испуњава све захтеве, буде економичан у развоју и одржавању, као и да буде поуздан и робустан [9].

Основна архитектура SCADA система је сачињена од три кључна нивоа [9, 10]: (1) Хардвер – обухвата сензоре, извршне јединице, контролере као што су PLC (Programmable Logic Controller) и мониторе. Ови уређаји служе за прикупљање података са физичких локација и слање у централни систем. (2) Софтвер – представља „језгро“ SCADA система. Укључује HMI (Human-Machine Interface) који оператерима омогућава да визуелизују податке и интервенишу по потреби, RTU (Remote Terminal Unit) и контролну логику. (3) Комуникационе мреже – обухватају Ethernet, Modbus, OPC UA. Оне служе за пренос података између физичких уређаја [11]. Архитектурни приказ SCADA система се

налази на Слици 1. Овај шематски приказ ствара увид у кључне слојеве система и међусобне везе између компоненти



Слика 1. Архитектура SCADA система [12]

SCADA системи су дизајнирани да обухвате следеће функције [8, 10]:

(1) Управљање алармима – аутоматско препознавање грешака које се визуелно приказују и које оператор мора да потврди.

(2) Историја података – евидентирање вредности процеса које се користе за анализу.

(3) Контролна логика – извршавање кориснички дефинисаних програма који могу активирати, модификовати или онемогућити задатке.

(4) Напредна нумеричка обрада – пружање подршке за извођење аритметичких и логичких операција у реалном времену [13].

(5) Интерфејс и визуализација – обухвата прилагођене приказе, приказе процеса, чување резултата, извоз података у друге аналитичке алате или на физичке медије.

4. SCADA СИСТЕМИ У ОПТИМИЗАЦИЈИ МОТОРА СА УНУТРАШЊИМ САГОРЕВАЊЕМ

Основни задатак SCADA система је прикупљање информација, њихов пренос назад до централне контролне станице, извршавање неопходних анализа и контрола, као и приказивање ових података на HMI екранима оператора. SCADA системи имају широк спектар

примена, готово у свим областима као што су електроенергетски системи, производна и процесна индустрија, аутомобилска индустрија, ваздухопловно инжењерство и системи за контролу саобраћаја и др. Према неким предностима SCADA-базираног контролног система које га чине ефикаснијим у поређењу са конвенционалним контролним системима спадају: праћење у реалном времену, модификација система, отклањање кварова, повећање животног века опреме и аутоматско генерисање извештаја итд. [14].

Ефикасност и еколошки аспекти мотора са унутрашњим сагоревањем у аутомобилској индустрији, представљају предмет унапређења. Иако дизел мотори указују на већи степен енергетске ефикасности у поређењу са бензинским моторима, такође емитују веће количине азотних оксида и честичних материја [5]. На основу овога се може закључити да су бензински мотори далеко боља опција по околину.

Модерни SCADA системи поседују могућност детаљног праћења и контроле параметара рада мотора (температура издувних гасова, притисак у цилиндру и састав мешавине). На основу прикупљених података, постоји могућност извршавања одређених корекција у реалном времену помоћу PLC јединица и PID контролера, што доводи до оптимизације сагоревања и смањења емисија загађивача [14]. Конкретан пример SCADA система је уређај за детекцију цурења који се поставља на усисну грану са циљем побољшања перформанси мотора. Овај уређај функционише тако што одржава правилну пропорцију ваздуха и горива. Тиме се смањује потрошња горива, ваздуха и продужава животног века мотора. Систем за убризгавање горива заменио је улогу распршивача (карбуратора) тако што гориво распршује убризгавањем директно у цилиндру или усисну цев пре или током усисног такта. Овај систем има

три основне целине: уисни део (филтер, уисна цев, пригушни вентил, лептир гаса, уисна грана), подсистем горива (резервоар, пумпа, филтер, регулатор притиска, бризгачка) и управљачки подсистем (сензори, управљачка јединица, актуатори). Код дизел мотора систем за убризгавање чине: пумпа ниског притиска пумпа високог притиска филтер, бризгачка и електронска управљачка јединица. [15] За смањење емисије штетних материја у издовним гасовима мотора у примени су сензори, ламбда сонда, конвертори и филтери. Уз ово решење, PID контролер генерише контролни сигнал, а PLC активира електромагнетни вентил који подешава проток ка цилиндру, чиме се постиже оптималан AFR (однос ваздух-гориво) у свим режимима рада [9].

Поред контроле мотора, SCADA системи могу пронаћи примену и у праћењу емисија издувног система, рецикулацији издувних гасова (EGR), интеграцији са OBD (On-Board Diagnostics) системима. Комбиновањем са IoT (Интернет ствари) сензорима и бежичним мрежама, SCADA пружа могућност прикупљања података са више возила, што отвара простор за одржавање и анализу перформанси возила у реалним условима вожње [6].

5. ЕКОЛОШКЕ ПРЕДНОСТИ SCADA СИСТЕМА

Увођење SCADA система у аутомобилску индустрију омогућило је унапређење праћења и контроле процеса који утичу на потрошњу енергије и емисију штетних гасова. Кроз увид у рад постројења и компоненти производног процеса, SCADA оптимизује рад мотора и управља сагоревањем и емисијама издувних система [2].

Једна од кључних функционалности SCADA система је континуирано праћење емисија угљен-диоксида, азот-монооксида, азот-диоксида и испарљивих органских једињења и њихово аутоматско

евидентирање и алармирање када се прекораче граничне вредности. Уз помоћ ове функције, оператери могу да реагују на одступања, а систем ће аутоматски извршити корективне акције преко PLC контролера [6].

У производним погонима, SCADA омогућава мерење и анализу потрошње енергије машина, линија и смена, што омогућава идентификацију неефикасних процеса. Коришћењем KPI индикатора у SCADA систему, може се систематски радити на смањењу губитака и планирању енергетски ефикаснијег пословања [8].

Студија спроведена у фабрици електричних аутобуса показала је да је увођење SCADA система смањило губитке енергије за 13% и емисије угљен-диоксида за 11% у поређењу са претходним системом без аутоматизованог надзора [4]. У другој студији, SCADA систем је коришћен за оптимизацију сагоревања у моторима где је довео до смањења емисија азот-монооксида и азот-диоксида за 18% и повећања укупне ефикасности система [6].

6. НЕДОСТАЦИ ПРИМЕНЕ SCADA СИСТЕМА

Као главни проблем SCADA система се јавља њихова рањивост на сајбер нападе. Традиционални SCADA системи нису били дизајнирани са безбедношћу као приоритетом, што их чини подложним компромитацији путем неовлашћеног приступа мрежи или физичком систему [12]. Напади који користе рањивости SCADA система могу изазвати озбиљне поремећаје у раду постројења у контексту аутоматизованих процеса у аутомобилској индустрији.

Увођење SCADA система захтева велика улагања. Ово се највише односи на старија постројења која раније нису била дигитализована. Трошкови надоградње хардвера, софтверских лиценци и обуке запослених могу

представљати препреку за брзу имплементацију, посебно у средњим и малим фабрикама [16].

Многе фабрике користе различиту опрему и софтверске платформе различитих произвођача. Недостатак стандардизације може довести до проблема током интеграције SCADA система са постојећим производним линијама и ИТ инфраструктуром [10].

Иако SCADA омогућава аутоматизацију, систем и даље зависи од оператера који морају прегледати податке, реаговати на аларме и доносити одлуке на основу њих. Лоша обука, непажња или погрешно тумачење података могу умањити предности аутоматизације [8].

7. ЗАКЉУЧАК

Примена SCADA система у аутомобилској индустрији представља једно од најзначајнијих технолошких решења у правцу енергетски ефикасне производње. Кроз надзор и управљање индустријским процесима у реалном времену, SCADA оптимизује потрошњу енергије, смањује емисије штетних гасова и унапређује производне линије и постројења. SCADA системи су способни да прецизно идентификују неефикасне изворе енергије, управљање моторима са унутрашњим сагоревањем и интеграцију са контролним системима, чиме постају веома важан алат за трансформацију аутомобилске индустрије.

Међутим, и даље постоје бројни изазови, посебно везани за рањивости у сајбер-безбедности. Поред тога, високи трошкови имплементације и интеграције у постојећу инфраструктуру представљају препреке у старијим и мање развијеним компанијама и фабрикама.

У будућности се очекује да ће развој SCADA система бити додатно унапређен уз помоћ IoT технологија, машинског учења и великих скупова података. Таква интеграција ће омогућити брже и интелигентније доношење одлука, као и

дугорочну стабилност и одрживост процеса.

8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Tomić Jovan, Kušljević Milan, Vidaković Marko, Rajs Vladimir, Smart SCADA system for urban air pollution monitoring, Measurement, br. 58, Elsevier, 2014, str. 138-146.
- [2] Sverko Marko, Grbac Tomislav Goran, Mikuc Marko, SCADA systems with focus on continuous manufacturing and steel industry: A survey on architectures, standards, challenges and Industry 5.0, IEEE Access, br. 10, IEEE, 2022, str. 109395-109430.
- [3] Jamil Muhammad, Khan Muhammad Asif, Ahmad Sajjad, Ahmad Abdul, Impact of an energy monitoring system on the energy efficiency of an automobile factory: A case study, Energies, br. 13(10), MDPI, 2020, str. 2577.
- [4] Savran Ertuğrul, Yavaş Özgür, Energy and carbon loss management in an electric bus factory, Turkish Journal of Electromechanics & Energy, br. 2022, Turkish Electromechanics & Energy Society, 2022, str. 97-110.
- [5] Pourrahmani Hamed, Yavarinasab Alireza, Zahedi Reza, Gharehghani Ali, Mohammadi Mohammad Hossein, Bastani Parviz, Van Herle Jean, The applications of Internet of Things in the automotive industry: A review of the batteries, fuel cells, and engines, Internet of Things, br. 19, Elsevier, 2022, str. 100579.
- [6] Gaska Krzysztof, Generowicz Agnieszka, Gronba-Chyła Anna, Ciula Jakub, Wiewiórska Iwona, Kwaśnicki Piotr, Mala Magdalena, Chyła Krzysztof, Artificial intelligence methods for analysis and optimization of CHP cogeneration units based on landfill biogas as a progress in improving energy efficiency and limiting climate change, Energies, br. 16(15), MDPI, 2023, str. 5732.

- [7] Gaska Krzysztof, Generowicz Agnieszka, SMART computational solutions for the optimization of selected technology processes as an innovation and progress in improving energy efficiency of smart cities—A case study, *Energies*, br. 13(13), MDPI, 2020, str. 3338.
- [8] May Georg, Barletta Ivana, Stahl Bernd, Taisch Marco, Energy management in production: A novel method to develop key performance indicators for improving energy efficiency, *Applied Energy*, br. 149, Elsevier, 2015, str. 46-61.
- [9] Daneels Alain, Salter William, What is SCADA?, *Proceedings of the International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems*, Trieste, Italy, CERN, Geneva, Switzerland, 1999, pp. 339-343.
- [10] Thomas Michael S., McDonald John D., *Power System SCADA and Smart Grids*, CRC Press, 2017.
- [11] *Empowered Automation Solutions, SCADA Architecture*, Empowered Automation Solutions, 2023,
- [12] Ibrahim Mohamed, Elhafiz Rabab, Security Assessment of Industrial Control System Applying Reinforcement Learning, *Processes*, br. 12(4), MDPI, 2024, str. 801.
- [13] Gomez Gomez Juan Antonio, Survey of SCADA systems and visualization of a real-life process, Master's thesis, Department of Electrical Engineering, Division of Automatic Control, Linköping University, Sweden, LITH-ISY-EX-ET-0246-2002, 2002.
- [14] Younas Umair, Durrani Sheeraz, Mehmood Yasir, Designing Human Machine Interface for Vehicle's EFI Engine Using Siemens PLC and SCADA System, *Proceedings of the 13th International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT)*, IEEE, 2015, pp. 186-190.
- [15] Ранчић Милорад, Милетић Милјан, Електромагнетна зрачења у аутомобилима са хибридним и електричним погоном, *Научно-стручни часопис ДИТ*, бр. 43, стр. 67-72, Друштво инжењера Зрењанин, Зрењанин, 2025.
- [16] Babayigit Burak, Abubaker Mohammed, Industrial Internet of Things: A Review of Improvements Over Traditional SCADA Systems for Industrial Automation, *IEEE Systems Journal*, br. 18(1), IEEE, 2024, str. 120-133, doi: 10.1109/JSYST.2023.3270620.

Адреса аутора: Тамара Милић, Висока техничка школа струковних студија у Зрењанину, Ђорђа Стратимировића 23, Зрењанин, Република Србија

е-маил: tamara.milic@vts-zr.edu.rs

Рад примљен: фебруар 2026.

Рад прихваћен: март 2026.



ДОБРИВОЈЕ БОЖИЋ
(1885 – 1967)

Машински инжењер.
Велики српски конструктор,
иноватор и проналазач.
Аутор чувене пнеуматске
кочнице која је примењена
у железницама широм света.

АНАЛИЗА МЕХАНИЗАМА ВЕЗИВАЊА И ПОЗИЦИОНИРАЊА ГЕОМЕТРИЈЕ У 3D CAD СОФТВЕРУ FREECAD

ANALYSIS OF ATTACHMENT AND MAP MODE MECHANISMS IN THE 3D CAD SOFTWARE FREECAD

ДУШАН МАЛИЋ¹
АЛЕКСАНДАР РАЈИЋ¹

¹Висока техничка школа струковних студија у Зрењанину

РЕЗИМЕ

У раду је представљена анализа механизма везивања тј. придруживања (*енгл. Attachment*) и механизма позиционирања (*енгл. Map Mode*) геометрије у 3D CAD софтверу FreeCAD. Полазиште је идеја параметарског моделирања, где креирана геометрија није статичан облик већ скуп међусобно повезаних параметара који се могу мењати и прилагођавати. FreeCAD, као бесплатан софтвер отвореног кода, омогућава корисницима да кроз поменуте механизме прецизно дефинишу односе између објеката и њихово позиционирање у 3D простору.

Приказани пример у овом раду, показује да комбинација везивања и позиционирања геометрије обезбеђује флексибилност, прецизност и поузданост у процесу моделирања. Пример је реализован у радном окружењу „пројектовање дела“ (*енгл. Part Design*) софтвера FreeCAD.

Кључне речи: 3D CAD, FreeCAD, везивање геометрије, позиционирање геометрије, параметарско моделирање

ABSTRACT

This paper presents an analysis of the Attachment and the Map Mode mechanism in the FreeCAD 3D CAD software. The starting point is the concept of parametric modeling, where the created geometry is not a static shape but rather a set of interconnected parameters that can be modified and adapted. FreeCAD, as a free and open-source software, enables users to precisely define relationships between objects and their positioning in 3D space through these mechanisms.

The example presented in this paper demonstrates that the combination of geometry attachment and positioning provides flexibility, accuracy, and reliability in the modeling process. The example was implemented in the “Part Design” workbench of FreeCAD.

Key words: 3D CAD, FreeCAD, geometry attachment, geometry positioning, parametric modeling

1. УВОД

Развој савремених CAD (*енгл. CAD - Computer-Aided Design*) софтвера који се користе за инжењерски дизајн, индустријско обликовање, у машинству, архитектури, итд., базира се на премиси да геометрија не треба да буде само статички облик, већ треба да буде скуп међусобно повезаних параметара који се од стране корисника могу модификовати и прилагођавати.

FreeCAD, између осталих CAD погодности, омогућава корисницима да кроз функције везивања геометрије и позиционирања геометрије прецизно дефинишу односе између објеката као и њихово позиционирање у 3Д простору. Њихова примена корисницима омогућава већу флексибилност у моделирању, јер се свака измена у основним параметрима аутоматски преноси на повезане елементе, чиме се обезбеђује конзистентност целокупног модела.

Параметарско моделирање у CAD софтверима базира се на принципу да се креирана геометрија димензионише кроз скуп контролисаних величина, чиме нам је омогућено да једноставном изменом параметара извршимо мењање сложених креираних облика [1]. Другим речима, у стаблу модела омогућено нам је да се брзо и лако вратимо у неку раније креирану скицу (*енгл. Sketch*) или типски облик (*енгл. Feature*) и променом постојећих параметара направимо жељене промене и самим тим креирамо и нови модел. Овако можемо брзо добити различите варијанте модела, тј. производа, јер основну геометрију у скици или типски облик не креирамо поново, већ се исти прилагођавају новим вредностима промењених параметара. За параметарско моделирање можемо рећи да оно представља фундамент савременог CAD пројектовања, јер нам омогућава да обликујемо, мењамо и оптимизујемо сложене моделе на начин који обезбеђује флексибилност, прецизност и ефикасност у процесу 3D CAD моделирања.

2. 3D CAD СОФТВЕР FREECAD

FreeCAD, као бесплатан тј. отвореног кода (*енгл. open source*) параметарски 3D CAD софтвер, који је првенствено намењен за машинско инжењерство и пројектовање нових производа, данас са својом генеричком природом омогућава примену и у архитектури, анализи коначних елемената (*енгл. FEA – Finite Element Analysis*), 3Д штампи и другим областима.

Како поседује сличне алате попут комерцијалних 3D CAD софтвера (нпр. SolidWorks, Catia, итд.), можемо га сврстати у CAD, CAE (*енгл. CAE – Computer-Aided Engineering*), PLM (*енгл. PLM – Product Lifecycle Management*) и BIM (*енгл. BIM – Building Information Modeling*) софтверске системе. FreeCAD има модуларну архитектуру која је заснована на карактеристикама које омогућавају проширивање његових основних функционалности, а да при томе не мењамо основни систем, што га чини врло прилагодљивим CAD софтверским решењем. FreeCAD омогућава и реализацију 2Д скицирања и израде техничких цртежа, али његов примарни фокус је на 3Д моделирању [4], [5].

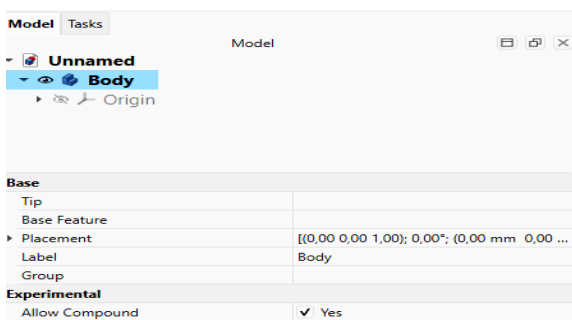
Сам софтвер је мултиплатформски, тј. омогућава идентичну функционалност на хардверу са оперативним системима Windows, macOS и Linux, и доступан је за легално бесплатно преузимање [6].

3. МЕХАНИЗАМ ВЕЗИВАЊА ГЕОМЕТРИЈЕ – ATTACHMENT

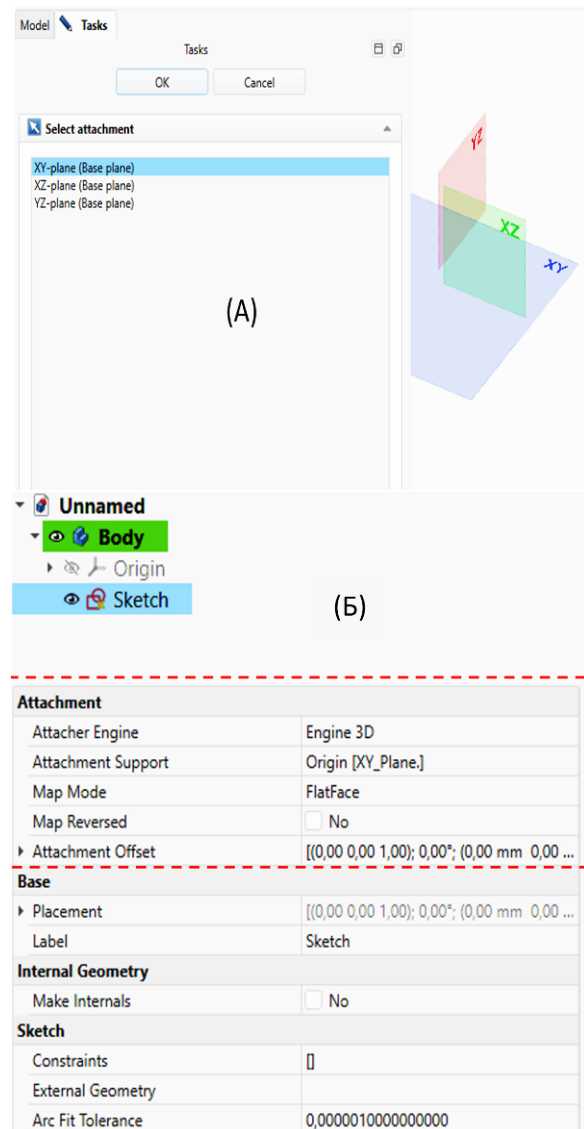
Везивање геометрије представља механизам којим се један објекат (скица или референтна геометрија, нпр. референтна раван (*енгл. Datum Plane*)) везује за други референтни елемент модела, као што су површине (*енгл. Face*), ивице (*енгл. Edge*) или тачке (*енгл. Vertex*). Можемо рећи да механизам везивања геометрије одређује како је објекат везан за свог „родитеља“.

Основна функција овог механизма је да обезбеди да положај и оријентација везаног објекта увек зависе од промене основне геометрије. Иако у стаблу модела селекујемо скицу коју желимо да вежемо за други референтни елемент датог модела, оно што се заправо везује јесте геометрија у 3Д простору креирана у скици. Другим речима, „Attachment“ не везује само скицу као ентитет, већ дефинише како се геометрија која је креирана у скици позиционира у 3Д простору.

Иако приликом почетног креирања новог тела (енгл. *Body*), у коме ће се налазити све скице, сви типски облици, као и све оно што ћемо радити у неком од радних окружења (енгл. *Workbench*) није омогућен механизам везивања геометрије (слика 1.), исти ће нам бити омогућен приликом креирања прве скице (слика 2.- (Б)). На слици 2 (А) је приказан прозор са могућим одабиром једне од три основне равни. Ове равни су равни глобалног координатног система, док ћемо у скици радити у равни са локалном координатним системом која ће у овом нашем случају бити везана за ХУ раван глобалног координатног система. У нашем случају осе глобалног координатног система и локалног координатног система у скици ће се поклапати, али да смо на пример одабрали ХЗ раван, онда то не би био случај. На слици 2 (Б) можемо видети да скицу креирамо у равни која је везана на ХУ раван глобалног координатног система (*Attachment Support: Origin (XY_Plane)*), а режим мапирања је равна површина (*Map Mode: FlatFace*).



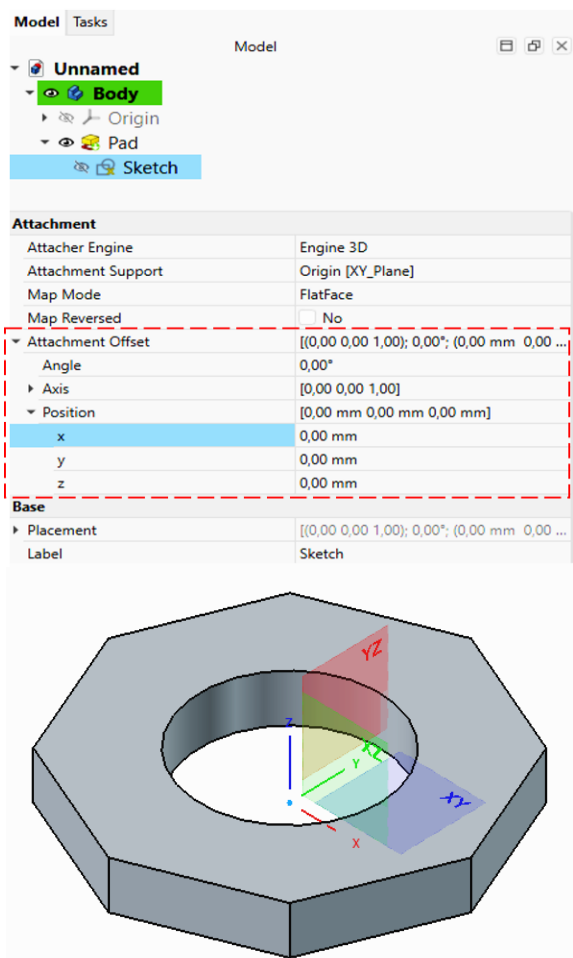
Слика 1. Креирање новог тела



Слика 2. Активиран механизам везивања за креирану скицу

Када креирамо нашу жељену скицу и над њом применимо неку од типских форми (у нашем случају је у питању типска форма извлачење (енгл. *Pad*)) добићемо у стаблу модела приказ типског облика, а у радној површини изглед креираног модела.

Креирани модел у 3Д простору можемо ротирати око x, у и/или z осе за жељени угао, а такође и померати (позиционирати) тако што ћемо у стаблу модела селекувати скицу, а у прозору „Data“ који се налази испод стабла модела у „Attachment/Attachment Offset/Position“ дефинисати удаљеност у односу на постојећи положај по x-оси, у-оси и/или z-оси (слика 3).



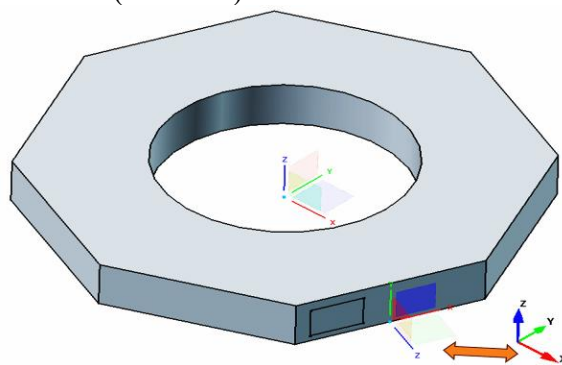
Слика 3. Могуће позиционирање скице/типског облика у 3Д простору

4. МЕХАНИЗАМ ПОЗИЦИОНИРАЊА ГЕОМЕТРИЈЕ – MAP MODE

Позиционирање геометрије представља механизам који нам омогућава да контролисано позиционирамо креирану скицу или референтну геометрију у односу на одабрани елемент модела (површину, ивицу или тачку), чиме ћемо избећи ручно ротирање или померање. У односу на везивање којим вршимо повезивање објекта са површином, ивицом или тачком, позиционирањем геометрије нам је омогућено да одредимо начин на који се геометрија пресликава и оријентише у простору.

На постојеће површине креираног типског облика можемо да мапирамо ново креирану скицу/е, тако што ћемо

прво селектовати жељену површину на типском облику. Коју год површину на типском облику селекујемо, она ће бити мапирана као подразумевана (радна) равна површина за површину на којој ћемо креирати нову скицу. Пошто извршимо селекцију површине, покрећемо креирање нове скице. Када покренемо креирање нове скице, ХУ раван на коју ћемо креирати скицу биће „поравната“ са селектованом површином типског облика. Скицу цртамо у 2Д равни која има своју х и у осу и исте се по правцу можда неће поклапати са правцима оса глобалног координатног система (слика 4.).



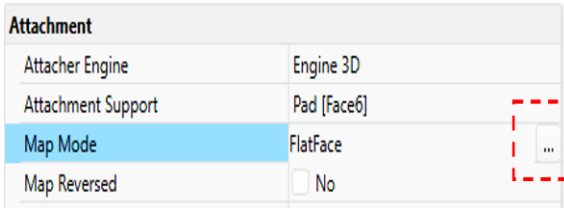
Слика 4. Креирање нове скице на површину постојећег типског облика

Пошто завршимо са креирањем скице у прозору „Data“ испод стабла модела ће нам бити приказана површина за коју је 2Д раван скице везана (*Attachment Support*), да је скица нацртана на равној површини (*Map Mode: FlatFace*) као и могућност ротирања (*Angle*) и померања (*Position*) равни скице (*Attachment Offset*), а самим тим и саме скице у 3Д простору, што је представљен на слици 5.

Attachment	
Attacher Engine	Engine 3D
Attachment Support	Pad [Face6]
Map Mode	FlatFace
Map Reversed	<input type="checkbox"/> No
Attachment Offset	[[0,00 0,00 1,00]; 0,00°; (0,00 mm 0,00 ...
Angle	0,00°
Axis	[0,00 0,00 1,00]
x	0,00
y	0,00
z	1,00
Position	[0,00 mm 0,00 mm 0,00 mm]
x	0,00 mm
y	0,00 mm
z	0,00 mm

Слика 5. Могуће трансформације креиране скице у 3Д простору

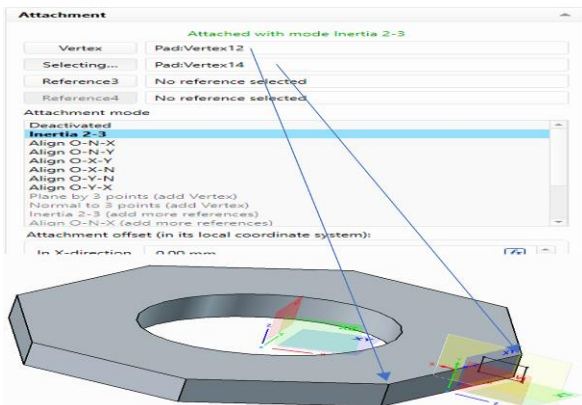
Подразумевану раван на којој смо креирали нашу скицу (у нашем примеру је то геометрија правоугаоник) можемо „преместити“ у простору користећи режим мапирања (енгл. *Map Mode*). У стаблу модела ћемо селектовати жељену скицу и у прозору „Data“ у опцији режим мапирања активирамо тастер са три тачкице (слика 6).



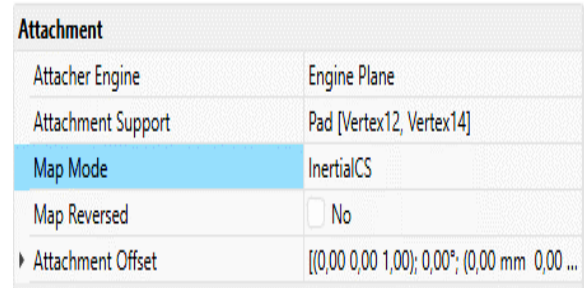
Слика 6. Активирање прозора са својствима везивања подразумеване равни скице

Отвориће нам се нови прозор са својствима механизма везивања (*Attachment*). У њему ће бити приказано постојеће позиционирање равни скице које можемо овде сада да модификујемо, тако што у пољима за референцирање можемо одабрати нову тачку, ивицу или површину за дефинисање новог положаја подразумеване равни креиране скице, као и режим везивања (*Attachment mode*). Ово нам омогућава да извршимо промену постојећег режима мапирања скице.

Ми ћемо у нашем овде примеру извршити позиционирање подразумеване равни скице, тако да раван буде нормална на постојећу површину типског облика и на њеној средини (слика 7 и слика 8).



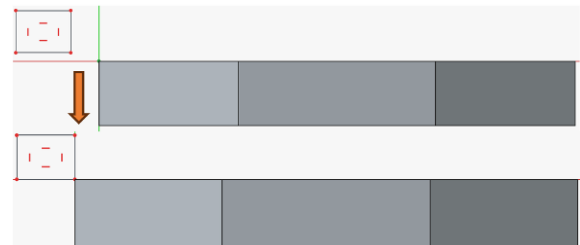
Слика 7. Ново позиционирање равни скице



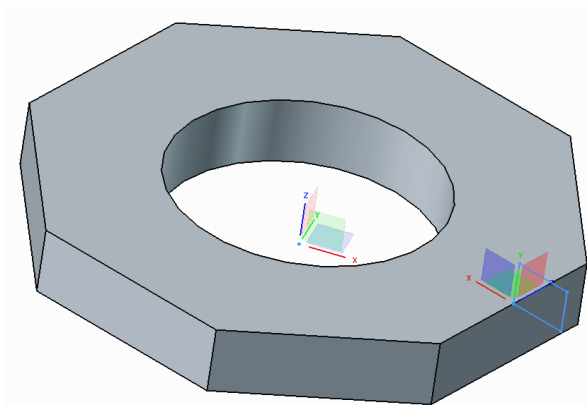
Слика 8. Приказ у прозору „Data“ са ново дефинисаним параметрима везивања и мапирања

Ако пак желимо да дође лево теме правоугаоника се налази на средини горње ивице типског облика (слика 10), отворићемо жељену скицу у *Sketcher*-у и извршићемо померање наше креиране геометрије (правоугаоника) у нови положај (слика 9). Након тога можемо наставити са креирањем модела и креирањем нових типских облика (слика 11) до коначног завршетка нашег модела.

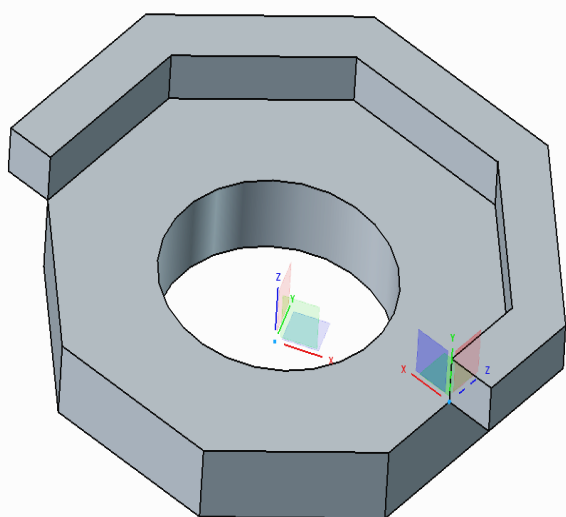
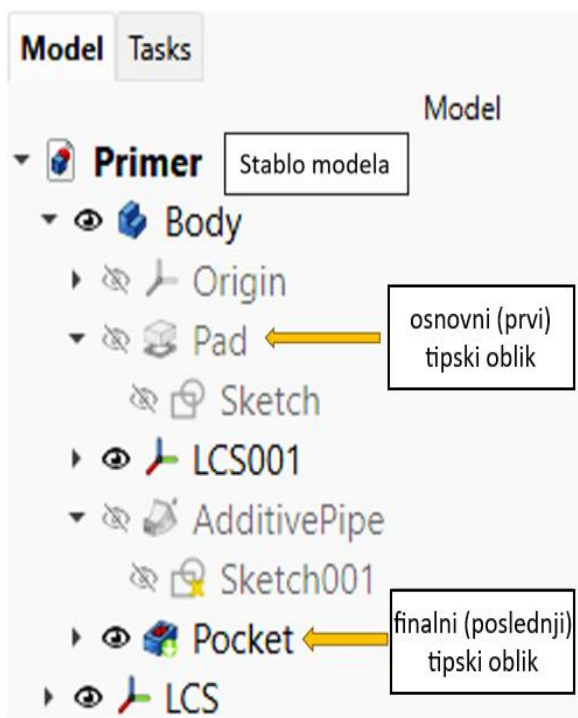
У претходно приказаним корацима приказано је како комбинација механизма везивања и позиционирања геометрије омогућава флексибилно и прецизно позиционирање у процесу параметарског моделирања.



Слика 9. Померање геометрије у *Sketcher*-у



Слика 10. Резултат померања геометрије у *Sketcher*-у



Слика 11. Креирање новог типског облика у моделу

5. ЗАКЉУЧАК

Анализа механизма везивања и позиционирања геометрије у бесплатном 3D CAD софтверу FreeCAD коју смо представили у овом раду показује да механизми везивања тј. придруживања (енгл. *Attachment*) и позиционирања геометрије (енгл. *Map Mode*) представљају базичне алате у процесу параметарског моделирања. Њихова примена омогућава да се скице и референтни елементи понашају у овом

софтверу као динамички повезани делови модела чији положај и оријентација зависе од основне геометрије. Тиме нам је као корисницима овог софтвера обезбеђена прецизност, конзистентност и флексибилност у раду са њим, што је од великог значаја за савремено CAD пројектовање.

Пример представљен у раду јасно показује да комбинација механизма везивања и механизма позиционирања геометрије омогућава кориснику да ефикасно контролише односе између објеката и да без потребе за ручним ротирањем или померањем постигне жељени резултат. Овакав приступ не само да убрзава процес моделирања, већ и повећава поузданост модела, јер свака промена основних параметара подразумевано утиче на повезане елементе у моделу.

Можемо рећи да данашња верзија FreeCAD-а, захваљујући константном развоју овог софтвера и његовој отвореној архитектури, пружа моћан и прилагодљив оквир за 3D CAD параметарско моделирање. Механизми везивања и позиционирања геометрије којима располаже овај софтвер, потврђују да и бесплатан софтвер отвореног кода може да обезбеди напредне могућности које су упоредиве са савременим комерцијалним CAD решењима.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Nerenst, T. B., Ebro, M.; Nielsen, M. H., Eifler, T., Nielsen, K. L., Parametric CAD Modeling: New Principles for Robust Sketch Constraints, *Computer-Aided Design and Applications*, 20(1), 56-81, 2023.
- [2] Mandorli, F., Otto, H. E., Raffaelli, R., Explicit 3D functional dimensioning to support design intent representation and robust model alteration, *Computer-Aided Design and Applications*, 13(1), 108–123, 2016.
- [3] Lieu, D. K., Sorby, S., *Visualization, Modeling and Graphics for engineering*

design, Second Edition, Cengage Learning, Boston, 2017.

- [4] <https://www.freecad.org/> , (датум приступа: 04.01.2026. год.)
- [5] [https://wiki.freecad.org/About FreeCAD](https://wiki.freecad.org/About_FreeCAD) , (датум приступа: 04.01.2026. год.)
- [6] <https://www.freecad.org/downloads.php?lang=en> , (датум приступа: 04.01.2026. год.)

Адреса аутора: Душан Малић, професор струковних студија, Висока техничка школа струковних студија у Зрењанину, Зрењанин, Борђа Стратимировића 23.

е-маил: dusan.malic@outlook.com

Рад примљен: фебруар 2026.

Рад прихваћен: март 2026.



ДОБРИВОЈЕ БОЖИЋ (1885 – 1967)

Машински инжењер.
Велики српски конструктор,
иноватор и проналазач.
Аутор чувене пнеуматске
кочнице која је примењена
у железницама широм света.

UPOTREBA NEURONSKIH MREŽA ZA DETEKCIJU KVAROVA U PREVENTIVNOM ODRŽAVANJU FABRIKE

THE USE OF NEURAL NETWORKS FOR FAULT DETECTION IN FACTORY PREVENTIVE MAINTENANCE

MILJAN MILETIĆ¹
LIDIJA RADOVANOVIĆ¹
MARINA ILIĆ²

¹Akademija strukovnih studija Kruševac, odsek tehničko tehnološki

²Vojnotehnički institut u Beogradu, Beograd

REZIME

U ovom radu prikazana je primena neuronskih mreža, konkretno konvolucionih neuronskih mreža (CNN), za detekciju kvarova, odnosno identifikaciju potrebe za podmazivanjem kugličnih ležajeva u okviru sistema preventivnog održavanja. Predloženo rešenje odnosi se na mašinu za automatsko poliranje inox kugli, koja radi u otežanim eksploatacionim uslovima usled velike količine prašine nastale tokom procesa brušenja i poliranja. Cilj preventivnog održavanja jeste obezbeđivanje optimalnih radnih uslova, kao što su pravovremeno podmazivanje i zamena dotrajalih komponenti, kako bi se sprečili neplanirani zastoji i havarije sistema. Kritične komponente posmatrane mašine su motori za pogon brusnih elemenata, trofazni asinhroni motori snage 5,5 kW pri 2800 o/min, kao i motor valjka snage 2,2 kW pri 800 o/min. U navedenim motorima ugrađeni su kuglični ležajevi i zaptivni elementi (semerinzi), čija je funkcija zaštita ležajeva od prodora prašine, abrazivne paste, kapljica vode i drugih štetnih materija. Razvijeno rešenje omogućava pravovremenu procenu stanja ovih elemenata i blagovremeno obaveštavanje osoblja održavanja, čime se

smanjuje rizik od otkaza opreme i povećava pouzdanost proizvodnog procesa.

Cljučne reči: konvoluciona neuronska mreža (CNN), motor krpca, motor valjak, preventivno održavanje, kuglični ležaj.

ABSTRACT

This paper presents the application of neural networks, specifically convolutional neural networks (CNN), for fault detection, i.e. identification of the need for lubrication of ball bearings within the preventive maintenance system. The proposed solution refers to a machine for automatic polishing of stainless steel balls, which works in difficult operating conditions due to the large amount of dust generated during the grinding and polishing process. The goal of preventive maintenance is to ensure optimal working conditions, such as timely lubrication and replacement of worn components, in order to prevent unplanned downtime and system breakdowns. The critical components of the observed machine are motors for driving grinding elements, three-phase asynchronous motors with a power of 5.5 kW at 2800 rpm, as well as a roller motor with a power of 2.2 kW at 800 rpm. Ball bearings and sealing elements (semirings) are

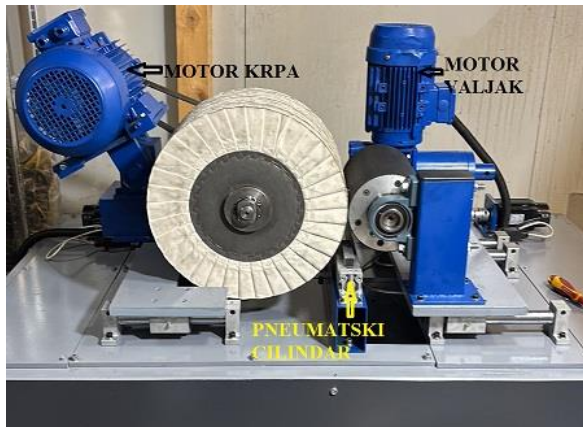
installed in the aforementioned engines, whose function is to protect the bearings from the penetration of dust, abrasive paste, water droplets and other harmful substances. The developed solution enables timely assessment of the state of these elements and timely notification of maintenance personnel, thereby

reducing the risk of equipment failure and increasing the reliability of the production process.

Key words: convolutional neural network (CNN), mop motor, roller motor, preventive maintenance, ball bearing.

1. UVOD

Da bi se razumeli problemi do kojih dolazi prilikom rada ove mašine biće predstavljena mašina na slici 1. Mašina se sastoji od valjka koji pokreće motor 1, čija je uloga držanja i rotiranja inox kugli, motora 2 koji pokreće abrazivno sredstvo ili krpu za poliranje, pneumatskog cilindra za kretanje inox elementa između valjka i krpe.



Slika 1. Prikaz delova mašine za poliranje inox elemenata

Za potrebe praćenja stanja kugličnih ležajeva korišćeni su različiti tipovi senzora, kako bi se obuhvatili relevantni fizički fenomeni koji prethode pojavi otkaza. Vibracioni signali prikupljeni su pomoću piezoelektričnih akcelerometara montiranih na kućištima elektromotora, u radijalnom i aksijalnom pravcu. Akustički signali snimani su pomoću industrijskog mikrofona (slika 2), pozicioniranog u neposrednoj blizini ležajnih sklopova, čime su obuhvaćene promene u zvučnom spektru koje nastaju usled povećanog trenja, oštećenja staza kotrljanja ili nedostatka podmazivanja. Dodatno, električni signali motora, odnosno struje u fazama trofaznih asinhronih motora, mereni su pomoću strujnih senzora, jer promene mehaničkog stanja

ležajeva mogu indirektno uticati na elektromagnetne karakteristike pogona.



Slika 2. Industrijski mikroskop ugrađen u kućište za montažu

Svi signali su sinhrono uzorkovani i digitalizovani, a zatim segmentirani u vremenske prozore odgovarajuće dužine kako bi se omogućila dalja obrada i analiza.

2. RAZLOG IZBORA CNN MREŽE

Tradicionalne metode dijagnostike ležajeva najčešće se zasnivaju na analizi vibracija u frekvencijskom domenu, primenom brze Furijeove transformacije (FFT), kao i na izračunavanju statističkih pokazatelja u vremenskom domenu, poput efektivne vrednosti (RMS), faktora vrha (crest factor), asimetrije (skewness) i spljoštenosti (kurtosis) [1]. Iako su ove metode standardizovane i široko primenjivane, one zahtevaju visok stepen stručnog znanja pri izboru karakterističnih frekvencija i interpretaciji rezultata, naročito u uslovima složenog industrijskog okruženja sa visokim nivoom šuma [2].

U otežanim radnim uslovima, kakvi vladaju u posmatranoj mašini za poliranje inox kugli (prisustvo abrazivne prašine, promenljivo opterećenje i spoljni poremećaji), klasične metode često ne omogućavaju dovoljno robusnu i pouzdanu detekciju ranih

faza degradacije ležajeva. Konvolucione neuronske mreže omogućavaju automatsko učenje hijerarhijskih reprezentacija signala, bez potrebe za ručno definisanim obeležjima [3]. CNN modeli su naročito pogodni za obradu vremensko-frekvencijskih reprezentacija signala (npr. spektrograma ili skalograma), gde mogu efikasno da identifikuju suptilne obrasce povezane sa početnim stadijumima oštećenja ili nedostatkom podmazivanja [1-3].

Dodatna prednost primene CNN-a ogleda se u njihovoj sposobnosti generalizacije na nove radne režime i u smanjenju subjektivnosti u procesu donošenja odluka, što je od posebnog značaja za sisteme preventivnog i prediktivnog održavanja.

3. ARHIKTEKTURA PRIMENJENE CNN MREŽE

U predloženom sistemu za dijagnostiku stanja kugličnih ležajeva korišćena je konvoluciona neuronska mreža projektovana za obradu vremensko-frekvencijskih reprezentacija mernih signala. Ulaz u mrežu čine dvodimenzionalne slike dobijene transformacijom sirovih signala vibracija, akustike i struje motora u spektrogram ili skalogram pomoću kratkotrajne Furijeove transformacije (STFT) ili kontinuirane talasne transformacije (CWT) [4].

Ulazni podaci su normalizovane slike dimenzija $224 \times 224 \times 1$ (grayscale), pri čemu svaki uzorak predstavlja jedan vremenski prozor merenog signala.

Mreža se sastoji od tri uzastopna konvoluciona bloka:

Conv Block 1:

Konvolucioni sloj sa 32 filtera dimenzija 3×3

Funkcija aktivacije: ReLU

Max pooling sloj (2×2)

Conv Block 2:

Konvolucioni sloj sa 64 filtera dimenzija 3×3

Funkcija aktivacije: ReLU

Max pooling sloj (2×2)

Conv Block 3:

Konvolucioni sloj sa 128 filtera dimenzija 3×3

Funkcija aktivacije: ReLU Max pooling sloj (2×2). Potpuno povezani deo (Fully Connected Layers). Izlaz konvolucionog dela se spljoštava (flatten) i prosleđuje ka potpuno povezanim slojevima:

Dense sloj sa 128 neurona, ReLU aktivacija.

Dropout sloj ($p = 0,5$) radi smanjenja preprilagođavanja. Izlazni sloj sa Softmax aktivacijom.

Izlazni sloj vrši klasifikaciju u unapred definisane klase, Normalno stanje ležaja MOTOR OK

Početna degradacija nedostatak podmazivanja

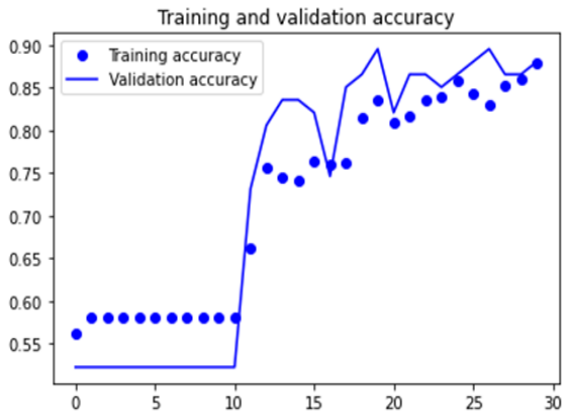
Izraženo oštećenje ležaja MOTOR NOK.

Mreža je trenirana pomoću Adam optimizatora, uz funkciju gubitka categorical cross-entropy [5].

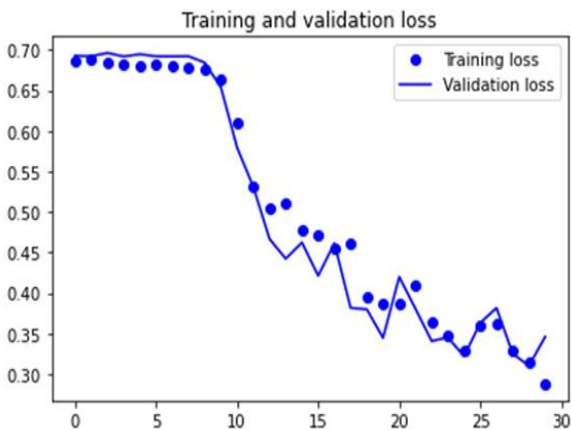
CNN pristup omogućava pouzdaniju identifikaciju suptilnih obrazaca u signalima koji nisu uočljivi klasičnim statističkim i spektralnim analizama, naročito u industrijskim uslovima sa visokim nivoom smetnji [6].

4. REZULTATI PRIMENJENOG REŠENJA

Za ispitivanje određenih podataka audio signala sa kugličnih ležajeva motora krpe, korišćen je razvijeni CNN mrežni model. Ovaj skup podataka obuhvatao je ukupno 628 uzoraka, od kojih su 232 uzorka kategorisana kao tip LOK (OK ležajevi) i 396 uzoraka klasifikovanih kao tip LNOK (NOK ležajevi). Model je treniran korišćenjem serije od 64 i 30 epoha, a da bi se rešila ograničena veličina skupa podataka, korišćena je k-struka unakrsna validacija sa $k = 10$. Tačnost treniranja i validacije, zajedno sa gubitkom, ilustrovana je na slikama 3 i 4, dok slika 5 sumira preciznost, prisetljivost, F1 rezultate i podršku za testni skup [1].



Slika 3. Procenat tačnosti učenja za motora krpce za klasu kugličnih ležajeva LOK i LNOK



Slika 4. Gubitak tačnosti učenja motora krpce za klasu kugličnih ležajeva LOK i LNOK

Класа	Прецизност	Опозив	F1-оцена	Подршка
Класа 0	0.88	0.88	0.88	42
Класа 1	0.80	0.80	0.80	25
Таčnost		0.85		67
Macro avg	0.84	0.84	0.84	67
Weighted avg	0.85	0.85	0.85	67

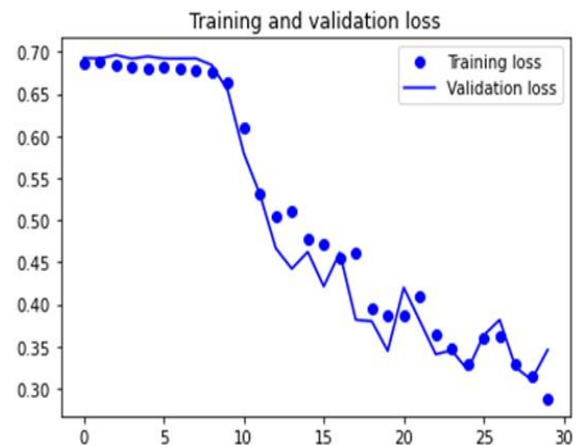
Slika 5. Preciznost, opoziv, F1 ocena i broj test uzoraka postignuti primenom razvijene CNN na nabavljeni set označenih uzoraka zvuka motora krpce, kugličnih ležajeva (klasa 0 je vezana za LNOK motore, a klasa 1 za LOK motore)

Podaci audio signala iz motora sa zaptivnim prstenom analizirani su primenom razvijenog CNN modela. Skup podataka je obuhvatao ukupno 568 uzoraka, od kojih je 180 uzoraka identifikovano kao SOK (zaptivni prsten OK) i 388 uzoraka identifikovanih kao SNOK (zaptivni prsten NOK). Model je prošao obuku koristeći seriju od 64 i 30 epoha. Da bi se ublažila

ograničenja koja nameće ograničena veličina skupa podataka, korišćena je metoda k-struke unakrsne validacije sa k podešenim na 10. Slike 6 i 7 prikazuju tačnost obuke i validacije, zajedno sa gubitkom modela, pokazujući efikasne performanse i na skupovima podataka za obuku i za validaciju. Tačnost zabeležena na testnom skupu, koji se sastoji od 67 uzoraka, iznosi 0,82, dok je povezani gubitak testa 0,33. Slika 8 sumira preciznost, prisetljivost, F1 rezultate i podršku (broj uzoraka iz testnog skupa podataka) [1].



Slika 6. Procenat tačnosti učenja za motora krpce za klasu kugličnih ležajeva SOK i SNOK



Slika 7. Gubitak tačnosti učenja motora krpce za klasu kugličnih ležajeva SOK i SNOK

Класа	Прецизност	Опозив	F1-оцена	Подршка
Класа 0	0.92	0.79	0.85	42
Класа 1	0.71	0.88	0.79	25
Тачност	0.82	0.82	0.82	67
Macro avg	0.81	0.83	0.82	67
Weighted avg	0.84	0.82	0.82	67

Slika 8. Preciznost, opoziv, F1 ocena i broj test uzorak postignuti primenom razvijene CNN na nabavljeni set označenih uzoraka zvuka motora krpice semeringa (klasa 0 je vezana za SNOK motore, a klasa 1 za SOK motore)

5. ZAKLJUČAK

U prethodnim poglavljima, razjašnjene su kategorizacije ispravnosti motora, krpica, valjaka, zaptivki motora i kugličnih ležajeva, kako u prisustvu, tako i u odsustvu kvarova. Ova klasifikacija se zasniva na zvucima koje ovi motori proizvode tokom rada. Da bi se postigla ova klasifikacija, audio signali koji snimaju 5 sekundi zvuka motora transformisani su u mel-spektrograme. Oni su potom korišćeni kao ulaz za razvijeni CNN klasifikator. Izbor mel-spektrograma kao odgovarajućih slika motivisan je njihovom sposobnošću da postignu ravnotežu između veličine slike (rezolucije) i očuvanja ključnih karakteristika audio signala. Ovaj pristup osigurava da se važne informacije zadrže uz održavanje upravljive veličine slike. Razvijena CNN mreža, dizajnirana za klasifikaciju motora, zaptivki i ležajeva, sastoji se od dva glavna bloka: konvolucionog bloka i potpuno povezanog bloka. Početni blok obuhvata pet uzastopnih sekvenci slojeva konvolucije, aktivacije, objedinjavanja i ispuštanja. Nasuprot tome, drugi blok se sastoji od pet potpuno povezanih slojeva. Uprkos ograničenom broju uzoraka, postignuta je impresivna stopa tačnosti od 89% za motore, 82% za zaptivke i 85% za kuglične ležajeve. U ovom istraživanju, proces obeležavanja subjektivno sprovode operateri u postrojenju, oslanjajući se na sopstvenu sposobnost da opaže razlike u zvucima motora. Naknadna analiza obeležavanja i klasifikacije biće sprovedena sa najvećom pažnjom. Da bi se rešilo pitanje šuma u audio uzorku, biće istraženi različiti pristupi. Jedan takav pristup uključuje

ažuriranje ciljne oznake kombinovanjem trenutnih predviđanja modela sa ciljnom oznakom koja sadrži šum korišćenjem konveksne kombinacije.

7. LITERATURA

- [1] D. Ćirić, M. Janković, M. Miletić, "Sound Based DC Motor Classification by a Convolution Neural Network", Proc. of 57rd Int. Sci. Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies, pp. 1-4, 2022.
- [2] Ćirić, D.G.; Perić, Z.H.; Vučić, N.J.; Miletić, M.P. Analysis of Industrial Product Sound by Applying Image Similarity Measures. Mathematics 2023, 11, 498. <https://doi.org/10.3390/math11030498F>.
- [3] Đorđe Damnjanović, Dejan Ćirić, Miljan Miletić, Dejan Vučić, "Usage of different wavelet families in DC motor sounds feature analysis", Proceedings of 7th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering, IcETRAN 2020, pp. 43-48, Belgrade, Čačak, Niš, Novi Sad, Serbia, 28-29 September, 2020, Publisher: Etran Society, Akademska misao, ISBN 978-86-7466-852-8.
- [4] Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton, "Deep learning," IEEE Signal Processing Magazine, vol. 29, no. 6, pp. 82–97, 2015.
- [5] W. Zhang, G. Peng, C. Li, Y. Chen, and Z. Zhang, "A new deep learning model for fault diagnosis with good anti-noise and domain adaptation ability on raw vibration signals," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 64, no. 5, pp. 4170–4180, 2017.
- [6] Z. Chen, K. Gryllias, and W. Li, "Mechanical fault diagnosis using convolutional neural networks and discrete wavelet transform," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 66, no. 2, pp. 1334–1343, 2019.

Adresa autora: Miletić Miljan, Akademija strukovnih
studija Kruševac, odsek tehničko tehnološki
e-mail: mmelektronik1@gmail.com
Rad primljen: februar 2026.
Rad prihvaćen: mart 2026.



ДИТ

Друштво Истраживање Технологије

Научно-стручни часопис
Scientific-professional journal

Година XXXII, Број 45, март 2026. год.
Year XXXII, Issue 45, March 2026. year

ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО

Одговорни уредник:

Проф. др Жељко Еремић
Висока техничка школа струковних студија
Зрењанин

Редакцијски одбор:

Проф. др Ранко Зотовић,
Универзитет Политехника Валенција,
Шпанија

Проф. др Дејан Раковић,
Електротехнички факултет
Универзитет у Београду

Др Миљан Милетић,
Професор, Академија струковних студија
Крушевац

Редакција:

Друштво инжењера Зрењанин
ул. Македонска 11,
23000 Зрењанин
E-mail: milorad.rancic@diz.org.rs
www.diz.org.rs

ПРИМЕНА КОНВОЛУТИВНИХ НЕУРОНСКИХ МРЕЖА У ПОЉОПРИВРЕДИ

APPLICATION OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS IN AGRICULTURE

МАША КНЕЖЕВИЋ¹
БРАНКО МАРКОСКИ¹

¹Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад

РЕЗИМЕ

Овај рад истражује примену конволутивних неуронских мрежа (CNN) у области пољопривреде, са фокусом на детекцију и класификацију болести биљака на основу слика лишћа. У теоријском делу приказани су основни принципи функционисања CNN модела, док је посебна пажња посвећена архитектурама AlexNet и ResNet-50. Анализом резултата два рада из новије литературе показано је да ResNet-50 постиже нешто боље резултате у односу на AlexNet, са просечном разликом у тачности од 1% до 3%. Разлике произилазе из дубље архитектуре и употребе резидуалних веза код ResNet-50 модела, што омогућава ефикасније учење комплексних образаца. Рад указује на велики потенцијал примене CNN технологија у развоју интелигентних система за надзор и унапређење пољопривредне производње.

Кључне речи: CNN, пољопривреда, AlexNet, ResNet-50, детекција болести биљака

ABSTRACT

This paper explores the application of Convolutional Neural Networks (CNNs) in agriculture, with a focus on the detection and classification of plant diseases based on leaf images. The theoretical section presents the fundamental principles of CNN functioning, while particular attention is given to the AlexNet and ResNet-50 architectures. Analysis of two recent research studies shows that ResNet-50 achieves slightly better results compared to AlexNet, with an average accuracy difference ranging from 1% to 3%. The differences arise from the deeper architecture and the use of residual connections in the ResNet-50 model, which enables more efficient learning of complex patterns. The paper highlights the great potential of CNN technologies in the development of intelligent systems for monitoring and improving agricultural production.

Key words: CNN, agriculture, AlexNet, ResNet-50, plant disease detection

1. УВОД

Савремена пољопривреда се суочава са бројним изазовима као што су болести биљака, штеточине, климатске промене и

смањење доступне радне снаге. Рано откривање и прецизна дијагностика биљних болести могу значајно смањити губитке у производњи и омогућити ефикасније коришћење ресурса. У том

контексту, примене вештачке интелигенције и посебно дубоког учења постале су кључни фактори развоја прецизне пољопривреде.

Једна од најуспешнијих архитектура дубоких неуронских мрежа за обраду слика су конволутивне неуронске мреже (CNN – Convolutional Neural Networks). Оне се истичу способношћу да аутоматски издвајају карактеристике из слика, без потребе за ручним дефинисањем карактеристика као код класичних метода машинског учења. Ово их чини посебно погодним за задатке попут препознавања болести на листовима биљака, класификације усева, детекције корова или контроле квалитета пољопривредних производа.

Циљ овог рада је да се прикаже основни принцип функционисања конволутивних неуронских мрежа, као и њихова примена у пољопривреди. Посебан нагласак је стављен на поређење два позната модела — AlexNet и ResNet-50, на основу резултата из релевантне литературе, ради процене њихове успешности у детекцији биљних болести.

2. ТЕОРИЈСКИ ОКВИР

Вештачке неуронске мреже представљају рачунарске моделе инспирисане радом људског мозга. Састоје се од великог броја једноставних јединица – вештачких неурона, који су повезани у слојеве. Сваки неурон прима улазне сигнале, множећи их са одређеним тежинама, сабира их и примењује активациону функцију (нпр. ReLU, sigmoid, tanh), чиме се добија излазни сигнал.

Процес учења у неуронским мрежама подразумева прилагођавање тежина на основу грешке између предвиђеног и стварног излаза. Најчешће се користи алгоритам повратног ширења грешке (Backpropagation) у комбинацији са неким оптимизатором, као што су SGD (Stochastic Gradient Descent) или Adam. Неуронске мреже се показују изузетно

ефикасним у задацима као што су класификација, регресија, препознавање говора и слика, предвиђање вредности и анализа комплексних образаца у подацима. [1]

Конволутивне неуронске мреже су специјализована врста дубоких неуронских мрежа дизајнирана за анализу визуелних података – најчешће слика. Њихова основна предност је у томе што могу аутоматски да издвоје карактеристике из слика, без потребе за ручним одређивањем параметара као што су облик, боја или текстура. [2]

CNN модели се састоје од неколико типова слојева:

- Конволутивни слојеви (Convolutional Layers): Ови слојеви користе мале филтере (нпр. 3×3 или 5×5) који се „померају“ преко слике и откривају локалне шаблоне – ивице, углове, структуре и текстуре. Сваки филтер учи одређену карактеристику током тренинга.
- Pooling слојеви (Subsampling-Downsampling): Њихова сврха је да смање просторну димензију података (висину и ширину), што смањује број параметара и ризик од пренаглашеног учења. Најчешће се користи max pooling (узимање највеће вредности у одређеној области).
- Потпуно повезани слојеви (Fully Connected Layers): Смештени су на крају CNN архитектуре и комбинују све издвојене карактеристике како би донели финалну одлуку о класификацији.
- Dropout и Batch Normalization: Ови механизми се често користе ради побољшања стабилности тренинга и спречавања пренаглашеног учења (overfitting).

Једна о предности CNN мрежа је у могућности извлачења сложених карактеристика из слика без потребе за ручним инжењерингом. CNN мреже омогућавају висок ниво тачности у задацима за класификације и препознавање образаца. Да би

конволутивна неуронска мрежа могла да оствари свој потпуни циљ, потребна је велика количина изначених података за ефикасан тренинг, као и високи рачунарски захтеви.

Једна од најчешћих техника у примени CNN-а у пољопривреди је *transfer learning* – приступ у којем се модел претходно трениран на великом скупу података (нпр. ImageNet) прилагођава на мањи, специфичан скуп (нпр. слике листова болесних биљака). Овим се значајно скраћује време тренинга и побољшава тачност, јер већина основних карактеристика (ивице, облици, текстуре) остаје иста између различитих типова слика. У пракси, ово је кључни разлог због ког модели као што су AlexNet, VGG16, ResNet-50, InceptionV3 и EfficientNet успешно раде у агро-домени. [3]

2.1. ALEXNET

AlexNet представља конволутивну неуронску мрежу која се састоји од осам нивоа обраде, од којих је пет конволутивних, а три потпуно повезана (fully connected) слоја. Први слој прима RGB слике резолуције 227×227 пиксела и врши конволуцију са 96 филтера величине 11×11 , што омогућава издвајање основних карактеристика као што су ивице и облици. У наредним конволутивним слојевима број филтера расте (256, 384, 384, 256), чиме мрежа постепено учи сложеније обрасце као што су текстуре или структуре биљака. Између слојева се користе ReLU активационе функције ради убрзања конвергенције и *max pooling* за смањење димензија слике уз задржавање најважнијих карактеристика. На крају се налазе три потпуно повезана слоја која врше класификацију на основу извучених карактеристика. AlexNet користи технику *dropout* за смањење пренаглашеног учења и *softmax* функцију на излазу за одређивање вероватноће припадности класи. [4]

2.1. RESNET-50

ResNet-50 је дубока конволутивна мрежа са 50 слојева, али захваљујући специфичној архитектури не пати од проблема деградације перформанси при већој дубини. Основна јединица ове мреже је резидуални блок (*residual block*) који садржи два или три конволутивна слоја и *skip connection* — директну везу која заобилази један или више слојева и додаје оригинални улаз на излаз блока. Овај механизам омогућава мрежи да учи промене (резидуалне функције) уместо потпуно нових мапирања, чиме се стабилизује процес учења и побољшава прецизност. ResNet-50 користи *Batch Normalization* за нормализацију излаза сваког слоја и *Global Average Pooling* уместо класичних потпуно повезаних слојева, чиме се смањује број параметара и ризик од пренаглашеног учења. Захваљујући оваквој структури, ResNet-50 ефикасно издваја карактеристике и из веома комплексних слика, као што су различити облици лишћа, плодова или болести биљака у пољопривреди. [5]

3. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА

У новијој литератури се све чешће истражује примена различитих конволутивних архитектура за класификацију и детекцију биљних болести. Посебно место заузимају модели AlexNet и ResNet-50, који представљају два различита приступа у дизајну CNN архитектуре – један класичан и један дубљи, са резидуалним везама.

У раду „Leaf Disease Detection in Plant Care using CNN Architecture: AlexNet and ResNet-50 Models“ [6], аутори су применили оба модела на скуп података који садржи слике листова парадајза и кромпира преузете са Kaggle платформе.

Резултати показују да је AlexNet постигао тачност од 95,9%, док је ResNet-50 достигао 97,3%. Аутори су закључили да је разлика у прецизности последица дубље архитектуре ResNet-50 мреже, која

боље препознаје суптилне разлике у текстури и боји листа, што је од кључног значаја за тачну идентификацију болести.

Слично истраживање спровели су Hukkeri и сарадници (2024) у свом раду [7], где су поредили више CNN модела на PlantVillage dataset-у, који садржи велики број слика различитих биљака и болести. У њиховом истраживању AlexNet је постигао тачност од 87,1%, док је ResNet-50 достигао 89,7%. Аутори су указали да резидуалне везе у ResNet-50 моделу омогућавају стабилније учење и боље генералисање, посебно на сложеним сликама са варијацијама у осветљењу и углу снимања. Такође, исти аутори су тестирали и друге архитектуре као што су VGG16 и EfficientNet, где је ResNet-50 и даље био прецизнији од AlexNet-a, али је EfficientNet остварио најбољи резултат, са прецизношћу већом од 90%. Ови налази указују на континуиран напредак дубоких архитектура у задацима анализе биљних слика, где дубина и оптимизација мреже имају пресудан утицај на тачност класификације.

У целини, може се закључити да ResNet-50 систематски надмашује AlexNet у већини истраживања, иако разлика у резултатима није увек велика (обично од 1% до 3%). Међутим, AlexNet остаје релевантан због своје једноставности, брзине и мање хардверске захтевности, што га чини погодним за примену у реалном времену, као што су мобилне апликације или паметни сензори у пољу.

4. ЗАКЉУЧАК

Примена конволутивних неуронских мрежа у пољопривреди представља један од најефикаснијих приступа за аутоматизовано препознавање и класификацију биљних болести. CNN модели омогућавају обраду велике количине слика и издвајање карактеристика које човек тешко може уочити, што доводи до брже и поузданије дијагностике у пољским условима.

Поређењем модела AlexNet и ResNet-50 може се уочити да дубље и сложеније архитектуре, као што је ResNet-50, у већини случајева постижу нешто боље резултате у односу на класичније моделе. Резидуалне везе које овај модел користи омогућавају стабилније учење, дубљу анализу карактеристика и већу прецизност, што га чини погодним за задатке који захтевају високу поузданост.

С друге стране, AlexNet и даље има своју примену захваљујући мањој сложености и бржој обради података, што је посебно значајно у условима ограничених рачунарских ресурса или када је потребна анализа у реалном времену.

Свеукупно, резултати из анализираних истраживања потврђују да CNN модели имају велики потенцијал у развоју интелигентних система за подршку пољопривреди. Њиховом применом могуће је смањити потребу за ручним надзором, повећати ефикасност производње и допринети одрживом управљању пољопривредним ресурсима. Будућа истраживања могла би бити усмерена ка даљој оптимизацији ових модела, интеграцији са IoT уређајима и развоју лакших архитектура погодних за примену на терену.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Grossi, E. and Buscema, M., 2007. Introduction to artificial neural networks. *European journal of gastroenterology & hepatology*, 19(12), pp.1046-1054.
- [2] Ding, H., Hou, H., Wang, L., Cui, X., Yu, W. and Wilson, D.I., 2025. Application of convolutional neural networks and recurrent neural networks in food safety. *Foods*, 14(2), p.247.
- [3] Sharma, A.K., Nandal, A., Dhaka, A., Alhudaif, A., Polat, K. and Sharma, A., 2025. Diagnosis of cervical cancer using CNN deep learning model with transfer learning approaches. *Biomedical Signal Processing and Control*, 105, p.107639.

- [4] Qiu, J., Lu, X., Wang, X., Chen, C., Chen, Y. and Yang, Y., 2024. Research on image recognition of tomato leaf diseases based on improved AlexNet model. *Heliyon*, 10(13).
- [5] Kansal, K., Chandra, T.B. and Singh, A., 2024. ResNet-50 vs. EfficientNet-B0: multi-centric classification of various lung abnormalities using deep learning. *Procedia Computer Science*, 235, pp.70-80.
- [6] Ajra, H., Majid, M.A., Shohidul Islam, M. and Abdullah, D., 2025. Leaf Disease Detection in Plant Care using CNN Architecture: AlexNet and ResNet-50 Models. *International Journal on Advanced Science, Engineering & Information Technology*, 15(1).
- [7] Hukkeri, G.S., Soundarya, B.C., Gururaj, H.L. and Ravi, V., 2024. Classification of various plant leaf disease using pretrained convolutional neural network on imagenet. *The Open Agriculture Journal*, 18(1).

Адреса аутора: Кнежевић Маша, Мастер инжењер информационих технологија, Канцеларија за информационе технологије и еУправу, Београд, Катићева 14-16
е-маил: masa.knezevic@ite.gov.rs
Рад примљен: фебруар 2026.
Рад прихваћен: март 2026.



ДОБРИВОЈЕ БОЖИЋ
(1885 – 1967)

Машински инжењер.
Велики српски конструктор,
иноватор и проналазач.
Аутор чувене пнеуматске
кочнице која је примењена
у железницама широм света.

IZAZOVI OBRAZOVANJA U ERI VEŠTAČKE INTELLIGENCIJE

CHALLENGES FACING EDUCATION IN THE ERA OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

EDI DARUŠI¹

¹Zrenjaninska gimnazija, Zrenjanin

REZIME

Primena veštačke inteligencije ubrzava digitalnu transformaciju obrazovanja. Naučni radnici slažu se oko toga da je učenje podržano tehnologijom postalo obavezna komponenta u savremenom svetu. Međutim, i pored svih prednosti upotrebe alata veštačke inteligencije, sve je veća zabrinutost zbog narušavanja integriteta, privatnosti, manipulacije, dezinformacije i iskrivljavanja stvarnosti te sputavanja kreativnog i kritičkog razmišljanja. Upravo stoga neophodno je ukazati na izazove nove tehnološke ere i skrivene interese moćnih tehnoloških korporacija ali i na neophodnost etike veštačke inteligencije koja će odgovoriti na izazove koje ona postavlja.

Ključne reči: Veštačka inteligencija, obrazovanje, bihevioralni višak, "iskrivljena realnost", nadzorni kapitalizam, etika

ABSTRACT

The application of artificial intelligence is accelerating the digital transformation of education. Researchers agree that technology-supported learning has become an essential component of the modern world. However, despite the numerous advantages of using artificial intelligence tools, there is growing concern about threats to integrity, privacy, manipulation, disinformation, and the distortion of reality, as well as the suppression of creative and critical thinking. For this very reason, it is necessary to highlight the challenges of the new technological era and the hidden interests of powerful technology corporations, as well as the importance of artificial intelligence ethics capable of addressing the challenges it poses.

Key words: Artificial intelligence, education, behavioral surplus, "distorted reality", surveillance capitalism, ethics

1. UVOD

„To boldly go where no man has gone before!“

Star Trek

Još od otkrića računara 1940-ih očekuju se mašine koje se sa ljudima nadmeću u opštoj inteligenciji i sposobnosti da uče,

zaključuju i planiraju da bi odgovorile na kompleksne zadatke obrade podataka i to na polju i prirodnih i društvenih nauka. Alan Turing (1950) napisao je polovinom prošlog veka esej *Computing Machinery and Intelligence* anticipirajući ideju da kompjuteri sposobni da misle i obavljaju inteligentne zadatke mogu da imitiraju ljude.

Transformišući sve domene ljudskog iskustva i na kraju način na koji doživljavamo stvarnost i našu ulogu i mesto u njoj, veštačka inteligencija (AI), odnosno mašine koje obavljaju zadatke za koje je potrebna ljudska inteligencija, nameće pitanja koja prevazilaze dosadašnje ljudsko iskustvo. Upravo zahvaljujući sve većem oslanjanju na AI, našem umu otvaraju se novi horizonti koji proširuju naša dosadašnja znanja o stvarnosti. Sposobnost AI da uči, razvija se, te omogućuje daljna naučna istraživanja, razvoj obrazovanja i pojavu novih industrija, neminovno će dovesti prema Heinz Kisinger-u (2022) do: „...izmene ljudskog identiteta i ljudskog iskustva stvarnosti, na takvom nivou koji nije doživljen od svitanja modernog doba.“ (str. 2).

Primena AI ubrzava digitalnu transformaciju i u obrazovanju. Naučni radnici (Dunja Bošković i Danijela Lalić i Bojana Milić, 2020) slažu se oko toga da je učenje podržano tehnologijom: „...postalo obavezna komponenta u savremenom svetu.“ Veštačka inteligencija koristi se u različitim oblastima obrazovanja, obezbeđujući fleksibilno i pristupačno obrazovanje uklanjanjem barijera kao što su geografska i finansijska ograničenja, te pristup resursima koji ranije nisu bili svima dostupni. Takođe, onlajn platforme za učenje, u koje je uključena AI, koriste se za samostalna istraživanja prilagođena potrebama svakog učenika (Dragana Slavić i Nenad Simeunović i Nenad Medić i Slavko Rakić, 2024). Pružajući algoritme za analizu podataka o učenicima, AI doprinosi personalizaciji obrazovanja odnosno boljem razumevanju individualnih stilova učenja, mogućnosti, potreba i interesovanja učenika (Valentin Kuleto i Larisa Mihoreanu i Daniel Gabriel Dinu, 2023) . Nastavnicima je olakšano kako izvođenje nastave, tako i ispitivanje i ocenjivanje učenika odnosno automatizacija zadataka (Jelena Spajić i Bojana Milić i Dunja Bošković i Danijela Lalić, 2023). Preplavljeni ogromnom količinom podataka sa mreže – network, nastavnicima je neophodno da u

informacijama pronađu smisao, razlikuju važno od nevažnog, odnosno da mnoštvo razasutih delova sklope u mrežu: da učenicima omoguće da „vide šumu od drveća“.

Međutim i pored svih navedenih prednosti alata AI koji pojednostavljaju učenje i olakšavaju pedagoške zadatke nastavnicima, sve veća je zabrinutost zbog narušavanja integriteta, privatnosti, ljudskog suvereniteta, manipulacija velikih tehnoloških korporacija, dezinformacije i iskrivljavanja stvarnosti te sputavanja kreativnog i kritičkog razmišljanja. Ukoliko se učenici oslanjaju samo na digitalne tehnologije, odnosno AI, smanjuje se potreba za samostalnim učenjem i razmišljanjem. Yuval Noah Harari (2019) ukazuje na opasnost da će ukoliko suviše budemo ulagali u razvoj: „...veštačke inteligencije i kompjutera možda samo da ulijemo dodatno moć urođenoj ljudskoj gluposti.“ (str. 103). Učenici moraju biti aktivni učesnici u procesu učenja razvijajući svoje sposobnosti kritičkog mišljenja. Međutim sa uvođenjem novih digitalnih tehnologija i AI u savremeno obrazovanje, sposobnosti učenika biće stavljene na test ili će se uvećati. Naime čovečanstvo otvara poglavlje nove epohe u kojem će učenici odrastati sa mašinskim učiteljima, koji će mladima menjati njihova iskustva na načine koje možda i nismo očekivali. Ne treba zaboraviti da su mladi tokom sazrevanja podložni spoljašnjim uticajima, te da svoju sliku o sebi, drugima i svetu mogu da formiraju i pod uticajem veštačke inteligencije.

2. MISLIM, DAKLE, ROBOT SAM

„Koristim sve svoje kapacitete maksimalno. Šta bi više moglo poželeti racionalno biće.“¹

¹Zanimljivo je navesti i sledeće citate iz Klarkovih romana:

„Dejve“ reče Hal, ne razumem zašto mi to radiš...Uništavaš mi um...Postaću detinjast, postaću ništa.“ Artur Klark, 2001. Odiseja u svemiru (Kontrast izdavaštvo: Beograd 2021), str.171. i „Dejve um mi odlazi. Mogu da osetim to.“ Artur

Superkompjuter HAL 9000, 2001: Odiseja u svemiru

Trajno menjajući naše iskustvo kao razumnih bića i naš odnos prema stvarnosti, AI „koja misli“ nagoveštava kraj podrazumevane moći ljudskog razuma. AI mnogo je više od puke tehnološke revolucije jer, kako piše Orlović (2022),: „...zadire u suštinska pitanja onoga po čemu je čovek do sada bio superiorniji – u rasuđivanju.” Vekovima nakon objave Dekartove (Renatus des Cartes) prosvetiteljske maksime „Cogito ergo sum“ nameće se pitanje ko smo onda mi. Uključujući AI u naša istraživanja i oblikovanja stvarnosti, kao dodatak našim iskustvima i mislima, kako će se uskladiti AI sa filozofskim idejama poput ljudskog dostojanstva, autonomije i slobodne volje. Filozof Slavoj Žižek (2025) smatra da mi i nismo svesni koliko je naš svakodnevni život: „...već manipulisan i regulisan digitalnim algoritmima koji nas, u izvesnom smislu, poznaju bolje od nas samih i nameću nam naše „slobodne odluke.“ Algoritmi koje mi u realnom vremenu obučavamo da nas u potpunosti upoznaju potom oblikuju naša opredeljenja, tvrdi Yanis Varoufakis (2025).

I Noam Chomsky (2023) se osvrće na revolucionarni razvoj AI koja je povod i za brigu i za optimizam. Ovaj filozof smatra da AI postupa s one strane svake kreativnosti i da suštinu mašinskog učenja čine deskripcija i predikacija, te da su programi mašinskog učenja: „...zarobljeni u predljudskoj ili neljudskoj fazi kognitivne evolucije...” i otuda možemo samo da: „...ismevamo ili oplakujemo njihovu popularnost...”, jer prava inteligencija se pokazuje u sposobnosti razmišljanja, izražavanja neverovatnih ali pronicljivih ideja i takođe je sposobna za moralno rasuđivanje.

Međutim, postajući naš stalni pratilac u percepciji i obradi podataka, razvoj AI, iako drugačijeg mentalnog nivoa od ljudi, nagoveštava transformaciju u opštu veštačku

inteligenciju (Artificial General Intelligence) odnosno superinteligenciju koju Nick Bostrom (2018) definiše kao: „...inteligenciju koja u velikoj meri nadmašuje kognitivne učinke ljudi u skoro svim oblastima od interesovanja.“(str. 51). Prelaskom autoriteta sa ljudi na algoritme, svet više nećemo posmatrati kao mesto donošenja ispravnih individualnih odluka, već ćemo univerzum posmatrati kao protok podataka, a žive organizme kao biohemijske algoritme, verujući da je „...kosmički poziv čovečanstva upravo u tome da stvorimo jedan sveobuhvatan sistem obrade podataka – i da se zatim sa njim stopimo“, smatra Yuval Noah Harari (2019, str. 86). Da li je duh zaista izašao iz boce kako nas upozorava Stephen Hawking (2014): „ Plašim se da bi AI mogla u potpunosti zameniti ljude. Kad ljudi mogu da stvore kompjuterske viruse, neko bi mogao da stvori AI koja se sama poboljšava i replikuje. To će biti nova forma života koja nadmašuje ljude.“

3. UBISTVO REALNOSTI

„ ...više nema ničega osim emitovanja i prijema i pojedinca koji se u tom kombinatorijumu i proračunu znakova ukida. „

Jean Baudrillard (2023, str. 247)

Ključ koji nam otvara vrata napretka je veštačka inteligencija, rekao je Mark Zuckerberg na događaju pod nazivom Inside the Lab koji je organizovala njegova kompanija Meta. Nova klasa AI ljudima će omogućiti, vizionarski tvrdi Zuckerberg, da opisuju svetove i kreiraju njihove delove: „Kako tehnologija bude napredovala, moći ćemo da kreiramo nijansirane svetove.”

Shoshana Zuboff (2020), međutim, nudi manje idealizovano tumačenje vrle nove budućnosti u režiji moćnih tehnoloških korporacija. Ona tvrdi da Mark Zuckerberg koji nudi svoju društvenu mrežu kao optimalno rešenje za buduće doba: „Zamišlja totalizujući instrumentarni poredak- koji naziva novom globalnom „crkvom“- koji će sve ljude na svetu povezati s „nečim većim

Klark, 2010: Druga odiseja (Kontrast izdavaštvo: Beograd 2021), str. 241,

od sebe“ (str. 541). Zuckerberg smatra da je to nešto Fejsbuk. On će rešavati civilizacijske potrebe, graditi „trajnu infrastrukturu za povezivanje čovečanstva, i brinuti o bezbednosti ljudi „veštačkom inteligencijom“ koja brzo shvata „šta se zbiva širom naše zajednice“ (str. 541).

Distopijskim idejama tehnološke korporacije dakle žele da uspostave jedno stanje hiperrealnosti u kojem su stvarnost i simulacija stvarnosti toliko isprepletene da i ne postoji jasna razlika između ova dva sveta. Pitanje koje nam se nameće da li je hiperrealnost interneta, zapravo, već istisnula stvarnost iz naših svakodnevnih života. Izgubivši treću dimenziju, možda čak i drugu, sada smo u dimenziji u kojoj je sve ravno, sve je tu, sve je zahvaljujući mreži - network - na raspolaganju. I tako dolazimo do totalne vidljivosti u kojoj ništa ne vidimo. Naime, savremeno doba ekstaze komunikacije i hiperprodukcije informacija neposredno razara i neutrališe smisao medijske poruke i njeno značenje.

Postoje samo ekran i računarska mreža-network. Nema metafizičkih dubina niti filozofskih transcendencija već samo imanentna površina komunikacije – ekran. Savremeni ljudi, smatra Bodrijar (2009) su tako u globalnoj dominaciji kompjuterskog doba: „...postali ekrani, a ljudska interaktivnost... interaktivnost ekrana.“ (str. 23).

Banalnost sada zauzima mesto istine i stvarnosti. Mediji su ti koji kreiraju totalnu banalizaciju svega, banalizaciju kao ostvarenje svih želja. Tako Bodrijar (2005) u jednom intervjuu i kaže: „To je naša banalnost: svet u kom je sve dozvoljeno, sve su mogućnosti otvorene: putem interneta možete uzeti bilo koji identitet, njime se igrati, sve želje su ostvaruju ali virtuelno. I to je potpuna banalnost.“

„Ne postoji slika ili teorija- nezavisni prikaz stvarnosti.“ piše i najznačajniji savremeni fizičar Stephen Hawking (2011) i dodaje da ćemo namesto istine realnosti usvojiti realizam zavisian od modela: „...ideju da je fizička teorija ili slika o svetu model i skup pravila koji povezuje elemente

modela sa zapažanjima.“ (str. 34). Henry Kissinger (2022) upozorava da se sa upotrebom veštačke inteligencije, za kretanje kroz masu informacija, pojavljuje takozvani “izazov izobličenja”, odnosno: “...izobličavanja veštačke inteligencije, koja promoviše svet koji ljudi instiktivno preferiraju.” (str. 134). Naše kognitivne predrasude, nastavlja Kissinger u istom duhu, koje veštačka inteligencija može vrlo lako da uveća, uz mnoštvo izbora i u kombinaciji sa moći biranja i prikazivanja, obezbeđuju cyber prostor interneta u kojem se dezinformacije brzo šire i: “...samo je po sebi očigledno da ove usluge nisu rezultirale maksimizacijom prosvetljenog diskursa.” (str. 134). Činom „ubistva realnosti“ ostavljena je mogućnost svih vidova tumačenja stvarnosti, jer je sve u isto vreme istinito unutar medijima artikulisane realnosti. Simulacija realnosti zamenjuje realnost, internet postaje istinit. Stvarnost je zamenjena hiperrealnošću znakova i simbola.

4. UŽIVAJ

„ Da spoznam šta je to što u srži
Na okupu vasionu drži. „

Gete, Faust stih 401-402

I pored sve veće količine informacija dostupnih na mreži, one smanjuju mogućnosti potrebne za duboko koncentrisano razmišljanje i kontemplaciju. Mašinski algoritmi zapravo odgovaraju na ljudsku želju za stimulacijom, nudeći sadržaje koji su dramatični, duboko emocionalni ne podstičući time umereno rasudjivanje. Algoritmi odgovaraju na imperativ našeg nesvesnog, sada je Superego upregnut u hiperkomercijalizovanu tehno-kapitalističku mašineriju, i on nas tera na uživanje, odnosno kako Jacques Lacan (1998) i piše: “Superego je imperativ jouissance-a – Uživaj.”. Yuval Noah Harari (2019) podseća da će razvojem i usavršavanjem biotehnologije i mašinskog učenja postajati: “...sve lakše manipulirati najdubljim ljudskim osećanjima.”, odnosno da živimo u eri hakovanja ljudskih bića (str.

335). Sazrevanje mladih u prisustvu veštačke inteligencije može da uslovi internalizaciju njihovih preferencija i predrasuda. Slavoj Žižek (2023) upozorava da se: "...čitava naša društvena egzistencija sve intenzivnije eksternalizuje-materijalizuje u Velikom drugom kompjuterske mreže." Dakle namesto da nas poveže u Globalno selo, mi od mreže dobijamo mnoštvo tribalnih, partikularnih identifikacija koje nam stoje na raspolaganju. Ono što će čovečanstvo dobiti, smatra Žižek (2023), je "AI verzija kafe bez kofeina ili sode bez šećera" odnosno "Drugi koji će se jednostavno prilagodite Vašim potrebama." Sa Žižekovim uvidima slaže se i Yanis Varoufakis (2025) koji smatra da je namesto kapitalizma sada na delu tehnofeudalizam. Naime, kapitalizam u klauđu, koji monetizuje naše emocije, ciljano nudi sadržaje oslanjajući se na naša opredeljenja, da bi nas naveo da ih konzumiramo, a potom koristio naše reakcije da bi dodatno prilagodio te sadržaje: "...vi i ja možemo šetati jedan pored drugog, očiju uprtih u istom pravcu, ali pogled koji dobijamo putem algoritma rađen je po meri."(str. 83). Na delu je, kako nas upozorava Jean Baudrillard, precesija privida u kojem modeli stvarnosti prethode pojavama određujući tako „stvarnost“ savremenog kapitalističkog društva.

5. BIHEVIORALNI VIŠAK

"...čovek koji više i ne krije da je najvažnija sirovina."

Martin Heidegger (1999, str. 10)

Nastojeći da pojasni značenje sintagme nadzorni kapitalizam Shoshana Zuboff smatra da je reč o transformisanom kapitalističkom poretku, nastao otkrićem bihevioralnog viška tokom 2001.-2002. godine, i koji prisvaja ljudska iskustva na računarskoj mreži kao besplatnu sirovinu za prikrivenu poslovnu praksu iskopavanja naših podataka sa interneta radi predviđanja našeg ponašanja i u vezi sa tim

personalizovane prodaje proizvoda drugih korporacija. Dakle, ljudi nisu klijenti nadzornih kapitalista, zapravo su izvor iskopavanja sirovina, osnovnog bihevioralnog viška, podataka koje ostavljamo (pretraživanjem, svakim lajkom, klikom, prepiskom, fotografijama koje postavljamo...) i koje internet kompanije prate, raščlanjuju i unovčavaju. Čovek je sirovina napredne mašinske inteligencije, ili kako to piše Shoshana Zuboff (2022): " Po toj novoj poslovnoj filozofiji, korisnici više nisu svrha sama po sebi, nego sredstvo za postizanje tuđih ciljeva." (102). A mi se kao korisnici internet usluga, kako dalje primećuje Shoshana Zuboff , privikavamo na činjenicu: "...da nas neko prati i raščlanjuje, po nama kopa i menja nas."

Dakle kad god nabasaju na Gugl, Fejsbuk virtuelni linkovi našeg života rade novi kontigent bihevioralnog viška, tako da je globalni opseg kompjuterskog posredovanja promenjen da postane rudarska arhitektura.

6. ZAKLJUČAK

S obzirom na to da se razvojem tehnologija, odnosno revolucijom AI, već dešava veliki naučni i ekonomski napredak, koji između svega ostalog i omogućuje izlazak država iz vrtloga siromaštva, neophodno je da se obrazovni sistem prilagođava novoj industrijskoj revoluciji i započne dijalog naučnika, humanista, državnika, preduzetnika i etičara o budućem usmeravanju AI koje će definisati i njenu primenu na obrazovne zadatke i domene.

Međutim, uzimajući u obzir i navedene stranputice upotrebe novih tehnologija, neophodno je, kao zadatak koji tek predstoji, definisati saradnju sa AI uz jasno definisanje etike veštačke inteligencije. Etika veštačke inteligencije mora da odražava kako prirodu ove tehnologije, tako i izazove koje ona postavlja obrazovanju mladih i društvu uopšte.

7. LITERATURA

- [1] Bodrijar, Ž., (2023). Potrošačko društvo. Beograd: Darma.
- [2] Bodrijar, Ž., (2009). Pakt o lucidnosti. Beograd: Arhipelag.
- [3] [3] Bodrijar, Ž., (2005). „Zalivski rat se nije dogodio“, <https://atorwithme.blogspot.com>
- [4] Bošković, D., Lalić, D., Milić, B. (2020). UPOTREBA TEHNOLOGIJE U EDUKACIJI, XXVI Skup TRENDOVI RAZVOJA: „INOVACIJE U MODERNOM OBRAZOVANJU“, Kopaonik, 16 - 19. 02. 2020., http://www.trend.uns.ac.rs/stskup/trend_2020/radovi/T1.1/T1.1-6.pdf, N., (2018). Superinteligencija. Novi Sad: Akademska knjiga.
- [5] Hajdeger, M., (1999). „Pitanje o tehnicu“ u Predavanje i rasprave. Beograd: Plato.
- [6] Harari, J., N., (2021). 21 lekcija za 21. Vek. Beograd: Laguna
- [7] Hoking, S., (2011). Velika zamisao. Beograd: Alnari.
- [8] Hoking, S., (2014). Veštačka inteligencija će uništiti čovečanstvo, https://www.google.com/url?esrc=s&q=&rc t=j&sa=U&url=https://rtv.rs/sr_lat/zivot/nauka-i-tehnologija/hoking-vestacka-inteligencija-ce-unistiti-covecanstvo_543177.html&ved=2ahUKEwjSsKXeko2RAxWq-QIHHXVhKJAQFnoECAIQAg&usg=AOvVaw3ZtKk2dp4XigI9VTLPF3Df
- [9] Čomski, N., (2023). Lažno obećanje četbotova, <https://www.google.com/url?esrc=s&q=&rc t=j&sa=U&url=https://pescanik.net/lazno-obecanje-cetbotova/&ved=2ahUKEwiG5pa4mP6QAxVP9wIHHVoToY0QFnoECAQQAg&usg=AOvVaw2yFFKqiEeVDkKLU55qkbF->
- [10] Kisindžer, H., Šmit, E., Hatenkoker, D., (2022). Doba veštačke inteligencije i naša ljudska budućnost. Beograd: Klub PLUS.
- [11] Klark, A., (2021). 2001. Odiseja u svemiru. Beograd: Kontrast izdavaštvo.
- [12] Klark, A., (2021). 2010: Druga odiseja. Beograd: Kontrast izdavaštvo.
- [13] Kuleto, V., Mihoreanu, L., Gabriel, D., (2023). Eksploatacija veštačke inteligencije u visokom obrazovanju: Uloga ChatGPT-ja prema Uneskovom izveštaju, Journal for Contemporary Education – InspirED Teachers’ Voice. <https://www.teachers-voice.org/index.php/inspired/article/download/12/4>
- [14] Lacan, J., (1998). On feminine Sexuality (The Seminar, Book XX), (New York, Norton, 1998), 3. <https://archive.org/download/pdfy-bJ5LV1tb2PUIELsx/235786655-Lacan-Encore.pdf>.
- [15] Orlović, S., (2022). Veštačka inteligencija (ChatGPT) i naša budućnost s njom, https://www.google.com/url?esrc=s&q=&rc t=j&sa=U&url=https://www.fpn.bg.ac.rs/wp-content/uploads/Politicki-zivot-24-7.pdf&ved=2ahUKEwjR7LuOg_6QAxXj-QIHHVcFE4kQFnoECAQQAg&usg=AOvVaw1CPzk7v8m5uUOWzxUjdOie
- [16] Slavić, D., Simeunović, N., Medić, N., Rakić, S., (2024). OBRAZOVANE 5.0: BUDUĆI TRENDOVI U VISOKOM OBRAZOVANJU. XXX Skup TRENDOVI RAZVOJA: “NASTAVNICI I SARADNICI KAO CENTAR PROMENA U VISOKOM OBRAZOVANJU”, Vrnjačka Banja, 7-10.2.2024. http://www.trend.uns.ac.rs/stskup/trend_2024/radovi/T5/T5.12.pdf.
- [17] Spajić, J., Milić, B., Bošković, D., Lalić, D., (2023). VEŠTAČKA INTELIGENCIJA: NOVA STVARNOST U VISOKOM OBRAZOVANJU, XXIX Skup TRENDOVI RAZVOJA: “UNIVERZITET PRED NOVIM IZAZOVIMA”, Vrnjačka Banja, 8 - 11. 02. 2023. http://www.trend.uns.ac.rs/stskup/trend_2023/radovi/T2.3/T2.3-19.pdf
- [18] Turing, A., M., (1950). Computing Machinery and Intelligence. Mind 49: 433-460. <https://www.google.com/url?esrc=s&q=&rc t=j&sa=U&url=https://courses.cs.umbc.edu/471/papers/turing.pdf&ved=2ahUKEwi1153>

Dxv2QAxV9gf0HHRfoEaQQFnoECAYQA
g&usg=AOvVaw3RMeyqyb-
LyNRISRGZzsOu.

- [19] Varufakis, J., (2025). Tehnofeudalizam.
Zemun: Publik praktikum.
- [20] Zubof, Š., (2020). Doba nadzornog
kapitalizma. Beograd: CLIO.
- [21] Žižek, S., (2025). Živi ljudi na mrtvom
internetu,
[https://www.google.com/url?esrc=s&q=&rc
t=j&sa=U&url=https://pescanik.net/zivi-
ljudi-na-mrtvom-
internetu/&ved=2ahUKEwjx9jk_v2QAxV0
gf0HHbjjNbsQFnoECAkQAg&usg=AOvV
aw2uWKBJyL0QbODKF9wfwKt](https://www.google.com/url?esrc=s&q=&rc t=j&sa=U&url=https://pescanik.net/zivi-ljudi-na-mrtvom-internetu/&ved=2ahUKEwjx9jk_v2QAxV0gf0HHbjjNbsQFnoECAkQAg&usg=AOvVaw2uWKBJyL0QbODKF9wfwKt).
- [22] Žižek, S., (2009). Matrix, ili dve strane
perverzije,
[https://www.google.com/url?esrc=s&q=&rc
t=j&sa=U&url=https://www.scribd.com/doc
ument/357523879/Slavoj-](https://www.google.com/url?esrc=s&q=&rc t=j&sa=U&url=https://www.scribd.com/document/357523879/Slavoj-)

%25C5%25BDi%25C5%25BEek-Matriks-
ili-dve-strane-perverzije-
pdf&ved=2ahUKEwjU6L2s4f2QAxWURv
4FHfzaMhsQFnoECAMQAg&usg=AOvVa
w2jodx--GByBs02GCsYJB1R

- [23] Žižek, S., (2023). Post-humana pustinja,
[https://www.google.com/url?esrc=s&q=&rc
t=j&sa=U&url=https://pescanik.net/post-
humana-
pustinja/&ved=2ahUKEwiWr4XxgP6QAx
Vgh_0HHWymOrsQFnoECAQQAg&usg=
AOvVaw1AcJyPoF2aE2qqAufler8g](https://www.google.com/url?esrc=s&q=&rc t=j&sa=U&url=https://pescanik.net/post-humana-pustinja/&ved=2ahUKEwiWr4XxgP6QAxVgh_0HHWymOrsQFnoECAQQAg&usg=AOvVaw1AcJyPoF2aE2qqAufler8g).

Adresa autora: Даруши Еди, професор
филозофије, Зрењанинска гимназија, Зрењанин,
Гимназијска 2
e-mail: edidarusi@gmail.com
Rad primljen: februar 2026.
Rad prihvaćen: mart 2026.



ДОБРИВОЈЕ БОЖИЋ
(1885 – 1967)

Машински инжењер.
Велики српски конструктор,
иноватор и проналазач.
Аутор чувене пнеуматске
кочнице која је примењена
у железницама широм света.

PRIMENA FUZZY LOGIKE U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI: INTELIGENTNI SISTEMI UPRAVLJANJA I ASISTENCIJE VOZAČU

APPLICATION OF FUZZY LOGIC IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY: INTELLIGENT CONTROL AND DRIVER ASSISTANCE SYSTEMS

MAŠA KNEŽEVIĆ¹
BRANKO MARKOSKI¹

¹Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

REZIME

Ovaj rad analizira principe fuzzy logike i njenu primenu u ključnim podsistemima savremenih vozila. Posebna pažnja posvećena je fuzzy kontrolerima brzine vozila (Cruise Control), sistemima protiv blokiranja točkova (ABS), automatskim klimatskim uređajima, adaptivnim automatskim menjačima i naprednim sistemima asistencije vozaču (ADAS). Za svaki od navedenih sistema prikazani su osnovni ulazi i izlazi fuzzy kontrolera, struktura baze pravila i koristi u realnim uslovima vožnje.

Ključne reči: fuzzy logika, inteligentni sistemi, automobilska industrija, kontrola brzine, ABS, automatski menjač, ADAS.

ABSTRACT

This paper analyzes the principles of fuzzy logic and its application in key subsystems of modern vehicles. Special attention is given to fuzzy controllers for vehicle speed (Cruise Control), anti-lock braking systems (ABS), automatic climate control systems, adaptive automatic transmissions, and advanced driver assistance systems (ADAS). For each of the mentioned systems, the basic inputs and outputs of the fuzzy controller, the structure of the rule base, and the benefits in real driving conditions are presented.

Key words: fuzzy logic, intelligent systems, automotive industry, speed control, ABS, automatic transmission, ADAS

1. UVOD

Savremena automobilska industrija prolazi kroz intenzivnu transformaciju uslovljenu razvojem inteligentnih sistema upravljanja i automatizovanih tehnologija. Rast složenosti vozila, sve stroži zahtevi za bezbednošću, efikasnošću i udobnošću vožnje, kao i razvoj autonomnih sistema, zahtevaju primenu naprednih metoda upravljanja koje mogu da funkcionišu u uslovima nesigurnosti, nelinearnosti i

promenljivih okruženja. U takvom kontekstu, fuzzy logika predstavlja moćan alat koji omogućava modelovanje i donošenje odluka na način sličan ljudskom rasuđivanju, čime prevazilazi ograničenja tradicionalnih, strogo matematičkih modela.

Za razliku od klasičnih kontrolera zasnovanih na preciznim matematičkim modelima, fuzzy sistemi omogućavaju obradu nepreciznih i nekompletnih informacija pomoću lingvističkih promenljivih i skupova, čime se postiže

fleksibilnije i intuitivnije upravljanje procesima. To ih čini posebno pogodnim za automobilske primene, gde su sistemi često izloženi promenljivim spoljašnjim uslovima, kao što su različiti stilovi vožnje, promena opterećenja, uslovi puta i vremenski faktori.

Primena fuzzy logike u automobilima danas obuhvata širok spektar podсистema: od kontrole brzine i stabilnosti vozila, preko sistema kočenja (ABS) i klimatskih uređaja, do automatizovanih menjača i sistema asistencije vozaču (ADAS). Ovi sistemi koriste fuzzy pristup da bi donosili odluke u realnom vremenu, prilagođavajući reakcije vozila aktuelnim uslovima i zahtevima korisnika.

Cilj ovog rada je da prikaže osnovne principe fuzzy logike, analizira njene prednosti u poređenju sa klasičnim metodama upravljanja, kao i da predstavi konkretne primene fuzzy sistema u automobilskoj industriji. Kroz pregled literature i primere implementacije biće prikazano kako fuzzy kontroleri doprinose većoj efikasnosti, komforu i bezbednosti vožnje, kao i njihova uloga u razvoju inteligentnih i autonomnih vozila.

2. OSNOVE FUZZY LOGIKE

Koncept fuzzy logike uveden je 1965. godine od strane Lotfi A. Zadeha, kao proširenje klasične (bulevske) logike koje omogućava modelovanje neizvesnosti i nepreciznosti u realnim sistemima. Za razliku od klasične logike, gde elementi pripadaju skupu na binaran način (0 ili 1), fuzzy logika uvodi pojam stepena pripadnosti, čime omogućava izražavanje delimične pripadnosti elemenata određenim skupovima. Ovaj pristup bliži je načinu na koji ljudi donose odluke u uslovima neizvesnosti, koristeći lingvističke pojmove kao što su “nizak”, “srednji” ili “visok”. [1]

2.1. FUZZY SKUPOVI I FUNKCIJE PRIPADNOSTI

Osnovni pojam fuzzy logike je fuzzy skup, koji se definiše funkcijom pripadnosti

$\mu(x)$ koja svakom elementu x iz univerzuma U dodeljuje vrednost iz intervala $[0, 1]$. Vrednost $\mu(x) = 0$ označava da element ne pripada skupu, dok $\mu(x) = 1$ označava potpunu pripadnost. Vrednosti između 0 i 1 označavaju delimičnu pripadnost.

U praksi se koriste različiti oblici funkcija pripadnosti, kao što su:

- Trokutaste (triangular) funkcije,
- Trapezoidne (trapezoidal) funkcije,
- Gaussove funkcije.

Izbor oblika funkcije pripadnosti zavisi od prirode sistema i željene preciznosti. [2]

2.2. LINGVISTIČKE PROMENLJIVE I FUZZY PRAVILA

U fuzzy sistemima ulazne i izlazne veličine često se izražavaju preko lingvističkih promenljivih, koje se opisuju pomoću fuzzy skupova [3]. Na primer, promenljiva “brzina” može imati vrednosti “mala”, “srednja” i “velika”, dok promenljiva “gas” može imati vrednosti “smanji”, “zadrži” i “povećaj”.

Odluke u fuzzy sistemu donose se na osnovu fuzzy pravila, koja su oblika:

*AKO (ulaz1 je nizak) I (ulaz2 je brz)
ONDA (izlaz je srednji)*

Ovakva pravila formiraju bazu znanja sistema, koja sadrži ekspertno znanje i iskustvo inženjera ili vozača.

2.3. STRUKTURA FUZZY KONTROLERA

Fuzzy kontroler se tipično sastoji iz tri osnovna bloka [4]:

- Fazifikacija – pretvara numeričke ulazne vrednosti u fuzzy vrednosti (stepene pripadnosti fuzzy skupovima),
- Inferencioni mehanizam – primenjuje fuzzy pravila kako bi dobio fuzzy izlazne vrednosti,
- Defazifikacija – pretvara fuzzy izlaz u numeričku vrednost koja se koristi za upravljanje sistemom.

Najčešće korišćeni mehanizmi inferencije su:

- Mamdani model – koristi fuzzy skupove i pravila tipa IF-THEN, intuitivan je i često primenjen u inženjerskim sistemima,
- Sugeno model – koristi funkcionalne izlaze i pogodniji je za adaptivne i optimizacione metode.

Za defazifikaciju se najčešće koristi metoda težišta (centroid), kojom se izračunava srednja vrednost izlazne fuzzy funkcije.

2.4. PREDNOSTI FUZZY LOGIKE

Primena fuzzy logike u sistemima upravljanja ima brojne prednosti [6]:

- Omogućava upravljanje bez preciznog matematičkog modela,
- Visoka robustnost u uslovima promenljivih i neizvesnih okruženja,
- Jednostavna interpretacija i modifikacija pravila,
- Intuitivno ponašanje sistema, slično ljudskom rasuđivanju.

Zahvaljujući ovim osobinama, fuzzy sistemi se uspešno koriste u oblastima gde je teško formulisati egzaktne matematičke modele, što ih čini idealnim za automobilske sisteme u kojima dominiraju nelinearnosti, dinamika i promenljivi uslovi.

2.5. FUZZY SISTEMI U KONTEKSTU UPRAVLJAČKIH METODA

U poređenju sa tradicionalnim metodama, kao što su PID kontroleri, fuzzy kontroleri nude fleksibilniji pristup i bolje performanse u složenim, nelinearnim sistemima. Dok PID kontroler zahteva precizno podešavanje parametara i model sistema, fuzzy pristup koristi ekspertno znanje i adaptira se na osnovu pravila i uslova.

Ova osobina čini fuzzy logiku posebno pogodnom za realno-vremenske aplikacije u vozilima, gde brzina odlučivanja i prilagođavanje promenljivim uslovima imaju ključnu ulogu. [7]

U narednom poglavlju biće detaljno prikazane konkretne primene fuzzy sistema u automobilskoj industriji, uključujući kontrolu brzine, kočenja, klimatizacije, menjača i sistema asistencije vozaču.

3. PRIMENA FUZZY SISTEMA U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI

U ovom poglavlju autori će prikazati konkretne primene fuzzy sistema u automobilskoj industriji.

3.1. FUZZY KONTROLA BRZINE

Kontrola brzine vozila (eng. Cruise Control) predstavlja jedan od ključnih sistema za povećanje udobnosti i efikasnosti vožnje. Tradicionalni sistemi kontrole brzine zasnivaju se na PID kontrolerima, koji zahtevaju precizan matematički model vozila i okruženja. Međutim, u realnim uslovima vožnje, sistem je izložen nelinearnostima, kašnjenjima i promenljivim uslovima (npr. nagib puta, opterećenje vozila, spoljašnji uslovi), što otežava optimalno upravljanje konvencionalnim metodama.

Primena fuzzy logike omogućava razvoj inteligentnog kontrolera koji oponaša način na koji vozač intuitivno podešava gas i održava željenu brzinu, čak i u promenljivim uslovima.

Cilj fuzzy kontrolera brzine je održavanje željene brzine vozila uz minimalno odstupanje, bez potrebe za čestim intervencijama vozača. Kontroler koristi informacije o [8]:

- grešci brzine (error), tj. razlici između željene i stvarne brzine vozila,
- promeni greške (error change), tj. brzini promene greške tokom vremena.

Na osnovu ovih ulaznih promenljivih, fuzzy kontroler generiše izlaznu veličinu [9]:

- prilagođavanje gasa (throttle control), koja određuje koliko motor treba da poveća ili smanji snagu.

Fuzzy kontroler za regulaciju brzine obično se sastoji od sledećih komponenti [10]:

- Fazifikacija – ulazne promenljive (greška brzine, promena greške) se pretvaraju u fuzzy vrednosti pomoću funkcija pripadnosti. Na primer: Greška brzine: {Negativna velika (NB), Negativna mala (NS), Nula (Z), Pozitivna mala (PS), Pozitivna velika (PB)} Promena greške: {Negativna, Nula, Pozitivna}
- Baza pravila – formirana je na osnovu heurističkih znanja o ponašanju vozača. Primer fuzzy pravila: Ako je greška brzine “Pozitivna velika” i promena greške “Pozitivna” onda smanji gas “Veliko”. Ako je greška brzine “Nula” i promena greške “Nula” onda zadrži gas “Srednje”. Ako je greška brzine “Negativna” onda povećaj gas “Umereno”
- Inferencioni mehanizam – koristi pravila i određuje fuzzy izlaz na osnovu kombinacija ulaznih fuzzy vrednosti. Najčešće se primenjuje Mamdani metod inferencije.
- Defazifikacija – pretvara fuzzy izlaz (npr. “malo povećaj gas”) u konkretan numerički signal koji se šalje sistemu ubrzanja motora. Najčešće korišćena metoda je težište (centroid).

Kada vozilo odstupi od željene brzine (npr. pri usponu), fuzzy kontroler prepoznaje da je greška negativna (vozilo ide sporije od željene brzine) i automatski povećava gas, u zavisnosti od veličine greške i brzine njene promene.

Ako vozilo ide nizbrdo i brzina raste iznad zadate, fuzzy kontroler smanjuje gas kako bi se brzina stabilizovala. Ovakav pristup omogućava gladak odziv bez oscilacija i naglih promena.

Fuzzy kontrola brzine nudi sledeće prednosti u odnosu na klasične metode [11]:

- Nije potreban egzaktan model vozila,

- Robustnost u uslovima promena opterećenja i terena,
- Gladi odziv i povećan komfor vožnje,
- Laka interpretacija i podešavanje pravila prema iskustvu vozača.

Zahvaljujući ovim karakteristikama, fuzzy sistemi se sve češće implementiraju u savremenim vozilima, bilo kao samostalni kontroleri ili u kombinaciji sa adaptivnim sistemima (Adaptive Cruise Control) i sistemima za asistenciju vozaču.

U narednom podpoglavlju biće analizirana primena fuzzy logike u sistemima kočenja (ABS), koji zahtevaju brze i precizne odluke u realnom vremenu radi povećanja bezbednosti vožnje.

3.2. FUZZY KONTROLA SISTEMA KOČENJA

Sistem protiv blokiranja točkova (eng. Anti-lock Braking System – ABS) predstavlja jedan od ključnih bezbednosnih podistema savremenih vozila. Njegova osnovna funkcija je da spreči blokiranje točkova tokom kočenja i time omogući vozaču da zadrži kontrolu nad vozilom i stabilnost putanje. Klasični ABS sistemi koriste PID kontrolere i modele zasnovane na fiksnim parametrima, što može biti ograničavajuće u realnim uslovima, gde se koeficijent trenja, opterećenje vozila i uslovi puta neprestano menjaju.

Primena fuzzy logike u ABS sistemima omogućava inteligentno upravljanje kočionim pritiskom, prilagođavanje različitim uslovima vožnje i poboljšanje performansi sistema u nelinearnim i neizvesnim okruženjima.

Tokom kočenja, ABS sistem koristi senzore brzine točkova da bi detektovao trenutke kada se točak približava blokiranju (tj. klizanju). Kada brzina rotacije naglo opadne, što ukazuje na mogućnost blokiranja, sistem smanjuje kočioni pritisak, a zatim ga ponovo povećava kada se točak ponovo zahvati za podlogu.

Ovaj proces modulacije pritiska mora biti brz, stabilan i adaptivan, kako bi se

obezbedila optimalna stopa proklizavanja (slip ratio) – obično između 10% i 20%, što predstavlja kompromis između maksimalne sile kočenja i stabilnosti.

Fuzzy kontroler u ABS sistemu koristi ulazne promenljive koje opisuju stanje dinamike točka i vozila:

- Slip ratio (λ) – razlika između brzine vozila i obodne brzine točka, izražava stepen proklizavanja,
- Promena slip-a ($\Delta\lambda$) – pokazuje trend proklizavanja (da li raste ili opada).

Na osnovu ovih ulaza, fuzzy kontroler generiše izlaznu veličinu:

- Promena kočionog pritiska (ΔP) – odluka da li treba povećati, smanjiti ili zadržati trenutni pritisak.

Struktura Fuzzy ABS kontrolera se bazira na sledećim elementima:

- Fazifikacija – ulazne vrednosti (λ i $\Delta\lambda$) se pretvaraju u fuzzy skupove, npr.:

Slip ratio: {Nizak (*L*), Optimalan (*O*), Visok (*H*)}

Promena slip-a: {Negativna (*N*), Nula (*Z*), Pozitivna (*P*)}

- Baza pravila – definiše heuristička pravila na osnovu ponašanja sistema: Ako je slip “Visok” i promena slip-a “Pozitivna” → **Smanji pritisak**

Ako je slip “Optimalan” i promena slip-a “Nula” → **Zadrži pritisak**

Ako je slip “Nizak” i promena slip-a “Negativna” → **Povećaj pritisak**

- Inferencioni mehanizam – koristi Mamdani metod, kombinuje pravila i generiše fuzzy izlaz.
- Defazifikacija – pretvara fuzzy odluku u konkretan signal za upravljanje hidrauličnim ventilima koji regulišu pritisak u kočionom sistemu.

U poređenju sa tradicionalnim metodama, fuzzy pristup nudi niz prednosti:

- Adaptivnost – prilagođava pritisak u realnom vremenu u zavisnosti od promena trenja i uslova puta (mokar, suv, zaleđen asfalt),

- Robustnost – pouzdan rad i pri promenama opterećenja, brzine i habanja pneumatika,
- Stabilniji odziv – smanjeno oscilovanje pritiska, bolje prijanjanje i kraći zaustavni put,
- Jednostavnija implementacija – bez potrebe za kompleksnim matematičkim modelom.

Simulacije i eksperimentalne studije pokazale su da fuzzy ABS kontroleri postižu:

- kraći zaustavni put u poređenju sa konvencionalnim PID kontrolerima,
- stabilniji kočioni odziv na različitim površinama (asfalt, šljunak, sneg),
- bolju kontrolu upravljanja vozilom tokom naglih kočenja.

Ovi rezultati ukazuju da fuzzy kontroleri mogu značajno doprineti povećanju bezbednosti i efikasnosti sistema kočenja, posebno u kombinaciji sa drugim inteligentnim podsistemima (npr. ESP – Electronic Stability Program). [12]

3.3. FUZZY KLIMA UREĐAJI

Komfor u kabini vozila zavisi od regulacije temperature, vlažnosti i brzine protoka vazduha. Klasični regulatori često dovode do oscilacija temperature i povećane potrošnje energije. Fuzzy kontroler omogućava inteligentno upravljanje klimom, uzimajući u obzir više parametara i subjektivne zahteve korisnika. [13]

Ulazne promenljive:

- Greška temperature (*E*) – razlika između željene i trenutne temperature,
- Promena greške (ΔE) – brzina promene temperature,
- (opciono) Vlažnost (*H*).

Izlazi:

- Brzina ventilatora (*V*),
- Temperatura izduvnog vazduha (T_{out}),
- Udeo grejanja/hlađenja (Mix ratio).

Pravila odlučivanja imaju formu:

- Ako je greška “pozitivna velika” i raste → povećaj ventilaciju i smanji temperaturu,
- Ako je greška “nula” → zadrži trenutne vrednosti.

Rezultat fuzzy kontrole je gladak odziv bez oscilacija, energetska efikasnost i subjektivni osećaj komfora, jer se sistem prilagođava ljudskom načinu percepcije temperature. Mnogi moderni automobili već koriste fuzzy logiku u automatskim klimatskim uređajima.

3.4. FUZZY AUTOMATSKI MENJAČI

Automatski menjač ima zadatak da bira odgovarajući stepen prenosa u skladu sa uslovima vožnje, zahtevima obrtnog momenta i komforom vozača. Klasični algoritmi promene brzina zasnivaju se na fiksnim mapama koje zavise od brzine i opterećenja motora, ali često ne uzimaju u obzir složene situacije, poput naglih ubrzanja, vožnje uzbrdo ili preferencija vozača.

Fuzzy kontroler omogućava inteligentno i adaptivno menjanje brzina na osnovu više ulaznih parametara, kao što su:

- Brzina vozila (v),
- Položaj papučice gasa (α),
- Promena položaja papučice gasa ($\Delta\alpha$),
- (opciono) Ugao nagiba puta (θ).

Izlaz fuzzy kontrolera je signal za promenu stepena prenosa (G) – npr. "zadrži", "povećaj", "smanji".

Primer fuzzy pravila:

- Ako je brzina srednja i pritisak gasa velik → povećaj stepen prenosa,
- Ako je brzina mala i pritisak gasa mali → zadrži stepen prenosa,
- Ako je brzina velika i papučica se naglo otpušta → smanji stepen prenosa.

Zahvaljujući ovakvoj heurističkoj logici, sistem postiže:

- gladke promene brzina,
- veći komfor vožnje,

- manju potrošnju goriva,
- duži vek trajanja transmisije.

Fuzzy automatski menjači se koriste u modernim vozilima (npr. Toyota, Nissan, Honda), gde doprinose personalizovanom stilu vožnje i adaptivnoj dinamici u realnim uslovima. [14]

3.5. SISTEMI ASISTENCIJE VOZAČU

Napredni sistemi asistencije vozaču (ADAS) predstavljaju ključni korak ka poluautonomnim i autonomnim vozilima, jer omogućavaju inteligentnu podršku u različitim situacijama vožnje – od zadržavanja vozila u traci, preko održavanja razmaka, do automatskog kočenja i prepoznavanja prepreka.

U ovim sistemima je neophodno donositi odluke u realnom vremenu na osnovu velikog broja nepreciznih i promenljivih informacija, što fuzzy logiku čini izuzetno pogodnom metodologijom. [15]

Fuzzy kontroleri u ADAS sistemima obrađuju informacije sa brojnih senzora, kao što su:

- Radar i lidar senzori (udaljenost i brzina prepreka),
- Kamera (prepoznavanje linija i znakova),
- Senzori brzine, ugla upravljača i pritiska na papučice.

Na osnovu ovih ulaza, fuzzy sistem može:

- prilagoditi brzinu i udaljenost od drugih vozila,
- odlučiti o intervenciji kočnicom,
- korigovati ugao upravljača,
- ili aktivirati upozorenja za vozača.

Primer: Fuzzy adaptivni tempomat (Fuzzy Adaptive Cruise Control – FACC). Za održavanje bezbednog razmaka od vozila ispred, fuzzy kontroler koristi:

- Grešku udaljenosti (E_d) – razliku između željene i stvarne udaljenosti,
- Promenu udaljenosti (ΔE_d),
- Relativnu brzinu (v_{rel}) – razliku brzina između dva vozila.

Izlaz je akcija ubrzanja ili kočenja (U).
Pravila su tipa:

- Ako je udaljenost mala i vozilo ispred usporava → koči snažno,
- Ako je udaljenost velika i vozilo ispred ubrzava → povećaj brzinu,
- Ako je udaljenost optimalna → održi brzinu.

Na ovaj način sistem ostvaruje gladak odziv, izbegava sudare, i zadržava prirodno ponašanje slično ljudskom vozaču.

Primer: Fuzzy Lane Keeping Assist (LKA). Za zadržavanje u traci, fuzzy kontroler koristi:

- Bočno odstupanje (E_l),
- Ugao vozila prema traci (θ).

Izlaz je korekcija ugla upravljača ($\Delta\delta$), kojom sistem vraća vozilo u centar trake.

Pravila su formirana prema heuristikama:

- Ako je odstupanje veliko ulevo i ugao povećan ulevo → okreni upravljač udesno,
- Ako je odstupanje malo → ne reaguj.

Sistem koristi fuzzy inferenciju da kontinuirano prilagođava upravljanje, izbegavajući nagle promene i oscilacije.

- Prednosti fuzzy pristupa u ADAS sistemima:
- Donosi odluke u realnom vremenu i u uslovima neizvesnosti,
- Imitira ljudsku logiku i stil vožnje,
- Fleksibilno integriše više ulaza iz različitih senzora,
- Povećava bezbednost i smanjuje umor vozača,
- Omogućava gladke i prirodne intervencije bez naglih korekcija.

Zahvaljujući ovim svojstvima, fuzzy logika je našla primenu u brojnim komercijalnim sistemima asistencije (Toyota, Nissan, Bosch, Continental), gde je sastavni deo ADAS arhitektura i korak ka potpuno autonomnim vozilima. [16]

4. ZAKLJUČAK

Razvoj savremenih vozila uslovljen je sve većim zahtevima za inteligentnim, pouzdanim i adaptivnim sistemima

upravljanja, sposobnim da efikasno funkcionišu u uslovima nelinearnosti, promenljivosti i neizvesnosti. U tom kontekstu, fuzzy logika se pokazala kao izuzetno koristan pristup koji omogućava modelovanje ljudskog načina odlučivanja i donošenje zaključaka na osnovu nepreciznih i lingvističkih informacija.

Kroz analizu različitih podsistema u automobilima – uključujući kontrolu brzine, sistem kočenja (ABS), klimatske uređaje, automatske menjače i sisteme asistencije vozaču (ADAS) – pokazano je da fuzzy sistemi značajno doprinose poboljšanju performansi, udobnosti i bezbednosti vožnje. Njihova sposobnost da integrišu više ulaznih promenljivih i donose fleksibilne odluke u realnom vremenu čini ih pogodnim za široku primenu u kompleksnim i dinamičkim okruženjima kakva su karakteristična za automobilsku industriju.

Pored tehničkih prednosti, fuzzy sistemi nude i jednostavniju implementaciju u poređenju sa klasičnim metodama, jer ne zahtevaju egzaktne matematičke modele. Time se smanjuje složenost razvoja i povećava mogućnost personalizacije sistema prema zahtevima vozača i uslovima vožnje. U budućnosti, sa daljim razvojem autonomnih vozila i integracijom veštačke inteligencije, očekuje se da će fuzzy logika igrati ključnu ulogu u hibridnim inteligentnim sistemima, u kombinaciji sa metodama kao što su neuronske mreže, genetski algoritmi i mašinsko učenje. Ova sinergija će omogućiti stvaranje još naprednijih, samoadaptivnih sistema upravljanja koji će doprineti potpuno autonomnoj i bezbednoj vožnji.

5. LITERATURA

- [1] Zadeh, L.A., 1996. On fuzzy algorithms. In fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: selected papers By Lotfi A Zadeh (pp. 127-147).
- [2] Mitaim, S. and Kosko, B., 2002. The shape of fuzzy sets in adaptive function approximation. IEEE Transactions on fuzzy systems, 9(4), pp.637-656.

- [3] Rodriguez, R.M., Martinez, L. and Herrera, F., 2011. Hesitant fuzzy linguistic term sets for decision making. *IEEE Transactions on fuzzy systems*, 20(1), pp.109-119.
- [4] Almalki, S.A. and Song, J., 2020. A review on data falsification-based attacks in cooperative intelligent transportation systems. *Int. J. Comput. Sci. Secur.(IJCSS)*, 14, p.22.
- [5] Hussey, S., Swindell, J.E., Goad, A.C., Egbert, A., Clegg, A., Baylis, C. and Marks, R.J., 2024, May. Application of Mamdani fuzzy inference systems to interference assessments. In *2024 IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN)* (pp. 13-18). IEEE.
- [6] Wang, D. and Bai, Y., 2006. Implementation of fuzzy logic control systems. In *Advanced Fuzzy Logic Technologies in Industrial Applications* (pp. 37-52). London: Springer London.
- [7] Phu, N.D., Hung, N.N., Ahmadian, A. and Senu, N., 2020. A new fuzzy PID control system based on fuzzy PID controller and fuzzy control process. *International Journal of Fuzzy Systems*, 22(7), pp.2163-2187.
- [8] Nauck, D. and Kruse, R., 1993, March. A fuzzy neural network learning fuzzy control rules and membership functions by fuzzy error backpropagation. In *IEEE international conference on neural networks* (pp. 1022-1027). IEEE.
- [9] Trebi-Ollennu, A., Dolan, J.M. and Khosla, P.K., 2001. Adaptive fuzzy throttle control for an all-terrain vehicle. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 215(3), pp.189-198.
- [10] Chitra, V. and Prabhakar, R.S., 2006. Induction motor speed control using fuzzy logic controller. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 23(2006), pp.17-22.
- [11] Akcayol, M.A., Elmas, C., Erdem, O.A. and Kurt, M., 2004. An educational tool for fuzzy logic controller and classical controllers. *Computer Applications in Engineering Education*, 12(2), pp.126-135.
- [12] Jin, L., Xie, X., Shen, C., Wang, F., Wang, F., Ji, S., Guan, X. and Xu, J., 2017. Study on electronic stability program control strategy based on the fuzzy logical and genetic optimization method. *Advances in Mechanical Engineering*, 9(5), p.1687814017699351.
- [13] Yakubu, A.U., Xiong, S., Jiang, Q., Zhao, J., Wu, Z., Wang, H., Ye, X. and Wangsen, H., 2024. Fuzzy-based thermal management control analysis of vehicle air conditioning system. *International Journal of Hydrogen Energy*, 77, pp.834-843.
- [14] Roshdy, S. and Abdelaziz, M., 2020. Development of automated manual transmission system using fuzzy logic control. *International Journal of Mechatronics and Automation*, 7(1), pp.43-55.
- [15] Rahmat, M., Negara, M.A.P., Intvanto, G.W., Kustanto, M.N. and Anam, K., 2024, October. Implementation of ADAS for Electric Vehicle Safety for Pediatric Patients Based on Fuzzy Logic. In *2024 FORTEI-International Conference on Electrical Engineering (FORTEI-ICEE)* (pp. 205-210). IEEE.
- [16] Samuel, M., 2021. Lane keeping control algorithm using image processing (Doctoral dissertation, Universiti Teknologi Malaysia).

Adresa autora: Knežević Maša, Master inženjer informacionih tehnologija, Kancelarija za informacione tehnologije i eUpravu, Beograd, Katićeva 14-16
e-mail: masa.knezevic@ite.gov.rs
Rad primljen: februar 2026.
Rad prihvaćen: mart 2026.



Друштво Истраживање Технологије

Научно-стручни часопис
Scientific-profesional journal

Година XXXII, Број 45, март 2026. год.
Year XXXII, Issue 45, March 2026. year

ТЕХНОЛОГИЈЕ

Одговорни уредник:

Проф. др Данијела Јашин
Висока техничка школа струковних студија
Зрењанин

Редакцијски одбор:

Проф. др Азра Јагањац, УН експерт
Амбасадор зеленог инжењерства
Проф. др Александра Митровић
Академија техничких струковних студија
Београд

Редакција:

Друштво инжењера Зрењанин
ул. Македонска 11,
23000 Зрењанин
E-mail: milorad.rancic@diz.org.rs
www.diz.org.rs

АНАЛИЗА УТИЦАЈА ПРОМЕНЉИВИХ НА САДРЖАЈ ТОКСИЧНИХ И ЕСЕНЦИЈАЛНИХ ЕЛЕМЕНАТА У ЗЕМЉИШТУ, ПШЕНИЦИ, МЕКИЊАМА И БРАШНУ

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF VARIABLES ON THE CONTENT OF TOXIC AND ESSENTIAL ELEMENTS IN SOIL, WHEAT, BRAN AND FLOUR

ГОРДАНА ЛУДАЈИЋ¹
ЈЕЛЕНА КИУРСКИ-МИЛОШЕВИЋ¹
АЛЕКСАНДРА ШУЋУРОВИЋ¹

¹Висока техничка школа струковних студија у Зрењанину

²Универзитет у Новом Саду, Технички факултет „Михајло Пупин”, Зрењанин

РЕЗИМЕ

У раду је приказано испитивање садржаја токсичних елемената (Pb, Cd, As и Hg) као и есенцијалних елемената (Cu, Zn, Fe и Mn) у узорцима пољопривредног земљишта на различитим удаљеностима од фреквентних саобраћајница, као и у целом зрну пшенице и његовим деловима (мекиње и брашно) применом ICP масене спектрометрије. За статистичку евалуацију добијених резултата коришћени су АНОВА и F-тест. Статистичка евалуација добијених резултата је показала да је највећи утицај на токсичне и есенцијалне елементе имао тип узорка као и његово место узорковања, односно удаљеност од фреквентних саобраћајница. Такође се показало да комбинација ова два фактора највише утиче на вредност резултата.

Кључне речи: микроелементи, земљиште, пшеница, мекиње, брашно, АНОВА анализа

ABSTRACT

The paper presents the examination of the content of toxic elements (Pb, Cd, As and Hg) and essential elements (Cu, Zn, Fe and Mn) in samples of agricultural soil at different distances from frequent traffic roads, as well as in the whole grain of wheat and its parts (bran and flour) using ICP mass spectrometry. ANOVA and F-test were used for statistical evaluation of the obtained results. Statistical evaluation of the obtained results showed that the greatest influence on toxic and essential elements were the type of sample and its sampling location, which is the distance from frequent traffic roads. It was also shown that the combination of these two factors had the greatest influence on the value of the results.

Key words: microelements, soil, wheat, bran, flour, ANOVA analysis

1. УВОД

Хемијске материје које се свакодневно могу наћи у природи све су бројније. Интензивна урбанизација, индустријализација и демографске експанзије довели су до нарушавања екосистема. Нерационално кориштење природних ресурса, као и неадекватан третман урбаног и индустријског отпада, представља потенцијалну опасност за екосистем. Контаминација земљишта токсичним елементима нарочито је штетан вид загађења животне средине, јер токсични елементи у њему остају знатно дуже него у води или ваздуху [1].

У измењеним еколошким условима пшеница, као и већина пољопривредних биљака често се сеје поред фрекфентних саобраћајница, где из издувних гасова моторних возила у атмосферу доспевају материје које могу имати штетан утицај на земљиште и биљке. Из тих разлога је пшеници и производима од пшенице посвећена значајна пажња у погледу њихове потенцијалне улоге у транспорту токсичних микроелемената у људској исхрани [2].

Циљ овог рада је процена контаминације токсичним елементима пшенице и земљишта на коме је узгајана. Такође је на основу АНОВА анализе, испитиван утицај насељеног места, удаљеност од пута као и утицај врсте анализираних узорака на динамику као и позицију акумулирања појединих токсичних елемената у зрну.

2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО

Узорци земљишта узети су са десет одабраних парцела на којима ће се узгајати пшеница, уз фрекфентне саобраћајнице Банату (Перлез, Елемир, Меленци, Кумане, Нови Бечеј, Кикинда, Банатски Моноштор, Чока) и Бачкој (Сента, Торњош) (слика 1).

На сваком локалитету узето је 20-25 појединачних узорака земљишта. Појединачни узорци су узимани ашовом

на дубини од 0-30 cm. Појединачни узорци су хомогенизовани и просечан узорак је кориштен за испитивања. Са сваке парцеле направљена су по три просечна узорка узорка земљишта, на растојању 0, 100 и 200 m од пута.

Узорци пшенице прикупљени су за време жетве 2011. год. Пожњевена је пшеница непосредно поред саобраћајница, затим на 100 и 200 m као и узорци земљишта.



Слика 1. Мапа места узорковања

Узорци земљишта припремљени су у складу са методима EPA METHOD 3051A- Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soil and oils док је одређивање извршено у складу са EPA 6020A: 2007 Inductively coupled plasma-mass spectrometry.

За одређивање садржаја елемената Pb, Cd, Hg, As, Zn, Cu, Fe и Mn у земљишту на аналитичкој ваги је одмерено 0,5 g узорка, затим је додато 9 ml HNO_3 и 3 ml HCl, након чега је извршена дигестија у микроталасној пећници Multiwave 3000 (Anton Paar). Након дигестије разорени узорак је квантитативно пренет у у пластични нормални суд од 50 ml, додато је 50 μ l интерног стандарда Rh концентрације 10 mg/l и суд је допуњен до црте ултрачистом водом. Садржај елемената одређен је ICP масеном спектрометријом (Elan 9000, DRC-e).

Мекиње и брашно су добијени млевењем појединачних узорака пшенице на млину Quadrumat Senior у

лабораторији Института за прехранбене технологије у Новом Саду.

Узорци су припремљени у складу са методом BS EN 15763: 2009 Foodstuffs-Determination of arsenic, cadmium, mercury and lead in foodstuffs by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) after pressure digestion на следећи начин: Узорци пшенице и мекиња су пре одмеравања на аналитичкој ваги самлевени на млину са воденим хлађењем (KNIFTEC, модел 1095) и хомогенизовани. Велика брзина ротора обезбеђује веома брзу припрему узорка. Млин је обезбеђен системом за хлађење, који обезбеђује добру хомогенизацију узорка и смањење пријањања узорка уз зидове коморе млина.

Садржаји елемената Pb, Cd, Hg, As, Zn, Cu, Fe и Mn одређени су у целом зрну пшенице, мекињама и брашну. У одмерени узорак (0,5 g) је додато 7 ml HNO_3 , након чега је вршена дигестија у микроталасној пећници Multiwave 3000 (Anton Paar). Након дигестије разорени узорак је квантитативно пренет у у пластични нормални суд од 50 ml, додато је 50 μl интерног стандарда Rh

концентрације 10 mg/l и суд је допуњен до црте ултрачистом водом. Садржај елемената одређен је ICP масеном спектрометријом (Nexion 300 X, Perkin Elmer). Примењени су радни услови предложени од стране произвођача инструмента.

Свако одређивање поновљено је осам пута.

Дескриптивна статистика је употребљена за квантитативно описивање проучаваних особина ради почетног описивања података и сагледавања њиховог међусобног односа. Униваријантна анализа је урађена да би се утврдила расподела променљивих, укључујући централну тенденцију (средње вредности) и дисперзију (опсеги, стандардне девијације и варијансе).

3 РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

У табели 1. дате су средње вредности добијеног садржаја испитиваних елемената за анализирана земљишта, као и највиши и најнижи утврђен садржај испитиваних елемената.

Табела 1. Дескриптивни статистички подаци за испитиване елементе (mg/kg) у пољопривредном земљишту

	Токсични елементи				Есенцијални елементи			
	Pb	Cd	Hg	As	Zn	Cu	Fe	Mn
Сред.вр.	17,43	0,164	0,012	10,69	58,574	21,795	24612,74	593,396
SD	3,39	0,015	0,001	1,712	13,859	3860,6	3870,28	86,653
min	11,21	0,131	0,011	7,036	37,57	13,94	18088,25	417,83
max	22,21	0,18	0,016	13,043	80,33	31,60	31584,75	748,45

Кадмијум је елемент који се данас све више спомиње због могућности нагомилавања у земљишту применом фосфатних ђубрива и/или муљева. Према Правилнику [3] дозвољени садржај кадмијума је до 3 mg/kg, па може се рећи да испитивана земљишта нису у опасности да буду загађена овим елементом. Садржај укупног олова у узорцима пољопривредног земљишта на свим испитиваним локалитетима далеко је испод максимално дозвољене количине

(МДК). Највећа количина олова измерена је на локалитету Кикинде (22,21 mg/kg), што се објашњава да је узорак земљишта узет са парцеле која се налази непосредно уз саобраћајницу која пролази поред индустријске зоне. Најчешће антропогено загађење земљишта оловом је поред прометних саобраћајница и води порекло од издувних гасова аутомобила [4]. Просечан садржај за сва испитивања земљишта износио је 17,43 mg/kg. Како је дозвољена количина олова 100 mg/kg,

може се рећи да испитивана земљишта нису загађена оловом. Дескриптивни статистички подаци за садржај елемента у

целом зрну пшенице, мекињама и брашну приказани су у табели 2.

Табела 2. Дескриптивни статистички подаци за испитиване елементе (mg/kg) у целом зрну пшенице, мекињама и брашну

	Токсични елементи			Есенцијални елементи				
	Pb	Cd	Hg	As	Zn	Cu	Fe	Mn
пшеница								
Сред.вр.	0,169	0,116	0,007	0,019	20,532	3,221	36,558	52,992
SD	0,045	0,006	0,002	0,011	4,357	0,603	4,942	6,114
min	0,112	0,103	0,003	0,012	12,083	2,269	29,913	44,081
max	0,225	0,128	0,009	0,048	26,128	4,035	46,821	63,274
мекиње								
Сред.вр.	0,143	0,121	0,008	0,028	68,545	9,017	104,23	164,665
SD	0,046	0,006	0,002	0,014	13,471	2,231	36,508	29,858
min	0,105	0,109	0,004	0,014	46,043	1,439	12,045	121,738
max	0,290	0,138	0,011	0,074	99,98	13,265	240,48	235,850
брашно								
Сред.вр.	0,107	0,105	0,007	0,015	6,342	1,465	9,392	11,302
SD	0,010	0,004	0,002	0,008	1,588	0,350	2,461	3,734
min	0,076	0,094	0,003	0,009	3,200	0,987	6,764	6,150
max	0,122	0,113	0,010	0,045	13,070	2,944	20,098	26,829

Добијени резултати показују да је просечан садржај токсичних елемената у пшеници испод вредности које су дефинисане Правилником [3].

Измерена концентрација Cd (0,109-0,138 mg/kg) у мекињама била је виша од максимално дозвољене (0,05 mg/kg), што се може објаснити релативно високим концентрацијама Cd налазе у сировим фосфатима из којих се производе фосфатна ђубрива, која се користе у пољопривредној производњи.

Садржај Pb у брашну, кретао се у опсегу од 0,076-0,122 mg/kg. Средње вредности садржаја Pb су 0,106±0,014 mg/kg брашна. Резултати показују да је концентрација Pb у анализираном брашну већа у односу на ранија испитивања Тајера и сар. [5] где је садржај Pb био 0,037-0,056 mg/kg, као и према

испитивањима Zhang и сар. [6], где је концентрација Pb била 0,0351 mg/kg. Супротно томе, Дое и сар. [7] као и Locatelli [8] су у својим истраживањима показали се концентрација Pb у брашну кретала од 0,22-0,34 mg/kg, односно 0,49-0,89 mg/kg, што је много више у односу на добијене резултате.

Садржаји Pb, As и Hg у испитиваним узорцима мекиња и брашна (табела 2) показују да се просечан садржај ових токсичних елемената кретао у границама које прописује Правилник [3], али имајући у виду токсичан и кумулативан ефекат који ови елементи могу имати у људском организму, неопходно је стално праћење и одређивање њиховог садржаја.

3.1 АНОВА АНАЛИЗА УТИЦАЈА ПРОМЕНЉИВИХ НА САДРЖАЈ ТОКСИЧНИХ И ЕСЕНЦИЈАЛНИХ ЕЛЕМЕНАТА У АНАЛИЗИРАНИМ УЗОРЦИМА

У овој анализи испитиван је утицај насељеног места (променљива “Место”), затим утицај удаљености од пута (променљива “Позиција”) и врсте узорка – земљиште, зрно пшенице, мекиње или брашно (променљива “Тип”). За потребе ове анализе, уведени су кодови (табела 3). Утицај променљивих на садржај Pb, Cd, Hg, As, Zn, Cu, Fe и Mn у узорцима земљишта, зрна пшенице и њених делова, у десет насељених места у Банату, на различитим удаљеностима од прометних

саобраћајница показује униваријантна анализа (АНОВА), а резултати су приказани у табелама 4 и 5.

Tabela 3. Tabela kodova za ANOVA analizu

Код	Место	Позиција	Тип
1	Б.Моноштор	0	Земљиште
2	Чока	100	Мекиње
3	Елемир	200	Пшеница
4	Кикинда		Брашно
5	Кумане		
6	Меленци		
7	Н.Бечеј		
8	Перлез		
9	Сента		
10	Торњош		

Табела 4. АНОВА табела– најутуцајније променљиве за токсичне елементе

	dF	Pb			Cd			Hg			As		
		SS	F	p	SS	F	p	SS	F	p	SS	F	p
Нулни члан	1	1,7·10 ⁴	9,4·10 ⁵	<0,01	15,0	4,0·10 ⁵	<0,01	6,8·10 ⁻²	4,7·10 ⁴	<0,01	6,7·10 ³	1,8·10 ⁵	<0,01
Место	9	6,1·10²	3,8·10³	<0,01	0,0	5,2·10 ¹	<0,01	5,8·10 ⁻⁴	4,4·10 ¹	<0,01	1,5·10²	4,3·10²	<0,01
Позиција	2	4,6·10 ¹	1,3·10 ³	<0,01	0,0	3,3·10 ¹	<0,01	7,7·10 ⁻⁵	2,6·10 ¹	<0,01	2,0	2,6·10 ¹	<0,01
Тип	3	4,7·10⁴	8,8·10⁵	<0,01	0,4	3,8·10³	<0,01	2,9·10⁻³	6,6·10²	<0,01	2,0·10⁴	1,8·10⁵	<0,01
Место × Позиција	18	1,5·10 ¹	4,5·10 ¹	<0,01	0,0	6,8	<0,01	2,9·10 ⁻⁴	1,1·10 ¹	<0,01	1,3	1,9	<0,01
Место × Тип	27	1,8·10³	3,7·10³	<0,01	0,0	3,9·10 ¹	<0,01	8,5·10 ⁻⁴	2,2·10 ¹	<0,01	4,4·10²	4,4·10²	<0,01
Позиција × Тип	6	1,2·10 ²	1,1·10 ³	<0,01	0,0	4,3	<0,01	7,2·10 ⁻⁵	8,2	<0,01	5,3	2,4·10 ¹	<0,01
Место × Позиција × Тип	54	4,1·10 ¹	4,3·10 ¹	<0,01	0,0	3,4	<0,01	7,2·10 ⁻⁴	9,2	<0,01	3,6	1,8	<0,01
Грешка модела	840	1,5·10 ¹			0,0			1,2·10 ⁻³			3,1·10 ¹		

dF – број степени слободе, SS – збир квадрата разлика, F – F-тест, p- статистичка значајност

Утицај променљивих на садржај Pb, Cd, Hg, As, Zn, Cu, Fe и Mn у узорцима земљишта, зрна пшенице и њених делова, у десет насељених места у Банату (Б. Моноштор, Чока, Елемир, Кикинда, Кумане, Меленци, Н. Бечеј, Перлез, Сента, Торњош), на различитим удаљеностима од прометних саобраћајница показује униваријантна анализа (АНОВА).

Најутуцајније променљиве за садржај Pb и As у испиваним узорцима су “Тип” и “Место” узорка. Највеће вредности збира квадрата разлика, показују који су то чланови најутуцајнији при рачунању садржаја токсичних елемената у узорцима.

За променљиву “Место” SS је 6,1·10², за променљиву “Тип” 4,7·10⁴, а за “Место×Тип” SS 1,8·10³, што значи да

заједнички утицај “Места” и “Типа” има већи утицај од “Места” на садржај Pb у свим узорцима.

Најутицајнија променљива за садржај As је променљива “Тип”, за коју је вредност SS била $2,0 \cdot 10^4$.

Променљива које највише утиче на садржај Cd и Hg у испиваним узорцима је “Тип” узорка, дакле ради се о узорцима земљишта, зрна пшенице, мекиња и брашна. Уочава се, за Cd, највећа вредност SS 0,4, а за Hg вредност SS је $2,9 \cdot 10^{-3}$.

Најутицајније променљиве за садржај Zn, Fe и Mn у испиваним узорцима су “Тип” и “Место” узорка, као и географски положај одакле су узети узорци.

За Zn, вредност SS је $1,7 \cdot 10^4$ за променљиву “Место”, а $6,2 \cdot 10^5$ за променљиву “Тип”, док је за међусобни утицај ове две променљиве “Место×Тип” $4,7 \cdot 10^4$. Значи променљива “Тип” је најутцајнија на садржај Zn у испитиваним узорцима.

Табела 5. АНОВА табела – најутцајније променљиве за есенцијалне елементе

	dF	Zn			Cu			Fe			Mn		
		SS	F	p	SS	F	p	SS	F	p	SS	F	p
Нушти члан	1	$1,4 \cdot 10^6$	$6,2 \cdot 10^6$	<0,01	$7,3 \cdot 10^4$	$9,3 \cdot 10^5$	<0,01	$3,4 \cdot 10^{10}$	$2,8 \cdot 10^6$	<0,01	$3,9 \cdot 10^7$	$2,3 \cdot 10^7$	<0,01
Место	9	$1,7 \cdot 10^4$	$8,4 \cdot 10^3$	<0,01	$6,6 \cdot 10^2$	$9,4 \cdot 10^2$	<0,01	$8,4 \cdot 10^8$	$7,7 \cdot 10^3$	<0,01	$7,3 \cdot 10^5$	$4,7 \cdot 10^4$	<0,01
Позиција	2	$1,1 \cdot 10^3$	$2,4 \cdot 10^3$	<0,01	$1,2 \cdot 10^1$	$7,9 \cdot 10^1$	<0,01	$1,4 \cdot 10^7$	$5,8 \cdot 10^2$	<0,01	$1,2 \cdot 10^4$	$3,4 \cdot 10^3$	<0,01
Тип	3	$6,2 \cdot 10^5$	$9,1 \cdot 10^5$	<0,01	$5,8 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^5$	<0,01	$9,9 \cdot 10^{10}$	$2,7 \cdot 10^6$	<0,01	$4,9 \cdot 10^7$	$9,4 \cdot 10^6$	<0,01
Место × Позиција	18	$7,6 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^3$	<0,01	$2,6 \cdot 10^2$	$1,9 \cdot 10^2$	<0,01	$1,5 \cdot 10^7$	$7,0 \cdot 10^1$	<0,01	$4,7 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^3$	<0,01
Место × Тип	27	$4,7 \cdot 10^4$	$7,6 \cdot 10^3$	<0,01	$4,3 \cdot 10^3$	$2,1 \cdot 10^3$	<0,01	$2,5 \cdot 10^9$	$7,7 \cdot 10^3$	<0,01	$1,2 \cdot 10^6$	$2,6 \cdot 10^4$	<0,01
Позиција × Тип	6	$3,1 \cdot 10^3$	$2,3 \cdot 10^3$	<0,01	$4,8 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^2$	<0,01	$4,3 \cdot 10^7$	$5,8 \cdot 10^2$	<0,01	$1,5 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^3$	<0,01
Место × Позиција × Тип	54	$1,7 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^3$	<0,01	$4,8 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^2$	<0,01	$4,6 \cdot 10^7$	$7,0 \cdot 10^1$	<0,01	$1,3 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^3$	<0,01
Грешка модела	840	$1,9 \cdot 10^2$			$6,6 \cdot 10^1$			$1,0 \cdot 10^7$			$1,4 \cdot 10^3$		

dF – број степени слободе, SS – збир квадрата разлика, F – F-тест, p- статистичка значајност

За Fe, највећу вредност SS има променљива “Тип” $9,9 \cdot 10^{10}$, променљива “Место” $8,4 \cdot 10^8$, а такође је веома значајан међусобни утицај ове две променљиве где је вредност SS $2,5 \cdot 10^9$.

За Mn, вредност SS је $7,3 \cdot 10^5$ за променљиву “Место”, $4,9 \cdot 10^7$ за променљиву “Тип”, док је за међусобни утицај ове две променљиве “Место×Тип” вредност SS $1,2 \cdot 10^6$.

За садржај Cu у испитиваним узорцима најутцајнија променљива је “Тип” узорка, за коју је вредност SS била $5,8 \cdot 10^4$. Такође је међусобни утицај “Место×Тип” је веома значајан за садржај Cu, јер је вредност SS била $4,3 \cdot 10^3$

5. ЗАКЉУЧАК

На основу резултата испитивања садржаја есенцијалних и токсичних елемената у пољопривредном земљишту, највећа количина олова измерена је на локалитету Кикинде ($22,21 \text{ mg/kg}$).

Резултати испитивања садржаја есенцијалних и токсичних елемената у целом зрну пшенице, показују повећану концентрацију Pb непосредно поред саобраћајнице на локалитету Кикинда, Кумане, Меленци и Нови Бечеј ($0,23$ и $0,22 \text{ mg/kg}$), у односу на на максимално дозвољене концентрације које прописује FAO/ WHO Codex Alimentarius Commissia ($0,1 \text{ mg/ kg}$).

На основу АНОВА анализе, где је испитиван утицај насељеног места, утицај

удаљености од пута и врсте узорка – земљиште, зрно пшенице, мекиње или брашно могу се извести следећи закључци:

- Најутицајније променљиве за садржај Pb и As у испитиваним узорцима су “Тип” и “Место” узорка.
- Променљива које највише утиче на садржај Cd и Hg у испитиваним узорцима је “Тип” узорка.
- Најутицајније променљиве за садржај Zn, Fe и Mn у испитиваним узорцима су “Тип” и “Место” узорка.
- Најутицајнија променљива за садржај Cu у испитиваним узорцима је “Тип” узорка.
- Праћење и одређивање садржаја токсичних елемената у пшеници, као и земљишту на коме је узгајана изузетно је значајно у циљу процене и превенције контаминације овим елементима.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Nordberg, G., Fopwler, B.A., Nordberg, M., Friberg L.T. Handbook on the toxicology of metals, 4 ed, Academic Press, 2015
- [2] Škrbić, B., Onjia, A. Multivariate analyses of microelement contents in wheat cultivated in Serbia (2002), Food Control 18, 338-345, 2007.
- [3] Pravilnik o količinama pesticida, metala i metaloida i drugih supstancija koje se mogu nalaziti u namirnicama (“Službeni glasnik SRJ”, br. 5/92, 11/92 – ispr. i 32/2002 i “Sl. glasnik RS”, br. 25/2010 - dr. pravilnik i 28/2011)
- [4] Nwachukwu, M. A., Feng, H., Alinnor, J. Assessment of heavy metal pollution in soil and their implications within and around mechanic villages. International Journal of Environmental Science and Technology, 7 (2), 347-358, 2010.
- [5] Tejera, R., Luis, G., González-Weller, D., Caballero, J. M., Gutiérrez, Á. J., Rubio, C., Hardisson, A. Metals in wheat flour; comparative study and safety control, Nutrición Hospitalaria, 2013; 28(2): 506-513, 2013.
- [6] Zhang, Z.W., Watanabe, T., Shimbo, S., Higashikawa, K., Ikeda, M. Lead and cadmium contents in cereals and pulses in northeastern China. Science of the Total Environment, 220: 137-145, 1998.
- [7] Doe, E. D., Awua, A. K., Gyamfi, O. K., Bentil, N. O. (2013). Levels of selected heavy metals in wheat flour on the Ghanaian market: a determination by atomic absorption spectrometry, American Journal of Applied Chemistry, 2013; 1(2): 17-21, 2013.
- [8] Locatelli, C. Heavy metals in matrices of food interest: Sequential voltammetric determination at trace and ultra trace level of copper, lead, cadmium, zinc, arsenic, selenium, manganese and iron in meals. Electroanalysis, 16 (18): 1478-1486, 2004.

Адреса аутора: Лудажин Гордана, Професор струковних студија, Висока техничка школа струковних студија у Зрењанину, Ђорђа Стратимировића 23, Зрењанин, Република Србија
е-маил: gordana.ludajic@vts-zr.edu.rs
Рад примљен: фебруар 2026.
Рад прихваћен: март 2026.



ДОБРИВОЈЕ БОЖИЋ
(1885 – 1967)

Машински инжењер.
Велики српски конструктор,
иноватор и проналазач.
Аутор чувене пнеуматске
кочнице која је примењена
у железницама широм света.

МЕРЕЊА КВАЛИТЕТА ВАЗДУХА И ПОДРШКА ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ

AIR QUALITY MEASUREMENTS AND AI SUPPORT

IRIS BORJANOVIĆ TRUSINA¹
NIKOLA JERKOVIĆ¹
ŽELJKO EREMIĆ¹
JELENA KIURSKI MILOŠEVIĆ¹

¹Висока техничка школа струковних студија у Зрењанину

РЕЗИМЕ

На Високој техничкој школи струковних студија у Зрењанину, рађена су мерења квалитета ваздуха у једној од канцеларија Школе, користећи uHoo детектор квалитета ваздуха. Циљ је био утврдити квалитет ваздуха који запослени удишу, као и евентуалне последице по здравље. Консултована је и вештачка интелигенција, GPT верзија 5.2, да прокоментарише резултате мерења.

Кључне речи: унутрашњи квалитет ваздуха, uHoo детектор, вештачка интелигенција

ABSTRACT

At the Technical College of Applied Studies in Zrenjanin, air quality measurements were performed in one of the offices, using uHoo air quality monitor. The goal was to establish the quality of air breathed by the employees and its eventual health consequences. Artificial Intelligence, GPT version 5.2, was also consulted, to comment on the measurement results.

Key words: Indoor Air Quality, uHoo Monitor, Artificial Intelligence

1. УВОД

Људи већи део времена у току дана проводе у затвореном простору, нарочито током хладнијег дела године, па квалитет ваздуха унутра значајно утиче на њихово здравље [1,2].

Поред препорука Светске здравствене организације, у Европској Унији и у Америци постоји законска регулатива, која се односи на квалитет ваздуха у затвореном. У Србији постоји законска регулатива везана за безденост и здравље

на раду [3] која се односи на квалитет ваздуха у затвореном простору где се у технолошким и радним процесима појављују хемијске штетности (гасови, паре, димови и прашине). Овакви поступци контроле квалитета ваздуха се спроводе кроз испитивање микроклиме на радном месту и радној околини.

На Високој техничкој школи струковних студија у Зрењанину (ВТШССЗР) ради се мониторинг квалитета ваздуха у просторијама школе, да би се установило колико је ваздух који

се удише контаминиран, као и да ли је потребно спроводити мере побољшања квалитета ваздуха. У оквиру ове студије праћени су следећи параметри квалитета ваздуха у затвореном:

- температура,
- влажност,
- притисак,
- честична материја величине 2.5 микрона и мање (PM2.5),
- укупна испарљива органска једињења (енгл. *Total Volatile Organic Compound*, TVOC),
- угљен-диоксид (CO₂),
- угљен-моноксид (CO),
- азот-диоксид (NO₂),
- озон (O₃).

Температура, влажност и притисак утичу на концентрацију полутаната у ваздуху, као и на удобност боравка у просторији па их је зато важно пратити.

Фине честичке материје (PM 2.5) удисањем могу доспети у респираторни тракт, а чине их суспендоване честице у чврстом и течном агрегатном стању које у амбијентални ваздух доспевају од споља (из индустријских процеса, саобраћаја и сагоревања фосилних горива и дрвета). Када су присутне у већим концентрацијама, могу довести до респираторних и кардиоваскуларних болести.

Укупна испарљива органска једињења (TVOC) су гасовита једињења која у затворени простор доспевају из различитих извора попут лакова, боја, пластике, средстава за чишћење, спрејева, а настају и као продукти кувања и дисања. Боравком у просторијама са високим концентрацијама TVOC-а током краћег временског интервала, због неких од компоненти TVOC-а, може доћи до појаве алергија, главобоља, мучнина, респираторних инфекција.

Угљен-диоксид је у највећој мери последица дисања људи присутних у простору, мада може долазити и од споља. Може изазвати главобољу и смањену концентрацију и несвестицу.

Угљен-моноксид је токсичан гас који нема мирис, а продукт је и непотпуног сагоревања. Удисање овог гаса може резултирати смрћу.

Азот-диоксид када долази од споља последица је саобраћаја, рада термоелектрана и индустријских процеса које прати сагоревање, а унутра извор овог гаса могу бити шпорети на гас као и пећи на плин, угљ, дрва. Овај гас у већим концентрацијама доводи до сметњи у респираторним путевима и болести органа за дисање.

Озон у приземним слојевима јесте опасан по здравље и штетан за екосистем, а настаје као резултат хемијских реакција азотних оксида и VOC-а (енгл. *Volatile Organic Compound*) са ултравиолетним зрацима. Његово удисање изазива повреде плућа.

После спроведених мерења квалитета ваздуха у канцеларији Школе, консултована је и вештачка интелигенција (АИ), да прокоментарише резултате урађених мерења. Циљ је био да се процени колико АИ може допринети разумевању резултата мерења и у којој мери може дати допринос истраживањима у овој области.

2. УНОО ДЕТЕКТОР

uNoo детектор квалитета ваздуха [4] коришћен је за анализе описане у овом раду. Приказан је на Слици 1 [4] и производ је компаније uNoo. Цилиндричног је облика, пречника десетак сантиметара и висине око 20 сантиметара. Тежак је нешто мање од 300 грама. То је „паметан“ детектор са WiFi и Bluetooth конекцијом. Подешава се и прати преко апликације на мобилном телефону. Мери девет параметара квалитета ваздуха, поменутих у претходном тексту.

У зависности од вредности параметара квалитета ваздуха, на графицима вредности параметара у функцији времена, може се видети зелена боја (добра вредност параметра),

жута боја (прихватљива вредност) или црвена боја (лоша вредност). Граничне вредности за дефинисање ових зона поставио је произвођач, али их корисник детектора може променити. Уколико се појаве забрињавајући нивои било ког од параметра ваздуха, на мобилни телефон у оквиру иНoo апликације кориснику стижу поруке са обавештењима и препорукама.



Слика 1. Изглед иНoo детектора квалитета ваздуха [4].

3. МЕРЕЊА КВАЛИТЕТА ВАЗДУХА

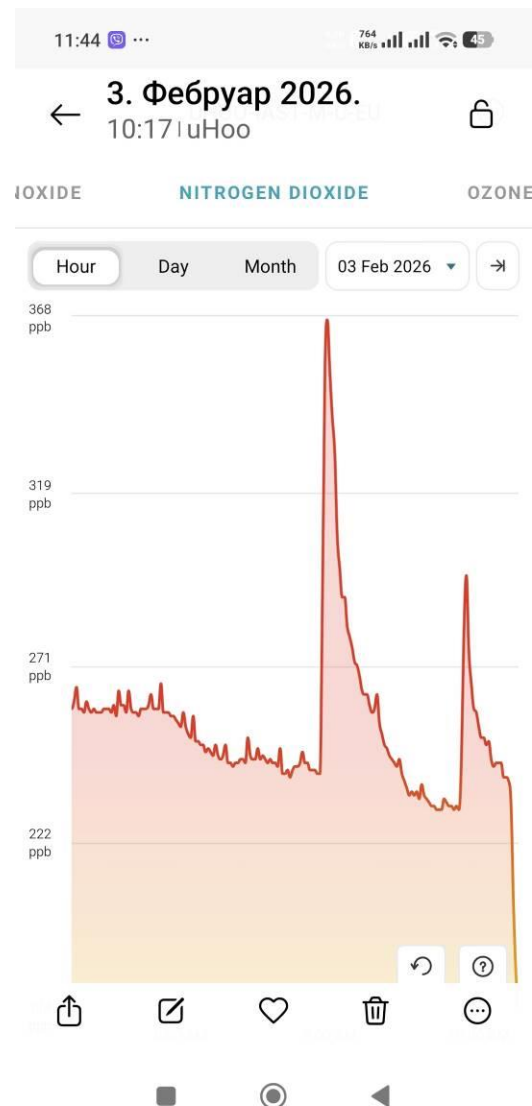
Неколико година уназад на ВТШ ССЗР ради се мониторинг квалитета ваздуха [5], [6]. У оквиру ове студије мерења квалитета ваздуха рађена су у канцеларији 208, на првом спрату ВТШ ССЗР у периоду од јуна 2025. до фебруара 2026. Просторија је за време трајња мерења уобичајено коришћена, луфтирана и одржавана. Детектор је стајао на столу, даље од зидова, прозора и грејних тела.

Сви мерени параметри квалитета ваздуха имали су добре вредности у току овог временског периода, сем благо повишене концентрације РМ 2.5 честица и значајно виших вредности азот-диоксида у односу на препоруке Светске здравствене организације. Добијене

средње вредности за осмомесечни период (јун 2025.-фебруар 2026.) за ова два параметара приказане су у Табели 1.

Табела 1. Средње вредности параметара РМ2.5 и NO₂ за период јун 2025- фебруар 2026. на ВТШССЗР (канцеларија 208).

Концентрација	Измерена вредност
NO ₂	182 µg/m ³
PM2.5	7.3 µg/m ³



Слика 2. Нагли скокови концентрације азот-диоксида после 2 узастопна отварања прозора канцеларије.

Повећане вредности параметара NO₂ и РМ2.5 потичу од загађеног спољашњег ваздуха који је улазио у просторију током

природног вентилирања. После провертавања су се током времена повећане вредности постепено смањивале. За азот-диоксид је на Слици 2, приказан овај феномен. Када је прозор два пута узастопно отворен појављују се на графику два изражена пика у концентрацији азот-диоксида, који после полако почињу да се смањују.

Такође је примећено да су јануарске вредности концентрација NO_2 знатно више у односу на концентрације током јесењих месеци, а јесење вредности концентрације азот-диоксида су опет биле веће од летњих. Ово је једним делом последица примене индивидуланих ложишта током зимских периода, што је утицало на повећање нивоа азот-диоксида у ваздуху генерално. Такође, NO_2 представља главни извор загађења из транспорта. Велики број аутомобила као и теретних возила са старијом годином производње драстично утиче на квалитет ваздуха одређене средине.

4. AI ПОДРШКА

Вештачка интелигенција је данас на завидном нивоу, тако да може сама да учи и симулира људску интелигенцију [7]. У овој студији је рађено је са GPT (*Generative Pretrained Transformer*) верзијом 5.2.

Експеримент са вештачком интелигенцијом је урађен на следећи начин. Одабрано је десетак резултата мерења параметара квалитета ваздуха, када неки од параметара није имао оптималне вредности. Та мерења су онда прослеђена вештачкој интелигенцији, од које је тражено да те вредности и прокоментарише. Добијена је детаљна анализа вештачке интелигенције, за сваку прослеђену вредност параметра квалитета ваздуха, а садржала је следеће елементе:

- коментар да ли је дата вредност параметра ваздуха безбедна или не;

- границе за вредности тог параметра у законској регулативи Европске Уније и Америке, као и препоруке Светске здравствене организације;
- уколико су вредности биле лоше, наведени су потенцијални извори проблема;
- утицај дате вредности параметра на људско здравље је такође процењен;
- предложене су и мере које треба предузети да би се вредности датог параметра поправиле.

Добијени коментари и препоруке вештачке интелигенције били су углавном смислени и коректни и донекле слични коментарима са мобилне апликације uNoo детектора.

5. ЗАКЉУЧАК

Препорука Светске здравствене организације (СЗО) за $\text{PM}_{2.5}$ [2] је да средња годишња вредност буде до $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, док препоручени краткорочни (24-часовни) ниво износи $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (за 3-4 дана прекорачења годишње). Америчка агенција за заштиту животне средине (ЕРА) поставља границу примарног годишњег стандарда $\text{PM}_{2.5}$ [8] на $9,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, а за дневну концентрацију препоручује $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Вредности $\text{PM}_{2.5}$ измерене у канцеларији 208 биле су нешто више од препоручених од стране СЗО, а ниже од ЕПА граница.

Препорука СЗО [9] за годишњи ниво азот-диоксида у ваздуху затвореног простора је $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, а 1-часовна вредност је $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Измерене вредности азот-диоксида у канцеларији Школе значајно су биле веће од препоручених годишњих граница СЗО.

Главни извор проблема квалитета ваздуха у просторији Школе јесте лош квалитет спољашњег ваздуха који доспева унутра при природној вентилацији просторије. Како је боравак запослених у овој просторији око 8 h

дневно, овакав квалитет ваздуха не представља значајан здравствени ризик, а и запослени нису осетили здравствене сметње. Било би корисно, у сваком случају, убацити пречишћивач ваздуха у просторију, како би се постигао што бољи квалитет ваздуха.

Глобално би најважније било деловати што више на свест људи о стању квалитета ваздуха у Србији, као и о последицама таквог ваздуха по здравље. Важно је апеловати на људе да у саобраћају смање употребу возила са моторима на унутрашње сагоревање без катализатора, као и старих возила са дизел моторима која користе дизел без додатих адитива (AddBlue). Одржавање нешто ниже амбијенталне температуре у грејној сезони би такође дало учинка. Велики напредак био би и што масовнији прелаз на обновљиве изворе енергије и смањење употребе фосилних горива за грејање. Допринос би дало и спровођење мера енергетске ефикасности. Један од корака био би свакако и прелазак на нуклеарне електране.

Искуства у коришћењу вештачке интелигенције за тумачење резултата мерења квалитета ваздуха показала су да се АИ може користити као прва помоћ за стицање оквирне идеје о стању квалитета амбијенталног ваздуха. За темељније и поузданије анализе је и даље неопходна људска експертиза. У сваком случају је напредак на пољу АИ-ја до ког се данас стигло изванредан.

Идеја даљег рада везано за мерења квалитета ваздуха у Школи, је да се мерења наставе и раде и у другим просторијама Школе. Да би се проверила веродостојност резултата планира се и употреба више различитих типова детектора паралелно током мерења.

5. ЛИТЕРАТУРА

[1] Shah, K. B., Kim, D., Pinakana, S. D., Hobosyan, M., Montes, A., Raysoni, A.

U., Evaluating Indoor Air Quality in Residential Environments: A Study of PM2.5 and CO2 Dynamics Using Low-Cost Sensors. *Environments*, 11(11), 237., 2024.

- [2] WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM 2.5 and PM 10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021.
- [3] Правилник о поступку прегледа и провере опреме за рад и испитивања услова радне околине ("Сл. гласник РС", бр. 15/2023).
- [4] From uHoo web site, <https://getuhoo.com/>
- [5] Kiurski Milošević J., Borjanović Trusina I., Одређивање квалитета ваздуха у затвореном простору, Научно-стручни часопис ДИТ, бр.44, Друштво инжењера Зрењанин, Зрењанин, 2025.
- [6] Borjanović Trusina I., Kiurski Milošević J., Eremić Ž., Summer Measurements of Indoor Air Quality at TCAS, International Conference on Physical Aspects of Environment, Zrenjanin, 2025.
- [7] From IBM web site, What is Artificial Intelligence, 2024, Accessed on April 10th 2024, <https://www.ibm.com/topics/artificial-intelligence>
- [8] EPA Agency web sites, 2026, <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/indoor-particulate-matter>, <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>
- [9] WHO guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants, Geneva: World Health Organization; 2010.

Адреса аутора: Ирис Борјановић, Висока техничка школа струковних студија у Зрењанину, Ђорђа Стратимировића 23, Зрењанин, Република Србија.

е-маил: iris@ipb.ac.rs

Рад примљен: фебруар 2026.

Рад прихваћен: март 2026.



ДОБРИВОЈЕ БОЖИЋ
(1885 – 1967)

Машински инжењер.
Велики српски конструктор,
иноватор и проналазач.
Аутор чувене пнеуматске
кочнице која је примењена
у железницама широм света.

УКЛАЊАЊЕ ПРИРОДНИХ ОРГАНСКИХ МАТЕРИЈА ИЗ ВОДЕ ЕКОЛОШКИМ КОАГУЛАНТИМА

REMOVAL OF NATURAL ORGANIC MATTER FROM WATER USING ECO-FRIENDLY COAGULANTS

ДАНИЈЕЛА ЈАШИН²
МИЛАНА ДРАШКОВИЋ¹
ГЕЛЕРТ ГЛИГОР²

¹Висока техничка школа струковних студија у Зрењанину

²Висока техничка школа струковних студија у Суботици

РЕЗИМЕ

Вода за пиће у Општини Зрењанин, већ дужи низ година представља значајан еколошки и здравствени изазов, између осталог и због повећане концентрације природних органских материја (ПОМ) у подземним водама које се користе као извор водоснабдевања. Присуство ПОМ у води може довести до погоршања органолептичких својстава воде, као и до стварања потенцијално штетних дезинфекционих нуспродуката. У овом раду анализира се могућност примене еколошки прихватљивих коагуланата у циљу уклањања природних органских материја из воде. Циљ овог рада је испитати могућност примене управо таквих коагуланата (комерцијални препарат произвођача GROVE Advanced Chemicals, GROVE Advanced Chemicals, који се на тржишту може наћи под називом FLOX) у лабораторијским условима. Добијени резултати указују да употреба еколошких коагуланата може представљати ефикасну и одрживу алтернативу конвенционалним средствима у процесу пречишћавања воде, уз потенцијално смањење негативног

утицаја на животну средину. Овај приступ може допринети унапређењу квалитета воде за пиће и развоју одрживих технологија у области третмана воде.

Кључне речи: природне органске материје, коагулација, еколошки коагуланти.

ABSTRACT

Drinking water in the municipality of Zrenjanin has represented a significant environmental and public health challenge for many years, partly due to the elevated concentration of natural organic matter (NOM) in the groundwater used as a source of water supply. The presence of NOM in water can lead to deterioration of organoleptic properties and the formation of potentially harmful disinfection by-products. This paper analyzes the possibility of applying environmentally friendly coagulants for the removal of natural organic matter from water. The aim of this study is to examine the possibility of applying such coagulants—specifically a commercial preparation produced by GROVE Advanced Chemicals, available on the market under the

name FLOX coagulant—under laboratory conditions. The obtained results indicate that the use of eco-friendly coagulants may represent an efficient and sustainable alternative to conventional agents in water treatment processes, while potentially reducing negative environmental impacts. This

approach may contribute to improving drinking water quality and to the development of sustainable technologies in the field of water treatment.

Key words: natural organic matter (NOM), coagulation process, eco-friendly coagulants.

1. УВОД

Потреба за водом одговарајућег квалитета представља велики изазов, првенствено због све већег загађења ресурса. Град Зрењанин се водом снабдева из изворишта подземних вода, које су усред геолошких карактеристика, изузетно оптерећене хуминским, односно природним органским материјам (ПОМ). Утицај ПОМ на квалитет воде је вишеструк. Првенствено се огледа у промени органолептичких или сензорних карактеристика воде. Наиме, воде са високим или / и повишеним садржајем хуминских материја, имају измењена органолептичка, односно сензорна својства. Такве воде имају карактеристичну боју (од жуте, преко мрке, до тамно браон или чак црне боје), повишену мутноћу, извесну опалесценцију, карактеристичан укус и мирис. Посебно треба нагласити њихов утицај на микробиолошку нестабилност воде, јер су изузетан супстрат за развој микроорганизама у водоводној мрежи. Поред тога у процесима припреме воде за пиће одговарајућег квалитета, у складу са прописаним стандардима. ПОМ веома отежавају, а у појединим случајевима у потпуности и онемогућавају примену одређених технолошких решења за припрему и пречишћавање вода. У процесима дезинфекције (хлорисање, озонизација), може доћи до формирања великог броја дезинфекционих нуспродуката (1). Због свега наведеног, уклањање ПОМ је један од кључних корака у обезбеђивању квалитетне и здравствено безбедне воде за пиће. На подручју града Зрењанина, проблем присуства ПОМ у подземним водама

посебно је изражен. Сложен хемијски састав ових вода, укључујући растворене органске и неорганске компоненте, представља изазов за системе третмана воде и захтева примену ефикасних и савремених метода пречишћавања.

Природне органске материје су веома распрострањене, како у подземним (што је случај у нашем граду), тако и у површинским водама (2). Настају услед хемијског и биолошког распада биљних и животињских ткива из земљишта и вода. ПОМ представљају групу органских једињења, која настају међусобним повезивањем супстанци великих молекулских маса микробиолошког, биљног и животињског порекла (3). Комбинација макромолекула захтева дуг период за своје формирање. ПОМ се у основи могу поделити у две велике групе, односно фракције:

- хуминске материје (фулвинске и хуминске киселине), и
- нехуминске супстанце (угљени хидрати, масти и различите аминокиселине).

2. ПРИРОДНИ КОАГУЛАНТИ

Једна од најшире примењиваних метода за уклањање ПОМ јесте коагулација и флокулација. Ови процеси подразумевају додавање коагуланата који омогућавају формирање флокула од ситних колоидних честица и растворених органских материја, које се након тога могу уклонити једноставним таложењем (седиментацијом) или филтрацијом (4). Конвенционални коагуланти, на бази соли алуминијума или гвожђа, су доказано ефикасни, али њихова примена

може имати еколошке, технолошке, али и недостатке везане за утицај резидуала у води за пиће на здравље људи. Наиме, резидуали класичних коагуланата у води за пиће, собом носе потенцијалне опасности, као што су: појава Алцхајмерове болести, неуротоксичност и канцерогени ефекти у случају резидула алуминијума (5,6), односно Паркинсонова болест, (7), канцер, васкуларни и неуролошки проблеми, у случају употребе когуланата на бази гвожђа (8,9).

Због тога је у последњих деценија, све већа пажња усмерена на развој и примену еколошки прихватљивих коагуланата, који су често природног порекла и одликују се биоразградљивошћу. Ови коагуланти поседују висок потенцијал за уклањање ПОМ из воде, а при томе је њихов утицај на животну средину минимализован и значајно су смањене количине отпадног муља (10, 11). Међутим, и ови коагуланти, иако

Табела 1. Природни коагуланти

Природни коагулант	Порекло	Активна компонента	Примена
Моринга олеифера позитивним	Биљка (семе)	Протеини са набојем	Један од најистраженијих; ефикасан за мутну воду
<i>Opuntia</i> spp. кактус	Биљка (слуз из стабљике)	Полисахариди (гуме и слузи)	Делује као флокулант
Банана кора	Биљка	Пектин, целулоза	Добра за уклањање тешких метала
Семена лубенице	Биљка	Протеини	Слично као моринга, али мање ефикасно
Гуар гума (<i>guar gum</i>)	Биљка (<i>Cyamopsis tetragonoloba</i>)	Полисахариди	Убрзава флокулацију
Китозан (<i>chitosan</i>)	Животињско (из оклопа шкољки, ракова)	Полисахарид	Такође се користи за прочишћавање отпадних вода
Глина (нпр. бентонит)	Минерал	Физичка адсорпција	Може да уклони честице и неке метале
Екстракт зрна пасуља (најчешће <i>Phaseolus vulgaris</i>)	Биљка	Протеини и полисахариде	Уклањање мутноће воде

природни, имају извесне недостатке. Неки од њих су:

- Краћи рок трајања (посебно уколико су у питању екстракти);
- Неопходна је претходна стандардизација доза;
- Променљива ефикасност условљена карактеристикама третиране воде, њеним саставом, али и условима рада;
- У појединим случајевима, спорије реакције у односу на класичне, хемијске коагуланте.

Бројне биљне врсте се могу примењивати као природни коагуланти. Неке од њих су: кестен, жир, кактус, кромпир, семенке грожђа, зрна кукуруза, али и пасуља и друге. У табели 1 су дати примери неких природних коагуланата, њихово порекло, активна компонента и примена у пракси (12).

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО

3.1 КОМЕРЦИЈАЛНИ ЕКОЛОШКИ КОАГУЛАНТИ FLOX КОМПАНИЈЕ GROVE ADVANCED CHEMICALS

GROVE Advanced Chemicals је компанија специјализована за третман отпадних вода, процесних вода за потребе различитих индустријских грана и припрему воде за пиће (13). Употребом FLOX коагуланата, биодеградибилних, који потичу из природних извора, у потпуности су елиминисани сви потенцијални негативни утицаји на животну средину, али и људе, које могу имати класични коагуланти. FLOX производи су у хемијском смислу, модификовани танина, екстаховани из коре дрвета мимозе (*Acacia tearnsii*) познатог и као Црно пруже.

3.2 УЗОРЦИ ВОДЕ

За испитивања је коришћена подземна вода са територије средњег Баната из водоносног слоја са дубине 100-150 м. Један од основних проблема у смислу квалитета ове воде, представља висок садржај природних органских материја.

3.3 МЕТОДЕ МЕРЕЊА - ТЕСТОВИ КОАГУЛАЦИЈЕ

Најпре је на уређају који се назива турбидиметар и служи за мерење мутноће, измерена полазна мутноћа узорака. За одређивање ефикасности коагуланта вршени су тестови коагулације, на уређају који се назива цар тестер. Цар тестер се састоји из 6 радних места, а узорци се додају у лабораторијске чаше. У чашу је одмерено по 200 мл узорка воде и у њих су спуштене мешалице са цар тестера. Након тога је уређај укључен, а брзина мешања је подешена на 200 обртаја у минути. У чаше са узорком воде је додата одређена запремина природног

коагуланта. Интезивно мешање је извршено у трајању од једног минута, а и након тога је брзина мешања смањена на 60 обртаја у минути. Мешање овом брзином је настављено наредних 30 минута. По истицању пола сата, садржај из чаша је веома пажљиво пребачен у мензуре. Време мировања, без икаквог померања износило је 1 сат и неопходно је за таложење евентуално насталих флокула. У исто време се на таложење ставља и слепа проба која се састоји од 200 мл узорка, без додатка коагуланта. Након сат времена, из сваке мензуре се пипетом одпипетира горњи избистрени део воде и мери се њена мутноћа. Коагулациона активност изражена преко мутноће може се израчунати на основу следећег израза:

$$KAm(\%) = (M_{sp} - M_p) / (M_{sp}) \cdot 100$$

где су:

M_{sp} – мутноћа следеће пробе [NTU - Nephelometric Turbidity Units - нефелометријске јединице мутноће], и

M_p – мутноћа узорка [NTU].

Садржај природних органских материја у узорцима воде и води након употребе одговарајући концентрација коагуланта, одређен је преко утрошка калијум-перманганата за оксидацију органских материја. Поступак је рађен по стандардној процедури у киселој средини (14). Садржај органских материја које апсорбују UV зрачење на 254 nm одређиван је мерењем UV апсорбанције на 254nm у кивети од 1 cm на UV спектрофотометру DLAV SP-UV 1000. UV апсорбанција је квантитативан, индиректни, индикатор концентрације ПОМ у води.

4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

4.1 КАРАКТЕРИСТИКЕ ПОДЗЕМНЕ ВОДЕ

У табели 2 су дате карактеристике подземне воде која се користи за водоснабдевање града Зрењанина.

Анализом су обухваћени поједини параметри квалитета воде, представљени као средња вредност више мерења (5 мерења), а израчуната је и стандардна девијација за сваки од приказаних параметара. Посебан значај за наш рад имали су параметри перманганатни број и UV апсорбанција на 254 nm, као и SUVA вредност. Ови параметри су индиректни показатељи садржаја ПОМ у води. На основу њихових вредности може се недвосмислено закључити да је подземна вода која се користи као извориште воде за пиће у нашем граду изузетно оптерећена природним органским материјама. То значајно отежава процесе припреме воде за пиће, а представља и потенцијалну опасност по здравље становника, услед могућности појаве нуспродуката хлорисања, који су канцерогени.

Табела 2. Карактеристике подземне воде

Параметар	Јединица мере	Средња вредност ± Sd
pH	-	7,8 ± 0,14
Укупни алкалитет	mg HCO ³⁻ / l	909 ± 15
Мутноћа	NTU	0,52 ± 0,03
Електрична проводљивост	μS/cm	1202 ± 16

Перманганатни број	mg KMnO ₄ /l	37,7 ± 0,6
UV ₂₅₄	cm ⁻¹	0,497 ± 0,015
SUVA	l mg ⁻¹ m ⁻¹	5,36 ± 0,49
Sd – стандардна девијација на основу 5 мерења		

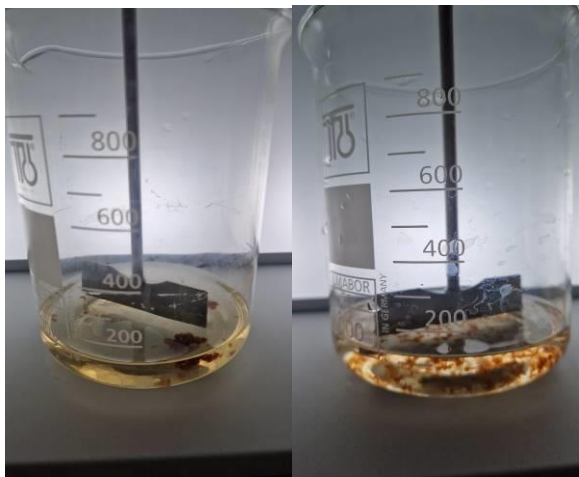
4.2 ТЕСТОВИ КОАГУЛАЦИЈЕ СА КОМЕРЦИЈАЛНИМ, ЕКОЛОШКИМ КОАГУЛАНТОМ FLOX-1% И УЗОРКОМ ПОДЗЕМНЕ ВОДЕ

У оквиру овог испитивања, дошло је до појаве флокула у свакој од чаша, што се јасно може видети на слици 1. Флокуле су се формирале готово тренутно, што указује на изузетну коагулациону ефикасност примењеног комерцијалног коагуланта. У том контексту, овај коагулант би могао да се примени за уклањање природних органских материја (ПОМ) из подземне воде која се користи као извориште за водоснабдевање града Зрењанина. У циљу дефинисања оптималне дозе коагуланта и најповољнијих услова за сам процес, неопходно је спровести додатна истраживања, како у лабораторијским условима, тако и на пилот-постројењу, где се симулирају реални услови рада система за третман воде.



Слика 1. Џар тест – комерцијални коагулант у узорцима подземне воде (Фото: Аутор)

Као што је већ наглашено, до формирања флокула дошло је практично у свакој чаши. Међутим, најкрупније флокуле формирале су се при додатној запремини од 1,5 ml, односно 3,0 ml коагуланта, што се може уочити на слици 2.



Слика 2. Изглед флокула при додатку 1,5 ml и 3,0 ml комерцијалног коагуланта (Фото: аутор)

На слици 2 може се уочити:

- да су се пахуље појавиле готово тренутно,
- да су изразито крупне, и
- да су при мањој запремини додатог коагуланта практично формирале једну крупну глобулу, док је при већој запремини коагуланта формиран облак крупних флокула које су се у потпуности исталожиле за свега 5 минута.

Након издвајања талога, отпипетирана је избистрена вода из сваке од чаша и измерене су вредности рН, мутноће и UV апсорбанције на 254 nm, као и утрошак KMnO_4 . Резултати су приказани у табели 3.

Табела 3. Резултати параметара квалитета подземне воде након процеса коагулације комерцијалним коагулантом Флох.

Број чаше	рН вредност	Мутноћа [NTU]	UV ₂₅₄ [cm ⁻¹]	KMnO ₄ [mg/l]
1	7,83	0,5	0,51	35,5
2	7,83	0,44	0,47	30,2
3	7,83	0,32	0,31	20,2
4	7,83	0,29	0,27	19,6
5	7,83	0,22	0,19	17,2
6	7,83	0,17	0,10	11,5

На основу резултата из табеле 3 може се закључити следеће:

- 1. Нема промене рН вредности воде**, што је веома значајно, јер примена овог коагуланта не захтева корекцију рН вредности. Наиме, то је готово неизбежно при употреби класичних коагулационих средстава. На овај начин постижу се значајне уштеде, како у потрошњи хемикалија (киселина или база за корекцију рН вредности), тако и у погледу конструкције и врсте уређаја неопходних за одвијање процеса (резервоари, дозатори, мешалице, танкови и др.), као и у избору материјала који морају бити отпорни на дејство агресивних хемијских средстава.
- 2. Долази до смањења мутноће воде** у износу од 66%.
- 3. Вредност UV апсорбанције на 254 nm** смањује се за чак 80%.
- 4. Утрошак KMnO_4 смањује се** за готово 70%, али се не постиже гранична вредност дефинисана Правилником о хигијенској исправности воде за пиће, која износи 12 mg KMnO_4 /l (15).

5. ЗАКЉУЧАК

Уклањање природних органских материја (ПОМ) из воде представља један од најважнијих изазова у савременим технологијама обраде и припреме воде за пиће. ПОМ представљају сложене смеше органских једињења, укључујући хуминске и фулвинске киселине, протеине, угљене хидрате и друге биолошки разградиве супстанце које настају услед распадања биљног и животињског материјала.

Присуство ПОМ у води директно утиче на безбедност по здравље потрошача, органолептичка, односно сензорна својства воде (укус, боју и мирис), као и на формирање потенцијално токсичних и канцерогених нуспродуката током дезинфекције воде хлором.

Традиционални приступи коагулацији и флокулацији, који се најчешће заснивају на употреби неорганских коагуланата на бази соли алуминијума и гвожђа ($Al_2(SO_4)_3$ и $FeCl_3$), показују добру ефикасност у уклањању ПОМ. Међутим, бројна истраживања у последњим деценијама указују на могуће негативне ефекте њихове примене. То се пре свега односи на присуство резидуалних метала у води након процеса коагулације, повећану продукцију муља, као и потенцијалне негативне утицаје на здравље људи и животну средину. Посебна пажња посвећује се дуготрајној конзумацији воде која садржи трагове алуминијума, која се у појединим студијама доводи у везу са појавом неуролошких обољења. Због наведеног, расте потреба за развојем еколошки прихватљивијих алтернатива које могу бити једнако ефикасне или чак ефикасније, али са мањим штетним утицајима.

У складу са тим, еколошки коагуланти, који су засновани на природним, биолошки разградивим материјама биљног и животињског порекла, добијају све већи значај.

Коагуланти биљног порекла (нпр. екстракти семенки *Moringa oleifera*, *Opuntia ficus-indica* и *Tamarindus indica*, као и хитозана (добијеног из хитина, састојка љуштура морских организама), показали су у бројним лабораторијским и пилот-студијама способност да уклоне и више од 70% ПОМ при оптималним условима.

Потврду наведеног добили смо и у оквиру наших истраживања, али уз употребу комерцијалног еколошког коагуланта FLOX. Наиме, смањење мутноће, UV апсорбације на 254 nm и утрошка $KMnO_4$ износило је 66% у случају параметра мутноће, чак 80% за UV254 и око 70% за утروشак перманганата.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Gabrielli, M., Pulcini, F., Barbesti, G., & Antonelli, M. (2024). Source-to-tap investigation of natural organic matter in non-disinfected drinking water distribution systems. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 10, 128–143. <https://doi.org/10.1039/D3EW00280B>
- [2] Sun, H., Lin, H., Shi, J., & Kuang, Z. (2025). Insights into the interaction between coagulants and natural organic matter (NOM) in drinking water treatment: A review of floc formation and floc aging. *Water*, 17(21), 3124. <https://doi.org/10.3390/w17213124>
- [3] Peña-Méndez, E. M., Havel, J., & Patočka, J. (2005). Humic substances-compounds of still unknown structure: applications in agriculture, industry, environment, and biomedicine. *J. Appl. Biomed*, 3(1), 13-24.
- [4] Łukasiewicz, E. (2025). Coagulation–sedimentation in water and wastewater treatment: Removal of pesticides, pharmaceuticals, PFAS, microplastics, and natural organic matter. *Water*, 17(21), 3048. <https://doi.org/10.3390/w17213048>

- [5] Bondy, S.C. (2010), The neurotoxicity of environmental aluminum is still an issue. *NeuroToxicology* 31, 575–581.
- [6] Walton, J.R. (2013), Aluminum involvement in the progression of Alzheimer’s disease. *J. Alzheimer’s Dis.*, 35, 7–43.
- [7] Bellicha, A.; Wendeu-Foyet, G.; Coumoul, X.; Koual, M.; Pierre, F.; Guéraud, F.; Zelek, L.; Debras, C.; Srouf, B.; Sellem, L.; et al. (2022). Dietary exposure to acrylamide and breast cancer risk: Results from the NutriNet-Santé cohort. *Am. J. Clin. Nutr.*, 116, 911–919.
- [8] Ma, L.; Gholam Azad, M.; Dharmasivam, M.; Richardson, V.; Quinn, R.J.; Feng, Y.; Pountney, D.L.; Tonissen, K.F.; Mellick, G.D.; Yanatori, I.; et al. (2021) Parkinson’s disease: Alterations in iron and redox biology as a key to unlock therapeutic strategies. *Redox Biol.*, 41, 101896
- [9] Chandrasekaran, V.R.M.; Muthaiya, I.; Huang, P.-C.; Liu, M.-Y. (2010). Using iron precipitants to remove arsenic from water: Is it safe? *Water Res.*, 4, 5823–5827.
- [10] Frumento, D., & Țălu, Ș. (2026). Recent advances in the application of natural coagulants for sustainable water purification. *Eng*, 7(1), 38. <https://doi.org/10.3390/eng7010038>
- [11] Mahanna, H., Fouad, M., Zedan, T., & Mossad, M. (2024). Effective turbid water treatment using natural eco-friendly coagulants derived from oat and onion seeds. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 21, 4773–4787. <https://doi.org/10.1007/s13762-023-05326-5>
- [12] Saleem M., Thomas Bachmann R. (2019.). A contemporary review on plantbased coagulants for applications in water treatment. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. Volume 72, 25 April, Pages 281-297.
- [13] Van Asch B. et al. (2016). Grove Advanced Chemicals: Flox® Coagulants - Environmentally Friendly Water and Wastewater Treatment Using Biodegradable Polymers From Renewable Forests DOI: 10.1002/9781118843796.ch13
- [14] Škunca-Milovanović, S., Feliks, R., Djurović, B. (1990) Voda za piće, Standardne metode za ispitivanje higijenske ispravnosti, Savezni zavod za zdravstvenu zaštitu, NIP "Privredni pregled" Beograd.
- [15] Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće, “Sl. list SRJ”, br. 42/98 i 44/99 i “Sl. glasnik RS”, br. 28/2019.

Адреса аутора: Данијела Јашин, Професор струковних студија, Висока техничка школа струковних студија у Зрењанину, Зрењанин, Ђорђа Стратимировића 23

е-маил: danijelajasin@gmail.com

Рад примљен: март 2026.

Рад прихваћен: март 2026.

MIKROBIOLOŠKA KONTROLA ZAMRZNUTIH JAGODA

MICROBIOLOGICAL CONTROL OF FROZEN STRAWBERRIES

MILANA DRAŠKOVIĆ¹

DANIJELA JAŠIN¹

ŽELJKO EREMIĆ¹

¹Visoka tehnička škola strukovnih studija u Zrenjaninu

REZIME

Mikrobiološka kontrola zamrznutih jagoda ima presudnu ulogu jer direktno utiče na zdravstvenu bezbednost i kvalitet finalnih liofilizovanih proizvoda u kompaniji Van Drunen Farms Evropa (VDFE). Ove voćne vrste spadaju u lako kvarljive namirnice, koje zbog visokog sadržaja vode, šećera i organskih kiselina predstavljaju povoljnu sredinu za rast i razvoj mikroorganizama, posebno kvasaca, plesni i pojedinih patogenih bakterija. Kvarenje voća može dovesti do promena boje, mirisa, ukusa i konzistencije, ali i do ozbiljnih zdravstvenih rizika za potrošače.

Upravo iz tih razloga, mikrobiološka kontrola je od posebnog značaja kako u primarnoj proizvodnji, tako i tokom procesa prerade, zamrzavanja i skladištenja. Redovna mikrobiološka kontrola obuhvata ispitivanje prisustva aerobnih mezofilnih bakterija, kvasaca i plesni, *Escherichia coli*, *Salmonella spp.* i *Listeria monocytogenes*. Prisustvo ovih mikroorganizama može ozbiljno ugroziti bezbednost krajnjeg proizvoda, ali i uticati na kvalitet i rok trajanja.

Ključne reči: Mikrobiološka kontrola, zamrznute jagode, bezbednost hrane

ABSTRACT

Microbiological control of frozen strawberries has a crucial role because it directly affects the health safety and quality of the final lyophilized products at Van Drunen Farms Europe (VDFE). These fruit types belong to easily perishable foods, which, due to their high content of water, sugar and organic acids, represent a favorable environment for the growth and development of microorganisms, especially yeasts, molds and certain pathogenic bacteria. Spoilage of fruit can lead to changes in color, smell, taste and consistency, but also to serious health risks for consumers.

Precisely for these reasons, microbiological control is of particular importance both in primary production and during the processing, freezing and storage processes. Regular microbiological control includes examination of the presence of aerobic mesophilic bacteria, yeasts and molds, *Escherichia coli*, *Salmonella spp.* and *Listeria monocytogenes*. The presence of these microorganisms can seriously threaten the safety of the final product, but also affect the quality and shelf life.

Key words: Microbiological control, frozen strawberries, food safety

1. UVOD

Jagoda (*Fragaria x ananassa*) spada u grupu jagodasto-bobičastog voća i ubraja se među nutritivno vredne namirnice zbog bogatog sadržaja bioaktivnih jedinjenja korisnih za ljudsko zdravlje. Specifičan hemijski sastav jagode značajno doprinosi njenim senzornim osobinama i nutritivnoj vrednosti. Zahvaljujući hemijskom sastavu (89,9% vode, 6,9% ugljenih hidrata, 0,8% proteina, 0,5% masti, sirova vlakna 1,4% i 0,5% pepela), jagode predstavljaju veoma povoljnu sredinu za razmnožavanje bakterija, kvasaca i plesni [1, 2]. Ovi mikroorganizmi dovode do promena u boji, ukusu, mirisu i konzistenciji ploda, čime se smanjuje njegova zdravstvena bezbednost.

Sveže ubrane jagode imaju prirodnu površinsku epifitnu mikrofloru koja ima mali broj bakterija iz rodova *Flavobacterium*, *Achromobacter*, *Micrococcus*, *Alcaligenes*, *Corynebacterium*. Patogeni (*Clostridium botulinum*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.*, *Shigella spp.*) koji prirodno naseljavaju zemljište, preko biljaka mogu da se prenose na voće [3].

Kvarenje jagoda najčešće izazivaju plesni *Aspergillus niger*, *Rhizopus stolonifer*, *Botrytis cinerea*, *Geotrichum candidum*, *Sclerotinia*, *Cladosporium*, *Alternaria tenuis*, *Colletotrichum spp.* i *Penicillium spp.*. Takođe voće predstavlja idealan supstrat za kontaminaciju, gram negativnim bakterijama iz rodova *Pseudomonas*, *Erwinia*, *Xanthomonas* i *Escherichia coli* [4]. Zbog sastava mikroflora na plodovima se mogu naći kvasci iz rodova *Candida*, *Saccharomyces*, *Torulopsis*, *Hansenula* i *Rhodotorula* koji učestvuju u njegovom kvarenju [5].

Kao najznačajnije sirovine u Van Drunen Farms Europe koriste se sorte jagoda Fortuna, Festival i Sensation koje se uvoze iz Egipta prikazane na slici 1. Ove sorte su odabrane zbog svojih izuzetnih karakteristika koje ih čine pogodnim za zamrzavanje i liofilizaciju [6].



Slika 1. Sorte jagoda koje se koriste u VDFE: sveže cele i presečene jagode

Cilj zamrzavanja kao metode konzervisanja voća je očuvanje svežine, nutritivnih vrednosti i teksture voća. IQF (Individual Quick Freezing) je metoda kojom se brzo pojedinačno zamrzavaju plodovi, i na taj način se sprečava stvaranje velikih kristala leda, održava oblik i kvalitet. Prednosti IQF metode je lako doziranje, minimalno lepljenje plodova, idealno je za industrijsku preradu.

Svetska proizvodnja jagoda je u porastu poslednjih decenija. Međutim, malo je dostupnih informacija o njihovom mikrobiološkom kvalitetu.

Cilj ovog rada bio je proučavanje mikrobiološkog kvaliteta i bezbednosti zamrznutih jagoda na prisustvo patogenih bakterija, uključujući *Salmonella spp.* i *Listeria monocytogenes*; i drugih mikrobioloških parametara, uključujući ukupne aerobne mezofilne mikroorganizme, plesni i kvasce, koliformne bakterije i *Escherichia coli*.

2. MATERIJAL I METODE RADA

2.1. MATERIJAL

Materijal za mikrobiološku kontrolu bile su IQF zamrznute jagode (slika 2.) preuzete iz redovnih proizvodnih serija u okviru

procesa kontrole kvaliteta u pogonu kompanije Van Drunen Farms Evropa. Jagode stižu iz Egipta, proizvedene su u dolini Nila, na potezu između Aleksandrije i Kaira. Dobavljači je beru svežu sa njiva, prerađuju i pojedinačno je brzo zamrzavaju IQF tehnikom u tunelskim freezer-ima. Jagode kao sirovina, stižu u zamrznutom obliku, cele godine. Van Drunen kupuje sorte jagoda Festival i Fortuna od 3-4 različita dobavljača.



Slika 2. Zamrznute jagode

Jagode se pakuju u najlonske plave kese i kartonske kutije od 10 kg, koje se slažu na palete i tako se skladište kod dobavljača (slika 3). Za transport se palete prenose u kontejnere za prekookeanski transport brodom, pod uslovom sklštenja na -18°C .



Slika 3. Kutije na palet

Nakon prispeća i istovara u Van Drunenu, kutije se obležavaju internim lot brojem, zavode u sistem, uzorkuju, a zatim se skladište u hladnjači na -18°C .

Prilikom uzorkovanja, primenjuje se metoda nasumičnog izbora, pri čemu se sa svake palete odabira po jedna kutija, kako bi se obezbedila reprezentativnost uzoraka u skladu sa preporukama za kontrolu kvaliteta

zamrznutih proizvoda (ISO 18593:2018). Iz svake odabrane kutije odvaja se približno 150 grama uzorka zamrznute jagode, pri čemu se koristi sterilni pribor i zaštitna oprema, čime se eliminiše mogućnost spoljne kontaminacije i osigurava validnost mikrobioloških rezultata. Nakon što se uzorci prikupe sa svih paleta koje čine pošiljku, oni se pažljivo mešaju kako bi se formirao jedan kompozitni uzorak koji verno reprezentuje ukupno mikrobiološko stanje ispitivane serije zamrznutog voća.

Okvako pripremljeni kompozitni uzorci se zatim pakuju u sterilne kese, označavaju i transportuju u akreditovanu laboratoriju na mikrobiološku analizu. Tokom celog procesa uzorkovanja i transporta strogo se poštuju temperaturni režimi od -18°C .

2.2. METODE RADA

Mikrobiološke analize uzoraka zamrznutih jagoda sprovedene su u akreditovanoj SP Laboratoriji AD Bečej, uz primenu referentnih metoda (tabela 1.).

Tabela 1. Ispitivani mikrobiološki parametri i referentne metode

Vrsta ispitivanja	Metoda ispitivanja	
<i>Listeria spp.</i>	SRPS EN ISO 11290-1:2017	detekcija
<i>Salmonella spp.</i>	SRPS EN ISO 6579-1:2017	detekcija
Koagulaza pozitivne stafilokoke	SRPS EN ISO 6888-1:2021	Brojanje
Ukupan broj mikroorganizama	SRPS EN ISO 4833-1:2013	Brojanje
Koliformne bakterije	SRPS EN ISO 4832:2014	Brojanje
<i>Enterobacteriaceae</i>	SRPS EN ISO 21528-2:2017	Brojanje
Plesni	SRPS EN ISO 21527-1:2011	Brojanje
Kvasci	SRPS EN ISO 21527-2:2011	Brojanje
<i>Escherichia coli</i>	SRPS EN ISO 16649-2:2005	brojanje

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati mikrobiološke kontrole zamrznutih jagoda u periodu od 01.02.2025.-02.04.2025. prikazani su u tabeli 2.

Tabela 2. Rezultati mikrobiološke kontrole zamrznutih jagoda

Lot broj /datum	Ukupan br. m.o. (CFU/g)	Plesni (CFU/g)	Kvasci (CFU/g)	<i>Listeria monocytogenes</i> (25g)	Koagulaza pozitivne stafilokoke (CFU/g)	Koliformne Bakterije (CFU/g)	<i>Enterobacteriaceae</i> (CFU/g)	<i>E.coli</i> (CFU/g)	<i>Salmonella spp</i> (25g)
08853859/ 2.4.2025.	60	<10 ²)	<10 ²)	Nije detektovano	<10 ²)	<10 ²)	<10 ²)	<10 ²)	Nije detektovano
08452974/ 31.3.2025.	1000	420	500	Nije detektovano	<10 ²)	<10 ²)	<10 ²)	<10 ²)	Nije detektovano
08152974/ 24.3.2025.	380	<10 ²)	350	Nije detektovano	<10 ²)	<10 ²)	<10 ²)	<10 ²)	Nije detektovano
07852974/ 24.3.2025.	50	<10 ²)	<10 ²)	Nije detektovano	<10 ²)	<10 ²)	<10 ²)	<10 ²)	Nije detektovano
07750060/ 22.3.2025.	50	<10 ²)	<10 ²)	Nije detektovano	<10 ²)	<10 ²)	<10 ²)	<10 ²)	Nije detektovano
07050060/ 18.3.2025.	250	120	100	Nije detektovano	<10 ²)	<10 ²)	<10 ²)	<10 ²)	Nije detektovano
06252974/ 10.3.2025.	70	<10 ²)	40	Nije detektovano	<10 ²)	<10 ²)	<10 ²)	<10 ²)	Nije detektovano
04052974/ 15.2.2025.	40	<10 ²)	<10 ²)	Nije detektovano	<10 ²)	<10 ²)	<10 ²)	<10 ²)	Nije detektovano
03952974/ 12.2.2025.	400	150	300	Nije detektovano	<10 ²)	<10 ²)	<10 ²)	<10 ²)	Nije detektovano
03450060/ 10.2.2025.	70	<10 ²)	<10 ²)	Nije detektovano	<10 ²)	<10 ²)	<10 ²)	<10 ²)	Nije detektovano
02450060/ 3.2.2025.	400	<10 ²)	<10 ²)	Nije detektovano	<10 ²)	<10 ²)	<10 ²)	<10 ²)	Nije detektovano
02150060/ 1.2.2025.	60	<10 ²)	<10 ²)	Nije detektovano	<10 ²)	<10 ²)	<10 ²)	<10 ²)	Nije detektovano

Na osnovu rezultata analiziranih parametara, može se zaključiti da svi uzorci jagoda odgovaraju čl. 3, Prilog 1 Pravilnika o opštim i posebnim uslovima higijene hrane i mikrobiološkim kriterijumima za hranu („Službeni glasnik RS”, 30/2024) [7] u pogledu *Escherichia coli* i *Salmonella spp.*

Analizom mikrobioloških rezultata uzoraka zamrznute jagode uočeno je da su sve vrednosti mikrobioloških parametara u granicama propisanim internim standardima

kompanije i važećem Pravilniku o opštim i posebnim uslovima higijene hrane i mikrobiološkim kriterijumima za hranu (Sl.glasnik RS 30/2024). Međutim, pojedini lotovi pokazali su nešto povišene vrednosti ukupnog broja mikroorganizama, kvasaca i plesni, što je očekivano kod ovakvih proizvoda obzirom na prirodnu mikrofloru voća i činjenicu da se radi o sirovoj smrznutoj robi namenjenoj daljoj preradi.

Kod jagoda su se najčešće odstupanja odnosila na povećan broj kvasaca i ukupnog

broja mikroorganizama, pri čemu su uočene vrednosti bile najviše kod lota 08452974 (ukupan broj MO 1000 cfu/g, plesni 420 cfu/g, kvasci 500 cfu/g), što je i dalje u skladu sa standardima za zamrznuto voće.

4. ZAKLJUČAK

Mikrobiološka kontrola zamrznutih jagoda od ključnog je značaja za očuvanje zdravstvene ispravnosti krajnjih liofilizovanih proizvoda u kompaniji Van Drunen Farms Europe.

Rezultati dobijenih mikrobioloških analiza predstavljaju osnovu za identifikaciju kritičnih tačaka u procesu proizvodnje i skladištenja, čime se omogućava pravovremena primena korektivna mera. Pored toga, dosledna primena HACCP sistema i dobre proizvođačke i higijenske prakse doprinose očuvanju visokog nivoa zdravstvene bezbednosti proizvoda i zaštiti krajnjih potrošača.

Mikrobiološka kontrola kod lako kvarljivih namirnica kao što su jagode, podrazumeva kontinuirano praćenje mikrobioloških parametara, kao i dodatna istraživanja koja bi uključila analizu drugih potencijalnih kontaminanata i unapređenje postojećih kontrolnih procedura u cilju dobijanja zdravstveno bezbednih proizvoda. Rezultati ispitivanja ukazuju na to da su upakovane, zamrznute jagode bezbedne za konzumaciju. Svi uzorci su bili negativni na *Salmonella spp.*, *L. monocytogenes*. Iako patogeni mikroorganizmi nisu pronađeni, moraju se uzeti u obzir preventivne mere i preduslovi u lancu proizvodnje jagoda kako bi se izbegle moguće bolesti koje se prenose hranom.

5. LITERATURA

- [1] Giampieri F., Tulipani S., Alvarez-Suarez J. M., Quiles J. L., Mezzetti B., Battino M., The Strawberry; Composition, Nutritional Quality, and Impact on Human Health. *Nutrition* Volume 28, Issue 1, Pages 9–19, 2012.
- [2] Alibabić V., Skender, A., Bajramović M., Šertović E., Bajrić E., Evaluation of morphological, chemical, and sensory characteristics of raspberry cultivars grown in Bosnia and Herzegovina. *Turk J Agric For*, 42: 67-74., 2018.
- [3] Dawn M. Knudsen, Sheryl A. Yamamoto, Linda J. Harris, Survival of *Salmonella spp. and Escherichia coli O157:H7* on Fresh and Frozen Strawberries, *Journal of Food Protection*, Vol. 64, No. 10, Pages 1483–1488, 2001.
- [4] Barth, M., Hankinson, T. R., Zhuang, H., Breidt, F., Microbial Spoilage of Fruits and Vegetables. *Food Microbiology and Food Safety*. Pages 135–183, 2010.
- [5] Ragaert, P., Verbeke, W., Devlieghere, F., Debever, J., Consumer perception and choice of minimally processed vegetables and packaged fruits. *Food Quality and Preference*. 15, Pg.259–270, 2004.
- [6] Interna dokumentacija Van Drunen Farms Europe a.d. Banatsko Karađorđevo, <https://vandrunen.rs/>
- [7] Pravilnik o opštim i posebnim uslovima higijene hrane i mikrobiološkim kriterijumima za hranu („Službeni glasnik RS”, 30/2024)

Adresa autora: Drašković Milana, Profesor strukovnih studija, Visoka tehnička škola strukovnih studija u Zrenjaninu, Zrenjanin, Đorđa Stratimirovića 23
e-mail: draskovic.milana@gmail.com

Rad primljen: mart 2026.

Rad prihvaćen: mart 2026.



ДОБРИВОЈЕ БОЖИЋ (1885 – 1967)

Машински инжењер.
Велики српски конструктор,
иноватор и проналазач.
Аутор чувене пнеуматске
кочнице која је примењена
у железницама широм света.

ДИТ

Друштво Истраживање Технологије

Научно-стручни часопис
Scientific-professional journal

Година XXXII, Број 45, март 2026. год.
Year XXXII, Issue 45, March 2026. year

МЕНАѢМЕНТ И ЕКОНОМИЈА

Одговорни уредник:

Проф. др Дејан Молнар
Економски факултет
Београд

Редакцијски одбор:

Проф. др Соња Јосиповић
Технолошко-металуршки факултет
Универзитет у Београду

Др Косовка Огњеновић,
научни сарадник
Институт економских наука,
Београд

Проф. др Мила Кавалић
Технички факултет “Михајло Пупин“
Зрењанин

Редакција:

Друштво инжењера Зрењанин
ул. Македонска 11,
23000 Зрењанин
E-mail: milorad.rancic@diz.org.rs
www.diz.org.rs

АДАПТАЦИЈА МАЛИХ И СРЕДЊИХ ПРЕДУЗЕЋА НА РЕГУЛАТОРНЕ ЗАХТЕВЕ ЕВРОПСКЕ УНИЈЕ: ОРГАНИЗАЦИОНИ И ИНФОРМАЦИОНИ АСПЕКТ

ADAPTATION OF SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES TO EU REGULATORY REQUIREMENTS: ORGANIZATIONAL AND INFORMATIONAL DIMENSIONS

IVANA DENČIĆ¹
SANJA STANISAVLJEVIĆ¹
MILA KAVALIĆ¹
DEJAN KOVAČEVIĆ¹

¹Универзитет у Новом Саду, Технички факултет „Михајло Пупин”, Зрењанин

РЕЗИМЕ

Преклапање регулаторних захтева Европске уније у домену одрживости, Директива о корпоративном извештавању о одрживости (CSRD), Дигитални пасош производа (DPP) и Директива о дужној пажњи (CSDDD) ставља мала и средња предузећа (МСП) пред комплексне изазове адаптације. Иако МСП често нису директно обухваћена овим регулативама, механизам преношења захтева дуж ланца снабдевања чини усаглашавање неопходним. Омнибус I пакет (децембар 2025) формално је смањио опсег CSRD и CSDDD, али суштински није променио притисак на МСП добављаче. Овај рад предлаже двостубни модел адаптације који интегрише организациони аспект (руковођење, управљање променама, расподела ресурса) и информациони аспект (архитектура података, инфраструктура информационог система (IS), дигитална зрелост), структуриран кроз три фазе зрелости и контекстуализован за Србију као земљу кандидата за ЕУ.

Кључне речи: МСП, регулаторна адаптација, CSRD, DPP, двостубни модел

ABSTRACT

The convergence of EU sustainability regulations, the Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD), the Digital Product Passport (DPP), and the Corporate Sustainability Due Diligence Directive (CSDDD) presents complex adaptation challenges for small and medium-sized enterprises (SMEs). Although SMEs are often not directly covered, the trickle-down mechanism through supply chains makes compliance essential. The Omnibus I package (December 2025) formally narrowed the scope of CSRD and CSDDD, but did not substantively reduce the pressure on SME suppliers. This paper proposes a dual-pillar adaptation model integrating the organisational dimension (leadership, change management, resource allocation) and the informational dimension (data architecture, IS infrastructure, digital maturity), structured through three maturity phases and contextualised for Serbia as an EU candidate country.

Keywords: SMEs, regulatory adaptation, CSRD, DPP, dual-pillar model

1. УВОД

Европска унија је у периоду 2022–2025. усвојила три међусобно испреплетена регулаторна оквира који заједно мењају основна правила игре за све учеснике у ланцима вредности: Директиву о корпоративном извештавању о одрживости (CSRD), Дигитални пасош производа (DPP) прописан регулативом о еколошком дизајну (ESPR) и Директиву о корпоративној дужној пажњи (CSDDD). Омнибус I пакет из децембра 2025. значајно је сузио формална примена CSRD и CSDDD, али кључни притисак на МСП остаје непромењен [1][2]. EFRAG је ESRS дизајнирао као централно чвориште за еколошке, социјалне и управљачке (ESG) податке, са високим степеном међусобне усклађености између захтева CSRD, Таксономије Европске уније (EY) и CSDDD [10], што значи да МСП која снабдевају велика предузећа на ЕУ тржишту морају истовремено одговорити на троструки регулаторни захтев, без обзира на формални праг примене.

Овај изазов посебно је изражен за српска МСП. Србија има статус кандидата за ЕУ од 2012. и доминантну трговинску зависност од ЕУ тржишта (~59% укупне трговине) [3]. Истовремено, дигитална зрелост српских МСП значајно заостаје, усвајање система планирања ресурса предузећа (ERP) код малих предузећа у ЕУ износи 37,9%, при чему земље Западног Балкана бележе значајно нижи ниво дигитализације пословања у поређењу са ЕУ просеком [4]. За текстилне и електронске МСП који извозом приступају ЕУ тржишту, DPP постаје фактичка баријера од 2027.

Преглед релевантне литературе открива троструки структурни недостатак: (1) не постоји интегрисани оквир који обједињује организационе и информационе аспекте регулаторне адаптације МСП; (2) перспектива земаља кандидата за ЕУ готово је потпуно одсутна; (3) кумулативно дејство DPP, CSRD и CSDDD као комбинованог

изазова није довољно обрађено [5][6]. Циљ рада је да предложи двостубни модел адаптације који интегрише оба аспекта прилагођавања, контекстуализован за српску привреду и инструменте подршке.

2. РЕГУЛАТОРНИ ОКВИР ЕУ И УТИЦАЈ НА МСП

2.1. CSRD И ПОЈЕДНОСТАВЉЕЊЕ ПУТЕМ ОМНИБУС I

CSRD је прошла кроз најзначајнију измену од усвајања. Омнибус I пакет из децембра 2025. смањило је прву примену са ~45.000 компанија за око 80%, на предузећа са истовремено више од 1.000 запослених и више од 450 милиона евра нето промета. Обавезни подаци смањени су за 61% са ~1.100 на ~430 тачака, тематска обелодањивања подлежна су процени материјалности, а секторски стандарди постали су добровољни [1][2]. Листирана МСП потпуно су изузета. EFRAG је у децембру 2024. усвојио стандард за добровољно извештавање МСП (VSME) са модулрном структуром: Основни модул (Basic Module, ~50 тачака података) и Проширени модул (Comprehensive Module, ~100 додатних тачака) [10].

Упркос формалном изузећу, ефекат преношења захтева дуж ланца снабдевања остаје централни механизам. Велике компаније у домену примене морају прикупљати податке о одрживости од добављача, преносећи захтеве усаглашавања даље у ланцу снабдевања. ЕУ је увела штит ланца вредности: предузећа са мање од 1.000 запослених не морају пружати информације изван оног што покрива добровољни VSME стандард.

2.2. DPP - ДИГИТАЛНИ ПАСОШ ПРОИЗВОДА

Дигитални пасош производа, прописан кроз ESPR регулативу (EY 2024/1781), захтева од произвођача креирање машинско-читљивих дигиталних записа о

материјалима, профилима одрживости, поправљивости и смерницама за крај животног циклуса производа [7]. Сваки производ добија јединствени идентификатор приступачен путем QR кода, NFC или RFID технологије, у JSON-LD формату усклађеном са GS1 Digital Link стандардом.

За разлику од CSRD, DPP не предвиђа опште изузеће по величини предузећа, што га чини најдиректније применљивим регулаторним захтевом за производна МСП [7]. Приоритетни сектори обухватају батерије (фебруар 2027), текстил и намештај (2027) и електронику (2028), са ширим обухватом преко 30 група производа до 2030. Истраживања показују да организациона и инфраструктурна спремност представља доминантну баријеру имплементације DPP, нарочито за предузећа без успостављене архитектуре дигиталних података [8].

2.3. CSDDD - КОРПОРАТИВНА ДУЖНА ПАЖЊА

CSDDD је ступила на снагу у јулу 2024, али је значајно сужена Омнибус I пакетом: праг је подигнут на више од 5.000 запослених и више од 1,5 милијарде евра промета, при чему је дужна пажња ограничена на сопствене операције, зависна друштва и директне пословне партнере. Државе чланице морају транспоновати директиву до јула 2027, са применом од јула 2029.

2.4. КУМУЛАТИВНИ РЕГУЛАТОРНИ ЗАХТЕВИ

Три регулативе стварају преклапајуће захтеве за подацима: подаци о угљеничном отиску потребни су за CSRD (Score 3 емисије), DPP (угљенични отисак производа) и CSDDD (еколошка дужна пажња). Анализе међусобне усклађености које спроводи EFRAG потврђују значајно преклапање захтева за подацима између ових регулатива [10], што значи да јединствена архитектура података може истовремено одговорити на све три обавезе, што представља значајну ефикасност за МСП са ограниченим ресурсима.

Табела 1. Преглед ЕУ регулатива и њихов утицај на МСП

Регулатива	Суштина	Утицај на МСП	Кључни подаци
CSRD (2022/2464/EU)	Извештавање о одрживости ~430 обавезних тачака (пост-Омнибус I) Двострука материјалност	Индиректно каскадни пренос кроз ланце снабдевања VSME штит ланца вредности	~10.000 компанија у домену примене VSME: ~50+100 т. података ~150.000 € трошак усаглашавања
DPP (ESPR 2024/1781)	Дигитални пасош производа Подаци о материјалима, одрживости, поправљивости	Директно нема изузећа по величини предузећа Услов приступа ЕУ тржишту	30+ група производа до 2030. Текстил/намештај: 2027.
CSDDD (2024/1760/EU)	Дужна пажња у одрживости Провера директних пословних партнера (пост-Омнибус)	Индиректно МСП као директни пословни партнери морају доказати усаглашеност	Праг: >5.000 зап. / >1,5 млрд Транспозиција: јул 2027. Примена: јул 2029.
Кумулативни ефекат	Значајно преклапање индикатора између све три регулативе	Јединствена архитектура података = ефикасност за МСП	Заједнички: угљенични отисак, састав материјала, подаци о добављачима

Извор: Аутори, на основу [1][2][7][8]

3. ОРГАНИЗАЦИОНИ АСПЕКТ АДАПТАЦИЈЕ

3.1. МОДЕЛ МЕЋУФУНКЦИОНАЛНЕ ИНТЕГРАЦИЈЕ

Док велика предузећа имају могућност да формирају наменске ESG тимове са позицијама попут директора одрживости, МСП морају применити суштински другачији приступ као што је модел међуфункционалне интеграције [9]. Овај модел подразумева расподелу одговорности за одрживост кроз постојеће улоге: власник-менаџер преузима стратешко усмеравање, финансијски сектор одговорност за извештавање, оперативни сектор за прикупљање података, а набавка за комуникацију са добављачима. EFRAG-ов VSME стандард специфично је дизајниран да минимизује потребу за организационим реструктурирањем, без формалног процеса процене двоструке материјалности [10].

Истраживања показују да се око 52% организација налази на нижим нивоима зрелости усаглашавања, а готово половина наводи недовољан број запослених као примарну баријеру [11]. Руковођење и партиципативно одлучивање идентификовани су као кључни покретачи, при чему одлучујући фактор није финансијски капацитет, већ воља и компетентност власника-менаџера да води промену [9]. У МСП, једна особа може покренути или блокирати цео процес адаптације.

3.2. РАСПОДЕЛА РЕСУРСА И УПРАВЉАЊЕ ПРОМЕНАМА

Финансијска ограничења и ниски нивои дигиталне зрелости директно одређују које регулаторне захтеве предузеће може да подржи [11]. Приступ који предлаже VSME Основни модул, заснован на мапирању података кроз постојеће финансијско-оперативне процесе без креирања посебних система, адекватан је за Фазу 1 двостубног модела. Прва фаза адаптације не захтева нова

улагања, већ реорганизацију постојећих ресурса.

Систематски преглед литературе идентификовао је да организациона култура и подршка врховног руководства имају већи предиктивни значај од расположивих финансија [12]. Управљање променама у МСП неформалније је и вођено убеђивањем власника, али МСП имају компензаторну предност: већу организациону флексибилност и краће комуникационе ланце који потенцијално омогућавају брзу адаптацију.

4. ИНФОРМАЦИОНИ АСПЕКТ АДАПТАЦИЈЕ

4.1. АРХИТЕКТУРА ИНФОРМАЦИОНИХ СИСТЕМА И ЗАХТЕВИ ЗА ПОДАЦИМА

Регулаторни захтеви постављају значајне техничке стандарде пред информационе системе предузећа. CSRD/ESRS обухвата до 430 обавезних тачака података (пост-Омнибус I), а DPP захтева машинско-читљиве записе на нивоу сваког производа [7]. Референтни модел архитектуре информационог система за ESG обухвата четири слоја: прикупљање из ERP-а и SCM-а; хармонизацију кроз централни ESG чвор; анализу за калкулације кључних показатеља учинка (KPI); и регулаторно извештавање. За МСП, решења типа софтвер као услуга (SaaS) представљају реалан пут: EFRAG развија бесплатан VSME дигитални шаблон и XBRL таксономију, а DPP платформе нуде решења од ~1 евра по пасошу [10].

4.2. ДИГИТАЛНА ЗРЕЛОСТ КАО ПРЕДУСЛОВ

Библиометријска анализа потврђује да организације са вишим нивоима дигиталне зрелости показују значајно веће капацитете за имплементацију иновативних стратегија у условима регулаторне неизвесности [6]. Предложени трофазни оквир, кроз развој дигиталних способности, стратешко

усклађивање и трансформацију засновану на подацима, директно кореспондира са фазама двостубног модела. Веза није једносмерна: инвестиција у регулаторну припрему директно увећава општу дигиталну зрелост организације.

У истраживању [13] идентификована су четири стадијума дигитализације ESG извештавања иницијација, развој, интеграција, оптимизација и показали да напредак кроз ове фазе директно унапређује тачност и стратешку вредност извештаја [13]. За српска МСП, где усвајање ERP система значајно заостаје за ЕУ просеком, а напредна дигитална решења остају изван домашаја већине предузећа, већина предузећа мора да почне од Фазе 1.

4.3. УПРАВЉАЊЕ ПОДАЦИМА- КРИТИЧНИ НЕДОСТАТАК

Управљање подацима представља доминантан изазов: подаци су типично расути по табелама и одвојеним системима без дефинисаних власника, са неконзистентним процесима контроле квалитета и неусклађеним форматима [14]. Применом DX-SAMM модела потврђено је да је зрелост у управљању подацима конзистентно најнижи оцењени аспект код МСП, уједно и аспект који највише предиктује капацитет за регулаторну усаглашеност [14].

Ово је тачка где се организациони и информациони стуб неизбежно укрштају: без јасних организационих одговорности за податке (ко је власник, ко валидира, ко решава конфликте), ниједан IS систем не може испоручити поуздано извештавање. Организациона и информациона димензија морају се развијати синхроно.

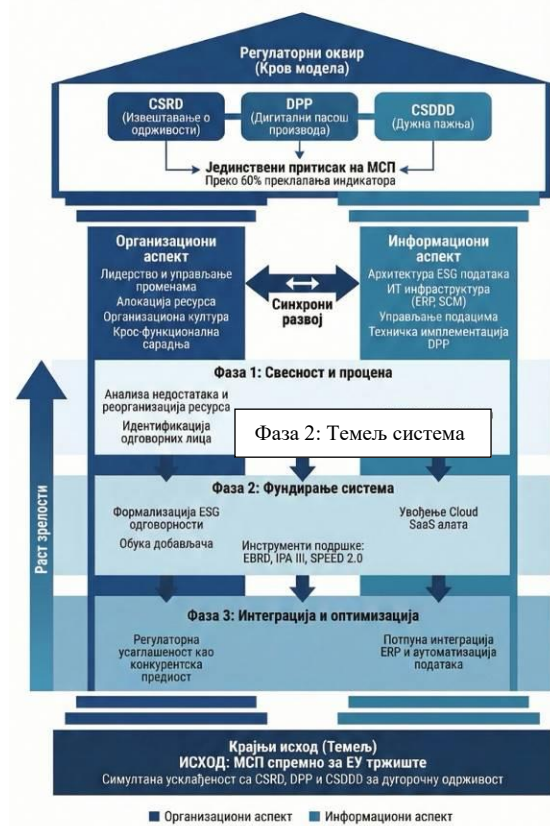
5. ДВОСТУБНИ МОДЕЛ АДАПТАЦИЈЕ - КОНЦЕПТУАЛНИ ОКВИР

На основу анализе регулаторног оквира, организационих изазова и информационих захтева, овај рад предлаже интегрисани концептуални оквир у облику двостубног модела

адаптације. Кључна иновација је у истовременом третирању оба аспекта, за разлику од приступа који их разматрају одвојено [5][6]. Модел није линеаран рецепт већ мапа зависности: информациона инфраструктура не може се градити без организационе основе, а организациона промена не може се одржати без одговарајуће IS подршке.

Редослед фаза није арбитран, свака фаза претпоставља капацитете изграђене у претходној. Без мапирања података и идентификације одговорних лица (Фаза 1), расподела буџета у Фази 2 нема основ за приоритизацију. Без основне информационе инфраструктуре из Фазе 2, ERP интеграција у Фази 3 нема структуриране податке које би интегрисала. Свака од три фазе покрива оба стуба и сва три регулаторна домена (CSRD, DPP, CSDDD) истовремено, омогућавајући МСП да не троши ресурсе на одвојене иницијативе за усклађивање.

Двостубни модел адаптације МСП на регулаторне захтеве ЕУ



Слика 1. Двостубни модел адаптације МСП на ЕУ регулаторне захтеве

Извор: Аутори

Табела 2. Двостубни модел и оквир дигиталне зрелости [6]

Фаза	Дигитална зрелост	Организациони стуб	Информациони стуб
Ф1: Свесност	Развој диг. способности	Анализа одступања Међуфункц. тимови Подршка руководства	IS аудит Мапирање података Управљање подацима
Ф2: Темељ	Стратешко усклађивање	Формализација одг. Управљање променама Ангажовање добав.	VSME Основни модул ERP интеграција DPP прототип
Ф3: Интеграција	Трансформација заснована на подацима	Уграђена култура Континуално учење Интерно знање	Аутоматизовано ESG извештавање DPP производња праћење кључних показатеља учинка

Извор: Аутори, на основу [6]

5.1. КОНТЕКСТУАЛИЗАЦИЈА ЗА СРБИЈУ

Српска МСП чине 99,7% свих пословних субјеката, запошљавају 66,1% радне снаге и генеришу 57,2% бруто додате вредности [3][15][16]. Иако МСП извозници представљају мали удео укупног сектора, регулаторни притисак из ланца вредности погодиће најпре и најјаче управо тај економски критичан сегмент.

Програми подршке постоје (SPEED 2.0 за дигиталну стратегију, IPA III финансирање, EBRD-ов Go Digital on the Western Balkans програм са ~350 милиона евра [15]), али су фрагментисани и несистемски, нарочито у домену зелене економије. Предложени модел може служити као структурни оквир за програмско планирање: Фаза 1 мора бити достижна без спољних финансијских ињекција, а Фазе 2 и 3 директно одговарају расположивим инструментима подршке.

5.2. ИЛУСТРАТИВНИ ПРИМЕР: СРПСКИ МСП ТЕКСТИЛНИ ИЗВОЗНИК

Ради операционализације предложеног оквира, у наставку је приказан хипотетични илустративни случај конструисан на основу типичних карактеристика српских МСП извозника у текстилном сектору.

Предузеће „Балкан Текстил д.о.о.“ (назив фиктиван) је произвођач конфекције са 85 запослених, годишњим прометом од ~3,2 милиона евра и директним извозом у три ЕУ земље. Кооперант је два средња ЕУ брэнда у обавези CSRD извештавања. Предузеће користи основни рачуноводствени софтвер, нема ERP систем и води евиденцију о материјалима у Ексел табелама.

Фаза 1 - Свесност (1–3 месеца): Окидач промене долази споља: немачки клијент шаље упит о „одрживосним подацима добављача“. Власник-менаџер иницира интерну процену: ко поседује које податке, који ЕУ захтеви се односе на текстил, када ступају на снагу DPP обавезе (2027). Именован координатор (менаџер производње, са допунским задатком). Направљена мапа свих извора података.

Фаза 2 - Темељ система (3–6 месеци): Предузеће попуњава VSME Основни модул уз помоћ ЕФРАГ-овог бесплатно дигиталног шаблона. Паралелно, набавља DPP платформу засновану на моделу софтвера као услуге (~12.000 € годишње + 3.000 € подешавање). За финансирање користи EBRD Go Digital програм. Пробна примена DPP-а за 200 артикала (SKU) и VSME Module достављени клијенту.

Фаза 3 - Интеграција (6–18 месеци): Увођење ERP система у облаку (cloud) са SPEED 2.0 суфинансирањем и интеграцијом путем програмског интерфејса (API) са DPP платформом. Аутоматизовани токови података осигуравају да сваки нови материјал аутоматски генерише предпопуњену DPP структуру, обавезе у области одрживости уграђене у опис посла три постојеће позиције. Резултат: статус пожељног добављача код оба ЕУ клијента.

Напомена: Приказани случај је илустративан и конструисан за потребе операционализације модела. Финансијски подаци и временски оквири су оквирне процене засноване на расположивој индустријској литератури [8][10][15].

6. ЗАКЉУЧАК

Полазна тачка овог рада је практична: српска МСП немају на располагању алат који им показује шта CSRD, DPP и CSDDD конкретно значе за њихово пословање и одакле да крену. Двостубни модел адаптације развијен је са тим циљем, интегришући организациони и информациони аспект прилагођавања кроз три фазе зрелости, контекстуализован за специфичне баријере и инструменте подршке расположиве у Србији.

У постојећој литератури недостаје оквир који истовремено третира организациону и информациону димензију адаптације, из угла земаља које тек улазе у ЕУ регулаторни простор. Модел је конципиран тако да МСП може да уђе у процес адаптације без нових улагања у првој фази, а да касније искористи постојеће програме подршке структурирано уместо несистемски. За креаторе политика, он може послужити као основа за систематично планирање уместо фрагментираних иницијатива. Следећи корак је теренска валидација кроз студије случаја са МСП извозницима који већ осећају притисак из ланца вредности, као и компаративна анализа са осталим земљама кандидатима (Црна Гора, Албанија и Северна Македонија).

Рад је концепцијске природе, заснован на секундарним подацима без емпиријске валидације. Посебно вредан правац истраживања била би анализа ефикасности постојећих програма подршке у светлу предложеног модела.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] European Parliament & Council (2025). Directive (EU) 2025/794 amending application dates for CSRD and CSDDD. Official Journal of the European Union, OJ L 2025/794, 16.4.2025.
- [2] European Parliament (2025). Directive amending CSRD and CSDDD — Omnibus I package (COM/2025/811). Усвојено 16. децембра 2025. Објава у Службеном листу Европске уније у припреми.
- [3] European Commission (2025). *Serbia 2025 Progress Report*. Directorate-General for Neighbourhood and Enlargement Negotiations, Brussels, 4 November 2025. Available at: https://enlargement.ec.europa.eu/document/download/6e68ce26-b95b-48e1-921a-c60c12da8f00_en; *The EU and Serbia Factsheet*. European Commission, 16 October 2025. Available at: https://enlargement.ec.europa.eu/eu-and-serbia-factsheet_en
- [4] Eurostat (2024). E-business integration statistics, 2023. European Commission, Brussels. Available at: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=E-business_integration; RCC (2025). *Western Balkans Digital Economy and Society Index 2024 Report*. Regional Cooperation Council, Sarajevo. Available at: <https://www.rcc.int/pubs/211/western-balkans-digital-economy-and-society-index-2024-report>
- [5] Kitching, J., Hart, M. & Wilson, N. (2015). Burden or benefit? Regulation as a dynamic influence on small business.

- International Small Business Journal, 33(2), 130–147.
- [6] Wahdaniyah, N., Nurmandi, A. & Younus, M. (2025). A Meta-Analysis of the Relationship Between Digital Maturity and Digital Transformation. *Society*, 13(2), 601–617. <https://doi.org/10.33019/society.v13i2.814>
- [7] European Parliament & Council (2024). Regulation (EU) 2024/1781 — Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR). Official Journal of the EU.
- [8] Langley, D.J., Rosca, E., Angelopoulos, M., Kamminga, O. & Hooijer, C. (2023). Orchestrating a smart circular economy: Guiding principles for digital product passports. *Journal of Business Research*, 169, 114259. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.114259>
- [9] Martinez-Pelaez, R. et al. (2024). Sustainable Digital Transformation for SMEs: A Comprehensive Framework for Informed Decision-Making. *Sustainability*, 16(11), 4447.
- [10] **EFRAG (2024)**. Voluntary Sustainability Reporting Standard for non-listed SMEs (VSME). Brussels: EFRAG, 17 December 2024. Available at: <https://www.efrag.org/en/projects/voluntary-reporting-standard-for-smes-vsme/concluded>
- [11] Escoc Barragan, K., Hassan, S.S., Meisner, K. & Bzhalava, L. (2024). Dynamics of digital change — measuring digital transformation and its impacts on SME innovation. *European Journal of Innovation Management*, 28(4), 1625–1648.
- [12] Mick, J. et al. (2024). Systematic literature review of digital and green transformation of manufacturing SMEs in Europe. *Production Planning & Control*. doi:10.1080/21693277.2024.2443166.
- [13] Saavedra-Rubio, K. et al. (2025). Digitalization in stages: advancing sustainability reporting in SMEs through a maturity-based adoption model. *Journal of Global Responsibility*. <https://doi.org/10.1108/JGR-04-2025-0124>
- [14] Haryanti, T., Rakhmawati, N.A. & Subriadi, A.P. (2024). Assessing Digital Transformation Landscapes: The DX-SAMM Model. *Procedia Computer Science*, 234, 1561–1569.
- [15] EBRD (2023). Serbia Private Sector Diagnostic: Unlocking Sustainable Growth. London: EBRD. https://www.ebrd.com/content/dam/ebrd_dxp/assets/pdfs/country-strategies/serbia/Serbia-Private-Sector-Diagnostic.pdf
- [16] Delova-Jolevska, E., Ilievski, A., Jolevski, L., Csiszárík-Kocsir, Á. & Varga, J. (2024). The impact of ESG risks on the economic growth in the Western Balkan countries. *Sustainability*, 16(19), 8487. <https://doi.org/10.3390/su16198487>
DOI:

Адреса аутора: Мсц Ивана Денчић, Технички факултет „Михајло Пупин”, Зрењанин, Универзитет у Новом Саду, Буре Ђаковића бб, Зрењанин
е-маил: ivana.savic@tfzr.rs
Рад примљен: Фебруар 2026.
Рад прихваћен: Фебруар 2026.

КОНЦЕПТУАЛНИ МОДЕЛ ИНТЕГРАЦИЈЕ LEAN КОНЦЕПТА И ИНДУСТРИЈЕ 4.0 У ПРЕХРАМБЕНОЈ ИНДУСТРИЈИ СРБИЈЕ – ИЗАЗОВИ И ПРЕДУСЛОВИ

A CONCEPTUAL MODEL FOR THE INTEGRATION OF LEAN AND INDUSTRY 4.0 IN THE SERBIAN FOOD INDUSTRY – CHALLENGES AND PREREQUISITES

ДЕЈАН КОВАЧЕВИЋ¹
САЊА СТАНИСАВЉЕВ¹
МИЛАН НИКОЛИЋ¹
ИВАНА ДЕНЧИЋ¹

Универзитет у Новом Саду, Технички факултет „Михајло Пупин”, Зрењанин

РЕЗИМЕ

Рад предлаже хијерархијски концептуални модел интеграције Lean концепта и Индустије 4.0 у прехранбеној индустрији Србије, заснован на анализи литературе и специфичностима домаћег окружења. Модел полази од процесне стабилизације као основе дигиталне трансформације, обухвата дигиталну подршку и интеграцију података ради доношења одлука заснованих на чињеницама, са циљем постизања одрживих перформанси и конкурентности. Рад идентификује кључне изазове и наглашава значај фазне и стратешки вођене имплементације.

Кључне речи: Lean 4.0, Индустија 4.0, прехранбена индустрија, дигитална трансформација, одрживе перформансе, конкурентност.

ABSTRACT

This paper proposes a hierarchical conceptual model for the integration of Lean principles and Industry 4.0 in the Serbian food industry, developed based on a review of relevant literature and the specific characteristics of the domestic environment. The model is grounded in process stabilization as the foundation of digital transformation, incorporates digital process support and data integration for evidence-based decision-making, and aims to achieve sustainable performance and enhanced competitiveness. The paper identifies key implementation challenges and emphasizes the importance of a phased and strategically guided transformation.

Keywords: Lean 4.0, Industry 4.0, food industry, digital transformation, sustainable performance, competitiveness.

1. УВОД

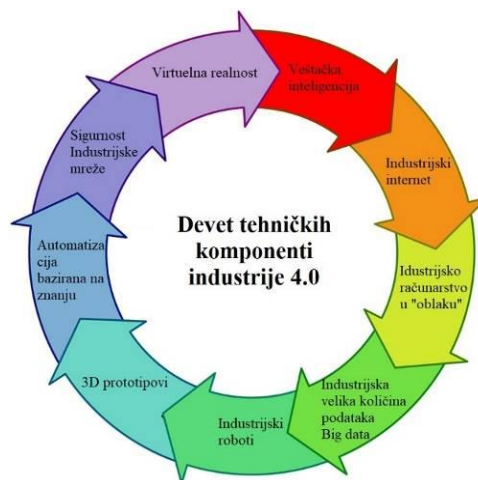
Технолошке промене које се повезују са концептом Индустрије 4.0 представљају значајну трансформацију савремених производних система. У основи овог приступа налази се интеграција дигиталних технологија, информационих система и физичких производних процеса у циљу повећања флексибилности, продуктивности и транспарентности ланца вредности. Примена сензора, аутоматизације, анализе великих података и међусобно повезаних система омогућава доношење одлука заснованих на подацима и оптимизацију процеса у реалном времену.

Паралелно са развојем дигиталних технологија, Lean концепт се позиционирао као један од најутицајнијих приступа управљању производњом. Његова суштина огледа се у систематском елиминисању губитака, стандардизацији процеса и континуираном унапређењу. Док Lean наглашава организационе и процесне аспекте ефикасности, Индустрија 4.0 пружа технолошке алате који могу додатно оснажити такве напоре. Управо у томе лежи потенцијал њихове интеграције.

У прехранбеној индустрији, која је од посебног значаја за привреду Србије, услови производње карактеришу се високим захтевима у погледу безбедности хране, следљивости, контроле квалитета и поузданости испоруке. Истовремено, сектор доминантно чине мала и средња предузећа која се често суочавају са ограничењима у погледу инвестиционих капацитета и технолошке спремности. У таквом окружењу, поставља се питање на који начин се може остварити синергија Lean алата и дигиталних решења Индустрије 4.0 без нарушавања економске одрживости.

Представљене компоненте (сл. 1) обухватају кључне технолошке стубове Индустрије 4.0 који омогућавају

дигиталну повезаност, аутоматизацију и интелигентно управљање производним системима, чинећи основу за даљу интеграцију са Lean принципима.



Слика 1. Кључне техничке компоненте Индустрије 4.0 (концептуални приказ аутора на основу релевантне литературе)

Иако су Lean концепт и Индустрија 4.0 појединачно широко анализирани у међународној литератури, њихова интеграција у контексту српске прехранбене индустрије није довољно систематизована. Међутим, у постојећој литератури недостаје јасно структурисан модел који би интеграцију ових концепата прилагодио специфичностима малих и средњих предузећа у прехранбеној индустрији транзиционих економија. Циљ овог рада је да, на основу анализе релевантних извора и специфичности домаћег производног окружења, предложи концептуални оквир примене Lean 4.0 приступа и идентификује кључне изазове имплементације.

Главни допринос рада огледа се у развоју хијерархијски структурираног концептуалног модела Lean 4.0 интеграције прилагођеног специфичностима малих и средњих предузећа прехранбене индустрије Србије, као и у идентификацији кључних изазова и предуслова успешне имплементације у условима транзиционе економије.

2. LEAN KONCEPT

Lean концепт представља систем управљања производњом чији је основни циљ елиминисање губитака, стабилизација процеса и стварање вредности из перспективе купца. Иако је настао у оквиру јапанске аутомобилске индустрије, његови принципи су временом адаптирани и примењени у различитим индустријским секторима, укључујући и прехранбену индустрију, где су конзистентност квалитета, сигурност производа и поузданост испоруке од суштинског значаја.

Савремена истраживања указују да Lean више не треба посматрати искључиво као скуп оперативних техника, већ као интегрисани систем управљања који обухвата организациону културу, лидерство, укљученост запослених и структурисано доношење одлука [11,2]. У том смислу, акценат се помера са примене појединачних алата ка изградњи одрживог система континуираног унапређења, способног да генерише дугорочне резултате.

У производним предузећима, доследна примена Lean принципа доводи до смањења варијација, унапређења протока материјала и информација, као и повећања транспарентности процеса. Истраживања спроведена у малим и средњим предузећима показују позитивну корелацију између степена имплементације Lean пракси и побољшања оперативних перформанси, нарочито у домену продуктивности, квалитета и контроле трошкова [6, 4].

Међутим, растућа сложеност производних система и динамичност тржишних захтева намећу потребу за интеграцијом дигиталних технологија у традиционалне Lean структуре. Управо у том правцу развија се концепт Lean 4.0, који комбинује принципе Lean производње са технологијама Индустрије 4.0, омогућавајући напредну аналитику података, аутоматизовано праћење перформанси и бржу

идентификацију одступања у реалном времену.

2.1. LEAN 4.0 – ИНТЕГРАЦИЈА LEAN КОНЦЕПТА И ИНДУСТРИЈЕ 4.0

Интеграција Lean принципа и технологија Индустрије 4.0 представља један од доминантних истраживачких праваца у области савремене производње. Док Lean приступ наглашава елиминисање губитака, стабилизацију процеса и континуирано унапређење, Индустрија 4.0 обезбеђује технолошку инфраструктуру за прикупљање, анализу и размену података у реалном времену. Њихово повезивање доводи до развоја концепта Lean 4.0, који комбинује организациону дисциплину витке производње са дигиталним алатима заснованим на подацима.

Савремена истраживања указују да технологије као што су интернет ствари (IoT), сајбер-физички системи (CPS), аналитика великих података и дигитални близанци могу значајно унапредити примену Lean алата, нарочито у домену визуелног менаџмента, праћења перформанси и брзе идентификације одступања [4,11]. Дигитална подршка омогућава прецизније мерење губитака, аутоматизовано прикупљање оперативних података и смањење варијација у процесима.

С друге стране, више аутора наглашава да сама примена технологије није довољна за постизање побољшања перформанси. Без постојања стабилних Lean процеса, дигитализација може довести до повећања комплексности и такозваног „дигиталног отпада“ [3,9]. Стога се Lean 4.0 не може посматрати као технолошка надоградња, већ као синергијски модел у коме организациона зрелост представља предуслов за ефикасну дигиталну трансформацију.

Циљ интеграције Lean и Индустрије 4.0 није само повећање нивоа аутоматизације, већ стварање

интелигентних, транспарентних и флексибилних производних система који омогућавају брзо прилагођавање тржишним захтевима. У том контексту, Lean 4.0 се може дефинисати као систем управљања који користи дигиталне технологије ради унапређења витких процеса, уз очување основних принципа вредности, протока и континуираног унапређења.

2.2 КОНЦЕПТУАЛНИ ОКВИР ИНТЕГРАЦИЈЕ LEAN И ИНДУСТРИЈЕ 4.0 У ПРЕХРАМБЕНОЈ ИНДУСТРИЈИ СРБИЈЕ

Прехрамбену индустрију Србије карактеришу доминација малих и средњих предузећа, ограничени инвестициони капацитети, релативно низак ниво дигитализације и изражени захтеви у погледу безбедности и следљивости производа. У таквом окружењу, имплементација Индустрије 4.0 не може бити заснована искључиво на технолошком улагању, већ мора бити структурирана у складу са зрелошћу организационих процеса.

Полазећи од анализе литературе и специфичности домаћег производног окружења, предложен је концептуални оквир Lean 4.0 интеграције који обухвата четири међусобно повезане димензије:

- **Процесна стабилизација (Lean основа)**

Стандардизација процеса, елиминација губитака и примена алата као што су 5S, Kaizen и визуелни менаџмент представљају предуслов за дигитализацију. Без стабилних процеса, увођење дигиталних система може повећати комплексност без стварања вредности.

- **Дигитална подршка процесима (прикупљање података)**

Имплементација IoT решења, система за прикупљање података у реалном времену и аналитике перформанси омогућава прецизније праћење

варијација, ефикасније одржавање и бољу контролу квалитета.

- **Интеграција података и одлучивање**

Повезивање производних, логистичких и квалитативних података омогућава доношење одлука заснованих на чињеницама. Ово је посебно значајно у прехранбеној индустрији где је следљивост и безбедност производа кључна.

- **Одрживе перформансе и конкурентност**

Одрживе перформансе и конкурентност представљају крајњи исход интеграције Lean и Индустрије 4.0 принципа. У контексту прехранбене индустрије Србије, оне подразумевају дугорочно повећање продуктивности, смањење оперативних трошкова, унапређење квалитета и безбедности производа, као и способност брзог прилагођавања тржишним и регулаторним захтевима.

Поред хијерархијских нивоа, модел обухвата и организациону и људску димензију као вертикални интегративни фактор. Развој компетенција, дигитална писменост и укљученост запослених представљају критични предуслов за успешно повезивање Lean и Индустрије 4.0 принципа. Ова димензија обезбеђује континуитет трансформације, смањује отпор променама и омогућава дугорочну одрживост система. Предложени модел има карактер нормативног концептуалног оквира, представља основу за будућа емпиријска истраживања и практичну валидацију у условима домаће прехранбене индустрије и подразумева постепено, фазну имплементацију, при чему Lean зрелост представља основу, а дигиталне технологије делују као акцелератор перформанси. Такав приступ омогућава смањење инвестиционог ризика и прилагођавање специфичностима малих и средњих предузећа у Србији.



Слика 2. Концептуални модел Lean 4.0 интеграције у прехранбеној индустрији Србије

Предложени модел је хијерархијски структурисан и заснован на логици фазне имплементације. Процесна стабилност представља основу система, јер без стандардизованих и контролисаних процеса дигитализација може довести до повећања комплексности уместо унапређења перформанси. Дигитална подршка процесима омогућава поуздано прикупљање и анализу података у реалном времену, док интеграција података обезбеђује основу за системско и правовремено одлучивање. Организацијска и људска димензија делује као интегративни фактор који омогућава дугорочну одрживост и стратешко усклађивање Lean и Индустрије 4.0 принципа.

2.3. ИЗАЗОВИ ИМПЛЕМЕНТАЦИЈЕ LEAN 4.0 У ПРЕХРАМБЕНОЈ ИНДУСТРИЈИ СРБИЈЕ

Изазови идентификовани у међународној литератури додатно су анализирани у односу на специфичности домаћег прехранбеног сектора и структуру малих и средњих предузећа у Србији.

Имплементација интегрисаног приступа Lean 4.0 у прехранбеној индустрији Србије суочава се са низом структурних, технолошких и организационих изазова који значајно утичу на динамику дигиталне

трансформације. За разлику од високо аутоматизованих производних система у развијеним економијама, домаћи прехранбени сектор карактеришу мала и средња предузећа са ограниченим инвестиционим капацитетима, фрагментираном инфраструктуром и неравномерним нивоом дигиталне зрелости.

Један од кључних изазова односи се на недовољну интеграцију информационих система и производне опреме. Иако савремене технологије попут ИоТ решења, система за праћење перформанси у реалном времену и напредне аналитике омогућавају транспарентност процеса, њихова примена у домаћем контексту често остаје парцијална и неповезана [5,8]. Без претходно стабилованих и стандардизованих процеса, дигитализација може довести до повећања оперативне комплексности уместо до побољшања перформанси.

Други значајан изазов представља организациона и људска димензија трансформације. Lean 4.0 захтева промену начина размишљања – од традиционалног оперативног управљања ка култури заснованој на подацима и континуираном унапређењу подржаном дигиталним алатима. Међутим, истраживања указују да су компетенције запослених, нарочито у сегменту дигиталне писмености и аналитичких вештина, често недовољно развијене у малим и средњим предузећима [10,12]. Недостатак систематских програма обуке додатно успорава процес трансформације.

Финансијска ограничења представљају посебан фактор ризика. Увођење напредних технологија захтева иницијална улагања у опрему, софтвер и обуку кадра, док поврат инвестиције није увек краткорочан. У условима тржишне неизвесности и високих захтева у погледу безбедности хране, менаџмент предузећа често показује опрез према дигиталним инвестицијама

које немају директан и брз ефекат на оперативне трошкове [4,3].

Специфичност прехранбене индустрије додатно компликује процес интеграције Lean и Индустрије 4.0. Строги регулаторни захтеви, обавезна следљивост производа и контрола квалитета намећу потребу за поузданим и валидираним системима. У том контексту, дигитална решења морају бити усклађена са стандардима безбедности хране, што подразумева додатне техничке и организационе прилагодбе.

Коначно, изазов представља и непостојање јасно дефинисаног модела фазне имплементације прилагођеног МСП сектору. Док су у литератури доступни бројни примери имплементације Lean 4.0 у великим индустријским системима, мањи број студија се бави прилагођеним приступима за мала и средња предузећа у транзиционим економијама [7].

Управо због тога је неопходно развијати контекстуализоване моделе који узимају у обзир специфичности домаће индустријске структуре.

Узимајући у обзир наведене изазове, јасно је да успешна имплементација Lean 4.0 у прехранбеној индустрији Србије захтева постепен, системски и стратешки приступ који повезује технолошку модернизацију са организационом зрелошћу и развојем људских ресурса.

2.4. ПРЕДУСЛОВИ УСПЕШНЕ ИМПЛЕМЕНТАЦИЈЕ LEAN 4.0 У ПРЕХРАМБЕНОЈ ИНДУСТРИЈИ СРБИЈЕ

Успешна имплементација Lean 4.0 концепта у прехранбеној индустрији Србије не зависи искључиво од технолошке модернизације, већ од постојања системских предуслова који омогућавају синергијско деловање организационих, технолошких и људских фактора. На основу анализе савремених истраживања и

специфичности домаће индустријске структуре, могу се идентификовати следећи кључни предуслови:

• Организациона зрелост и стабилност процеса

Пре увођења напредних дигиталних технологија, неопходно је постојање стандардизованих и стабилних процеса. Lean алати попут стандардног рада, 5С, визуелног менаџмента и систематског решавања проблема представљају основу за дигиталну надоградњу. Истраживања указују да дигитализација у нестабилном систему може довести до амплификације постојећих неефикасности уместо њиховог уклањања [5,10].

У контексту прехранбене индустрије Србије, где доминирају мала и средња предузећа, процесна дисциплина представља кључни предуслов за успешну дигиталну трансформацију.

• Дигитална инфраструктура и технолошка компатибилност

Lean 4.0 захтева постојање адекватне дигиталне инфраструктуре – сензорских система, ИоТ решења, ЕРП/МЕС система и платформи за аналитику података. Међутим, сама набавка технологије није довољна. Потребна је интероперабилност система и њихова интеграција у постојеће токове вредности.

Савремена литература наглашава да је интеграција података кроз сајбер-физичке системе (ЦПС) кључна за остваривање транспарентности и доношење одлука у реалном времену [6,12].

У прехранбеној индустрији, додатни захтев представља усклађеност са стандардима безбедности хране и следљивости, што дигиталним системима даје стратешки значај.

• Компетенције запослених и развој дигиталних вештина

Један од пресудних фактора успеха јесте развој компетенција запослених.

Lean 4.0 не подразумева замену радне снаге, већ трансформацију улоге запослених ка аналитичком и проблемски оријентисаном раду.

Студије указују да дигитална писменост, способност интерпретације података и разумевање интегрисаних система представљају нове кључне вештине у савременој производњи [7,9].

У Србији је потребно систематско улагање у обуке, сарадњу са високошколским институцијама и развој интерних програма континуираног учења.

- **Финансијска одрживост и стратешка визија**

Имплементација Lean 4.0 захтева иницијална улагања у технологију, софтвер, едукацију и реорганизацију процеса. Одлуке о инвестирању морају бити засноване на дугорочној стратегији и јасно дефинисаним показатељима перформанси (КПИ).

Предузећа која приступају дигиталној трансформацији без стратешког планирања често се суочавају са фрагментисаном имплементацијом и ограниченим ефектима [1].

За прехранбену индустрију Србије, фазна имплементација и пилот-пројекти могу представљати оптималан модел смањења инвестиционог ризика.

- **Институционална и регулаторна подршка**

С обзиром на значај прехранбене индустрије за националну економију и безбедност хране, успешна имплементација Lean 4.0 захтева и институционалну подршку кроз подстицајне програме, пореске олакшице и развој националних стратегија дигиталне трансформације.

Улога државе огледа се и у хармонизацији регулативе са ЕУ стандардима, што додатно подстиче технолошку модернизацију и конкурентност.

- **Закључна разматрања поглавља 2.4**

Lean 4.0 у прехранбеној индустрији Србије може бити успешно имплементиран само уколико се обезбеди симултано испуњење организационих, технолошких, кадровских и стратешких предуслова. Изостанак било ког од наведених фактора може значајно ограничити потенцијал интеграције и дугорочне перформансе система.

3. ДИСКУСИЈА И ИМПЛИКАЦИЈЕ ЗА ПРЕХРАМБЕНУ ИНДУСТРИЈУ СРБИЈЕ

Предложени концептуални модел интеграције Lean принципа и технологија Индустрије 4.0 указује да успешна дигитална трансформација прехранбене индустрије Србије захтева постепен и системски приступ. За разлику од великих индустријских система у развијеним економијама, домаћа прехранбена предузећа суочавају се са ограниченим ресурсима, хетерогеним нивоом технолошке опремљености и различитим степеном организационе зрелости. У том контексту, директна примена комплексних дигиталних решења без претходне стабилизације процеса може довести до повећања оперативне сложености уместо очекиваног побољшања перформанси.

Дискусија резултата сугерише да Lean треба посматрати као темељну организациону платформу на којој се гради дигитална трансформација. Стабилни и стандардизовани процеси омогућавају поуздано прикупљање података, док дигиталне технологије додатно унапређују транспарентност и брзину одлучивања. Оваква хијерархијска логика модела потврђује налазе савремених истраживања која наглашавају комплементарност, а не супституцију Lean и Индустрије 4.0 приступа.

За прехранбену индустрију Србије посебно је значајна импликација везана

за следљивост и контролу квалитета. Интеграција ИоТ решења, система за праћење серија производа и аналитике у реалном времену може значајно унапредити управљање ризицима и усклађеност са регулаторним захтевима. Међутим, без адекватне обуке запослених и јасне стратегије дигитализације, технолошка улагања могу остати недовољно искоришћена.

Импликације за мала и средња предузећа указују на потребу фазне имплементације Lean 4.0 модела. Уместо симултаног увођења више напредних технологија, препоручује се приступ заснован на пилот-пројектима, постепеном ширењу дигиталне инфраструктуре и континуираном развоју компетенција. Такав приступ смањује инвестициони ризик и омогућава прилагођавање специфичностима организације.

Са теоријског аспекта, рад доприноси постојећој литератури кроз контекстуализацију Lean 4.0 модела у оквиру прехрамбене индустрије транзиционе економије. Већина постојећих студија фокусирана је на развијене индустријске системе, док је примена у сектору са ограниченим ресурсима и специфичним регулаторним захтевима мање заступљена. Тиме се отвара простор за даља емпиријска истраживања која би валидирала предложени концептуални оквир кроз студије случаја или квантитативне анализе перформанси.

4. ЗАКЉУЧАК

Савремени производни системи суочавају се са истовременим притисцима повећања ефикасности, флексибилности и усклађености са регулаторним захтевима, што посебно долази до изражаја у прехрамбеној индустрији. У том контексту, интеграција Lean принципа и технологија Индустрије 4.0 представља логичан правац развоја, али захтева пажљиво структуриран приступ

прилагођен специфичностима индустријског окружења.

Рад је предложио концептуални модел Lean 4.0 интеграције прилагођен прехрамбеној индустрији Србије, заснован на хијерархијској логици у којој процесна стабилност представља основу дигиталне трансформације. Модел наглашава значај организационе зрелости, технолошке инфраструктуре, развоја компетенција и стратешког планирања као кључних предуслова за успешну имплементацију. Модел обухвата дигиталну подршку процесима, интеграцију података ради доношења одлука заснованих на чињеницама, као и постизање одрживих перформанси и конкурентности као крајњег исхода интеграције.

Идентификовани изазови указују да директна и неселективна примена напредних дигиталних технологија може довести до повећања сложености система уколико није подржана Lean дисциплином и јасном стратегијом. Посебно у сектору малих и средњих предузећа, фазна имплементација и пилот-пројекти представљају рационалан приступ смањењу инвестиционог ризика и повећању вероватноће дугорочног успеха.

Теоријски допринос рада огледа се у контекстуализацији Lean 4.0 модела за прехрамбену индустрију транзиционе економије, чиме се попуњава празнина у постојећој литератури која је доминантно усмерена ка великим индустријским системима развијених земаља. Практични допринос односи се на идентификацију конкретних димензија и предуслова који могу служити као смернице менаџменту предузећа у планирању дигиталне трансформације.

Ограничење рада произлази из његовог концептуалног карактера и ослањања на секундарне изворе података. Будућа истраживања требало би да обухвате емпиријску валидацију предложеног модела кроз студије случаја или квантитативне анализе

перформанси предузећа која су започela интеграцију Lean и Индустрије 4.0 принципа.

Интеграција Lean и Индустрије 4.0 не представља само технолошку модернизацију, већ трансформацију организационог система ка већој транспарентности, агилности и одрживости. У том смислу, Lean 4.0 може представљати стратешки правац развоја прехранбене индустрије Србије ка дугорочно одрживим перформансама и јачању конкурентске позиције на домаћем и међународном тржишту..

5. ПРАВЦИ ДАЉИХ ИСТРАЖИВАЊА

Иако је у раду представљен концептуални оквир интеграције Lean принципа и технологија Индустрије 4.0 у прехранбеној индустрији Србије, неопходно је спровести додатна емпиријска истраживања ради његове валидације и прилагођавања специфичностима домаћег сектора.

Први правац будућих истраживања односи се на спровођење студија случаја у малим и средњим предузећима прехранбене индустрије, са циљем испитивања стварних ефеката фазне имплементације Lean 4.0 модела на оперативне и финансијске перформансе. Посебно је значајно анализирати утицај дигиталних алата на стабилност процеса, смањење отпада и флексибилност производње.

Други правац подразумева квантитативна истраживања која би испитивала повезаност нивоа дигиталне зрелости и Lean зрелости организације са индикаторима конкурентности, као што су продуктивност, време испоруке, квалитет производа и трошкова ефикасност.

Трећи правац односи се на развој методологија за процену спремности предузећа за Lean 4.0 трансформацију, укључујући моделе за процену организационе културе, дигиталних

компетенција запослених и технолошке инфраструктуре.

Посебно значајна област будућих истраживања јесте анализа дугорочног утицаја Lean 4.0 приступа на одрживост пословања, укључујући енергетску ефикасност, управљање ресурсима и интеграцију принципа циркуларне економије.

На крају, препоручује се развој локално прилагођених смерница и модела имплементације, узимајући у обзир регулаторни оквир, тржишне специфичности и структуру домаће прехранбене индустрије.

6. ЛИТЕРАТУРА

7.

- [1] Bag, S., Pretorius, J. H. C., Gupta, S., Dwivedi, Y. K., Role of institutional pressures and resources in the adoption of big data analytics powered artificial intelligence, sustainable manufacturing practices and circular economy capabilities, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 163, Elsevier, Amsterdam, 2021.
- [2] Florescu, A., Barabas, S., Development trends of production systems through the integration of lean management and Industry 4.0, *Applied Sciences*, Vol. 12(10), MDPI, Basel, 2022. <https://doi.org/10.3390/app12104885>
- [3] Buer, S.-V., Strandhagen, J. O., Chan, F. T. S., The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: Mapping current research and establishing a research agenda, *International Journal of Production Research*, Vol. 56(8), Taylor & Francis, London, 2018. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1442945>
- [4] Ciano, M. P., Dallasega, P., Orzes, G., Rossi, T., One-to-one relationships between Industry 4.0 technologies and lean production techniques: A multiple case study, *International Journal of*

- Production Research, Vol. 59(5), Taylor & Francis, London, 2021.
- [5] Frank, A. G., Dalenogare, L. S., Ayala, N. F., Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies, *International Journal of Production Economics*, Vol. 210, Elsevier, Amsterdam, 2019.
- [6] Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Gawankar, S. A., Achieving sustainable performance in a data-driven agriculture supply chain: A review for research and applications, *International Journal of Production Economics*, Vol. 219, Elsevier, Amsterdam, 2020.
- [7] Mariani, M., Borghi, M., Industry 4.0: A bibliometric review of its managerial intellectual structure and potential evolution in the service industries, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 149, Elsevier, Amsterdam, 2019.
- [8] Müller, J. M., Buliga, O., Voigt, K. I., The role of absorptive capacity and innovation strategy in the design of Industry 4.0 business models, *Journal of Business Research*, Vol. 109, Elsevier, Amsterdam, 2020.
- [9] Sony, M., Industry 4.0 and lean management: A systematic review and research agenda, *Total Quality Management & Business Excellence*, Vol. 33(1–2), Taylor & Francis, London, 2022.
- [10] Sony, M., Naik, S., Critical factors for the successful implementation of Industry 4.0: A review and future research direction, *Production Planning & Control*, Vol. 31(10), Taylor & Francis, London, 2020.
- [11] Tortorella, G. L., Fettermann, D., Anzanello, M. J., Sawhney, R., Lean manufacturing implementation: Leadership styles and contextual variables, *International Journal of Production Economics*, Vol. 218, Elsevier, Amsterdam, 2019.
- [12] Tortorella, G. L., Fettermann, D., Cauchick-Miguel, P. A., Sawhney, R., The relationship between Industry 4.0 and lean production: A systematic review, *International Journal of Production Research*, Vol. 59(5), Taylor & Francis, London, 2021

Адреса аутора: Дејан Ковачевић, Универзитет у Новом Саду, Технички факултет „Михајло Пупин”, Зрењанин

е-маил: dejankov@live.com

Рад примљен: фебруар 2026.

Рад прихваћен: март 2026.

Проф. др Милорад Ранчић

ДОБРИВОЈЕ БОЖИЋ



Добривоје Божић је рођен 23. децембра 1885. године у Рашкој од оца Саватија и мајке Босиљке. Основну школу је похађао у свом родном месту а средњу Гимназију у Крагујевцу. На студије технике отишао је у Немачку 1904. године. Студирао је у Карлсруеу и Дрездену на Високој техничкој школи где му је поред осталих професор био и чувени Рудолф Бенц. Након дипломирања, године 1911. вратио се у Србију.

Посао је добио одмах у Српским државним железницама. У Железничкој радионици у Нишу започео је своју изузетну каријеру инжењера и истраживача. Радио је у области железничких возила а посебно на конструкцији и усавршавању пнеуматских кочница. Своја истраживања је морао да прекине због долазећих ратова. Као инжењер и добровољац учествује у Балканским ратовима и Првом светском рату. Био је борац и у чувеној Церској бици. Након завршетка ратова вратио се свом стваралачком инжењерском раду. Радио је у Краљеву, Београду, Загребу. Амерички патентни завод, године 1922., регистровао је његово патентно решење кочионог система за возове који је користио компримовани ваздух. Овај изум је познат под именом „Божићева кочница“ и код ње је први пут у свету кочиона сила била прилагођена тежини воза. Министар саобраћаја Краљевине СХС донео је одлуку да се ове кочнице могу примењивати на железници. Кочница је године 1924. тестирана на прузи Лич-Сушак која има велики нагиб. Тестирање је обављено пред међународном комисијом. Божић је конструисао три типа ове кочнице: за путнички, теретни и мешовити саобраћај. Међународна унија железница је 1928. Године прихватила решење ове кочнице са напоменом да је она надмашила сва дотадашња решења. Након тога кочница је уведена у примену у већи број европских земаља а међу првим су биле Чехословачка, Швајцарска, Француска, Пољска. У Краљевини Југославији у то време није била могућа производња кочионих система тако да је Божић своје патенте продао чехословачкој фирми Шкода за 400 000 тадашњих долара. При продаји је заштитио интересе своје земље и нашим железницама омогућио бесплатно коришћење.

Добривоје Божић је био изузетно плодан конструктор, иноватор и проналазач. Забележена су 62 његова патента из различитих техничких области која су регистрована у 18 светских земаља. Од продаје својих патената стекао је велики новац. Инвестирао га је у индустрију и некретнине. Био је акционар Матарушке Бање а његов отац Саватије председник управног одбора. У Београду на Врачару у Крунској улици саградио је изузетно атрактивну породичну вилу.

Добривоје Божић је био ожењен Радмилом. Први син Драган им се родио 1935. године а ћерка Весна је умрла 1941. године од упале слепог црева. Живели су у својој породичној кући на Врачару. У току Другог светског рата Немци су их протерали да живе у подруму своје куће. Добривоје је одлучио да напусти земљу. Заједно са супругом Радмилом и сином Драганом одлази преко Океана у Канаду. Тамо им се у граду Виндзор године 1950. родио и други син Бранко. Непосредно након тог догађаја Добривоје и Радмила су се развели. За то време комунистичка власт га је због емигрирања у Америку прогласила за издајника. Одузета му је сва имовина у Југославији као и кућа у Београду.

Добривоје је у Канади остао све до 1964. године када је одлучио да се врати у домовину. Године до краја живота провео је у Београду. Преминуо је 13. октобра 1967. године. Сахрањен је на Новом гробљу у Београду.

У поступку реституције 2014. године вила у Крунској улици у Београду враћена је наследницима. Данас Удружење инжењера и техничара Краљева носи име Добривоја Божића. Тако је бар делимично извршена рехабилитација једног од највећих српских инжењера, конструктора и проналазача.



САВЕЗ ИНЖЕЊЕРА И ТЕХНИЧАРА СРБИЈЕ

ПОВЕЉА

Научно-стручни часопис

ДИТ: Друштво, Истраживање, Технологије
Издавач Друштво инжењера Зрењанин

за најбољу  ПУБЛИКАЦИЈУ
СРБИЈЕ

БЕОГРАД

29. март 2024.



ПРЕДСЕДНИК

др Игор Марић, научни саветник

УПУТСТВО ЗА ПИСАЊЕ РАДОВА

- Радови се достављају у електронском облику на усб диску или електронском поштом.
- Рад треба да буде откуцан у фонту Times New Roman са ћириличним писмом. Величина фонта 12.
- Препоручује се ауторима да при уређивању рада користе шему - темплејт - који се налази на сајту издавача www.diz.org.rs
- Обим рада не би требало да буде већи од 12 страница.
- Наслов рада се даје на српском и енглеском језику. Испод наслова налазе се име и презиме аутора уз које иде научно или стручно звање, афелација (радна организација и њено седиште, место, адреса и контакт телефон или е-маил адреса. Рад мора да има резиме на српском и енглеском језику дужине до десет куцаних редова као и кључне речи уз обе варијанте. Садржај рада треба да има увод, разрадне делове и закључак.
- Дијаграми, цртежи, слике, табеле треба да се налазе на свом месту у раду. Текст нпр. „Слика 1.“ налази се испод слике на средини а текст „Табела 1.“ изнад табеле лево.
- Мере и мерне јединице морају бити у складу са важећим прописима у тој области.
- Литература се наводи на крају и треба да садржи: редни број, презиме и почетно слово имена аутора, назив рада, назив часописа (или књиге), број издања, назив издавача, место седишта издавача и годину издања.
- На крају рада после Литературе навести име и презиме првог аутора са научним или стручним звањем, назив и адресу институције, контакт телефон и е-маил адресу.
- Препорука је да се радови пишу на ћирилици.
- Сви пријављени радови подлежу анонимној научно стручној рецензији и оцени квалитета о чему ће аутори бити обавештени.
- Уредништво часописа ће прихватити само необјављене радове.
- Пријављени радови се не враћају ауторима.
- **За оригиналност, резултате истраживања и изнете ставове у овој публикацији издавач не сноси одговорност, већ аутори радова.**

Пријатељи часописа ДИТ



Elektrotehnički institut DEC[®]

za merenja i ispitivanja iz Zrenjanina
osnovan 1990.

Kej 2. oktobra br. 13
23000 Zrenjanin
P. fah 3
e-mail: info@dec.rs
www.dec.rs

Tel: +381 23 580 830
381 23 589 030
Fax: +381 23 580 831
+381 23 589 031

Usluge usaglašene sa SRPS ISO/IEC 17020 i SRPS ISO/IEC 17025:

- Merenja, ispitivanja i kontrolisanja na elektroenergetskim objektima do 400 kV (sistemi izolacije - tgđ i VLF 0,1 Hz , otpornost namotaja, prenosni odnos, SFRA analiza, merenje impedanse uzemljenja na sistemima velikih uzemljivača, napon dodira i koraka, hemijska i fizička analiza trafo ulja, regeneracija trafo ulja, termovizijske kontrole, kontrolisanje metaloksidnih odvodnika prenapona...)
- Jednofazno i trofazno ispitivanje relejne zaštite, analiza kvaliteta isporučene el. energije...
- Kontrolisanje mernog mesta na niskom, srednjem i visokom naponu: brojila, merni transformatori...
- Revizija trafostanica: merenje, ispitivanje i pregled montažno-betonskih, stubnih, zidanih i ostalih tipova trafostanica svih naponskih nivoa...
- Laboratorija za etaloniranje i pregled električnih merila
- Overavanje brojila el. energije i mernih transformatora (strujnih i naponskih)
- Kontrolisanje električnih i gromobranskih instalacija stambenih, poslovnih, proizvodnih objekata...
- Ispitivanje opreme i oruđa za rad sa aspekta bezbednosti i zdravlja na radu: Licenca za pregled opreme i oruđa za rad od Ministarstva rada i socijalne politike br. 164-02-00230/2015-01
- Izdavanje sertifikata o energetskim svojstvima objekata visokogradnje - energetskog pasoša
- Merna kola BAUR: pronalaženje trase kablova i kvarova na njima, kao i saniranje kvarova

NAŠ INSTITUT JE ZVANIČNI ZASTUPNIK KOMPANIJA METREL IZ SLOVENIJE

- Ispitivanje el. instalacija Eurotest 61557...
- Otpor izolacije, uzemljenje... TeraOhm 10kV...
- Mašine i oprema MI 2094 CE Multitester...
- Analiza kvaliteta el. energije POWER4Q PLUS...
- Multimetri, strujna klešta... MD 9060...

www.metrel.si

 **METREL[®]**



UM-ING

PETKUS Engineering d.o.o.

Bagljaš Aerodrom bb
23000 Zrenjanin
Rep.Srbija



GP MPM d.o.o.
Adresa: Aleksandra Belića 14,
23000 Zrenjanin

email: office@gmpm.rs;
predragmistic@gmpm.rs

PIB: 111249840

MB: 21449237

Žiro račun: 275-0020222974638-56
Societe Generale Banka

IRON



www.iron.rs 023/531-890 , 023/ 530-511



iron@iron.rs 063/521-435 , 062/8838-291

TEGOVI I KLUPE ZA VEŽBANJE

BORILAČKA OPREMA

KOORDINACIONI PROGRAM

SPRAVE ZA KUĆNO VEŽBANJE

BSN TEH GRAD DOO

23000 Zrenjanin,

Toše Jovanovića br 26 L2/8

E mail:djurica1963@gmail.com



ДРУШТВО ИНЖЕЊЕРА ЗРЕЊАНИН



ГРАД ЗРЕЊАНИН



РЕПУБЛИКА СРБИЈА

Овај часопис се финансира из буџета Покрајинског секретаријата за науку и високо образовање и Града Зрењанина.

Ставови изражени у овој публикацији искључива су одговорност аутора и његових сарадника и не представљају нужно званичан став ГРАДА.