

ДИТ

Друштво Истраживање Технологије

НАУЧНО
СТРУЧНИ
ЧАСОПИС

ГОДИНА XXXII*** БРОЈ **46**
Септембар 2026

SCIENTIFIC
PROFESIONAL
JOURNAL

YEAR XXXII *** ISSUE **46**
September 2026

МАШИНСТВО
ЕНЕРГЕТИКА
ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И
РАЧУНАРСТВО
ТЕХНОЛОГИЈЕ
МЕНАџМЕНТ И ЕКОНОМИЈА
ВЕЛИКАНИ НАУКЕ





Друштво Истраживање Технологије

Научно-стручни часопис
Scientific-profesional journal

Година XXXII, Број 46, септембар 2026. год.
Year XXXII, Issue 46, September 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 шестом броју Научно – стручни часопис ДИТ (Друштво, Истраживања, Технологије) објављује научне и стручне радове из области машинства, електротехнике и рачунарства, технологија, економије и менаџмента. Уредништво часописа одабрало је прилоге из наведених области који обрађују актуелне и савремене теме као што су то: примена алгоритма диференцијалне еволуције у машинству, анализа ризика електропнеуматског сета, примена интелигентних метода при оптимизацији ЦНЦ машина, класични и савремени системи за заливање, квантни рачунари, микросервисне архитектуре у дигиталном окружењу, примена димензионе анализе, примена информационих технологија у поступку пречишћавања ваздуха, одређивање хемијског састава земљишта, нестандардни начин постављања торањских дизалица, држава и неолиберални модел капитализма, кључни фактори избора примарне продавнице, управљање вредношћу и исплативошћу пројеката, улога дуалног образовања.

Овај број часописа посвећен је Ђорђу Станојевићу, човеку који је највише заслужан за електрификацију и електрично осветљавање великог броја градова у Србији. Такође је био пројектант и градитељ првих електрана и хидроелектрана.

За протеклу 2025. годину Министарство образовања и науке Републике Србије наш часопис је категорисало са М 53.

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	
Бранислав Миленковић, Ђорђе Јовановић, Младен Крстић: ПРИМЕНА АЛГОРИТМА ДИФЕРЕНЦИЈАЛНЕ ЕВОЛУЦИЈЕ У МАШИНСТВУ <i>APPLICATION OF DIFFERENTIAL EVOLUTION ALGORITHM IN MECHANICAL ENGINEERING</i>	9
Душан Јованић, Валентина Младеновић: АНАЛИЗА РИЗИКА ЕЛЕКТРОПНЕУМАТСКОГ ЕДУКАТИВНОГ СЕТА <i>RISK ANALYSIS OF AN ELECTROPNEUMATIC EDUCATIONAL SET</i>	15
Obiad Aničić: PRIMENA INTELIGENTNIH METODA U OPTIMIZACIJI CNC OBRADE I DIGITALNOG PROJEKTOVANJA <i>APPLICATION OF INTELLIGENT METHODS FOR THE OPTIMIZATION OF CNC MACHINING AND DIGITAL DESIGN</i>	23
Milorad Rančić: CLASSIC AND MODERN IRRIGATION SYSTEMS IN AGRICULTURE AND THEIR APPLICATIONS <i>KLASIČNI I SAVREMENI SISTEMI ZA NAVODNJAVANJE U POLJOPRIVREDI I NJIHOVE PRIMENE</i>	31
ЕНЕРГЕТИКА	
Миодраг Ковачевић, Милада Новаковић, Тамара Милић, Драган Халас: ПОТЕНЦИЈАЛ ФОТОНАПОНСКИХ СИСТЕМА ЗА УНАПРЕЂЕЊЕ ЕНЕРГЕТСКЕ ЕФИКАСНОСТИ ПОЉОПРИВРЕДНИХ ГАЗДИНСТАВА СРЕДЊОБАНАТСКОГ ОКРУГА <i>POTENTIAL OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS FOR IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF AGRICULTURAL HOLDINGS IN THE CENTRAL BANAT DISTRICT</i>	41
ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО	
Жељко Еремић, Тања Секулић, Ирис Борјановић Трусина: КВАНТНИ РАЧУНАРИ <i>QUANTUM COMPUTERS</i>	55
Тамара Милић, Жељко Стојанов, Игор Вештејн: МИКРОСЕРВИСНЕ АРХИТЕКТУРЕ У ДИГИТАЛНОМ ОКРУЖЕЊУ ДРУШТВА 5.0 <i>MICROSERVICE ARCHITECTURES IN THE DIGITAL ENVIRONMENT OF SOCIETY 5.0</i>	67
Mile D. Lovre: PRIMENA DIMENZIONE ANALIZE U RAZMATRANJU KONSTANTE 1836,15 KAO ODNOSA MASE PROTONA I MASE ELEKTRONA <i>APPLICATION OF DIMENSIONAL ANALYSIS IN CONSIDERING THE CONSTANT 1836.15 AS THE PROTON-TO-ELECTRON MASS RATIO</i>	77
Miljan Miletić, Milorad Rančić, Mališa Stefanović: PRIMENA INFORMACIONIH TEHNOLOGIJA U NADZORU POSTUPAKA PREČIŠĆAVANJA VAZDUHA <i>THE UTILIZATION OF INFORMATION TECHNOLOGY IN SUPERVISING AIR PURIFICATION PROCEDURES</i>	81
ТЕХНОЛОГИЈЕ	
Milana Drašković, Željko Eremić, Danijela Jašin: ODREĐIVANJE HEMIJSKIH OSOBINA ZEMLJIŠTA U PARKOVIMA ZRENJANINA PALINTEST SK 300® ANALIZEROM ZEMLJIŠTA <i>DETERMINATION OF CHEMICAL PROPERTIES OF SOILS IN ZRENJANIN PARKS WITH THE PALINTEST SK 300® SOIL ANALYZER</i>	91
Грујица Љубисављевић: НЕСТАНДАРДНИ НАЧИН ПОСТАВЉАЊА ТОРАЊСКИХ ДИЗАЛИЦА <i>NON-STANDARD WAY OF INSTALLING TOWER CRANES</i>	99
МЕНАџМЕНТ И ЕКОНОМИЈА	
Edi Daruši: DRŽAVA I NEOLIBERALNI MODEL TRŽIŠNOG KAPITALIZMA <i>THE STATE AND THE NEOLIBERAL MODEL OF MARKET CAPITALISM</i>	111
Dejan Igov, Sanja Stanisavljević, Ivana Denčić: УПРАВЉАЊЕ ВРЕДНОШЋУ И ИСПЛАТИВОШЋУ ПРОЈЕКТА – АНАЛИЗА КОРИСТИ, ПОВРАЋАЈ УЛАГАЊА (ROI) И ФИНАНСИЈСКА ОПРАВДАНOST <i>PROJECT VALUE AND PROFITABILITY MANAGEMENT – ANALYSIS OF BENEFITS, RETURN ON INVESTMENT (ROI) AND FINANCIAL FEASIBILITY</i>	125
Мила Кавалић, Снежана Мирковић, Верица Глуваков Топалов: КЉУЧНИ ФАКТОРИ ИЗБОРА ПРИМАРНЕ ПРОДАВНИЦЕ ИЗ ПЕРСПЕКТИВЕ КУПАЦА <i>KEY FACTORS IN CHOOSING A PRIMARY GROCERY STORE FROM THE CUSTOMER PERSPECTIVE</i>	135
Весна Коња, Жолт Коња: УЛОГА ДУАЛНОГ ОБРАЗОВАЊА У РАЗВОЈУ КОМПЕТЕНЦИЈА УЧЕНИКА ЗА ПОТРЕБЕ САВРЕМЕНЕ МАШИНСКЕ ИНДУСТРИЈЕ <i>THE ROLE OF DUAL EDUCATION IN DEVELOPING STUDENTS' COMPETENCIES FOR THE NEEDS OF THE MODERN MECHANICAL INDUSTRY</i>	145
БОРБЕ СТАНОЈЕВИЋ	153
УПУТСТВО ЗА ПИСАЊЕ РАДОВА.....	157



ЂОРЂЕ СТАНОЈЕВИЋ (1858 – 1921)

Велики борац
за електрификацију Србије и
електрично осветљавање многих градова.
Пројектант и градитељ првих
хидроелектрана у Србији.
Професор физике, декан и ректор
Београдског Универзитета.
Један од најобразованијих и најученијих
људи свог времена.

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

ПРИМЕНА АЛГОРИТМА ДИФЕРЕНЦИЈАЛНЕ ЕВОЛУЦИЈЕ У МАШИНСТВУ

APPLICATION OF DIFFERENTIAL EVOLUTION ALGORITHM IN MECHANICAL ENGINEERING

БРАНИСЛАВ МИЛЕНКОВИЋ¹

БОРЉЕ ЈОВАНОВИЋ²

МЛАДЕН КРСТИЋ³

¹Ваздухопловна академија, Београд

²Математички институт САНУ, Београд

³Универзитет у Крагујевцу, Факултет за машинство и грађевинарство, Краљево

РЕЗИМЕ

У овом раду ће бити приказан алгоритам диференцијалне еволуције. Након објашњења основе диференцијалне еволуције приказане су и математичке формулације самог алгоритма. Потом је детаљно приказана његова примена на инжењерским примерима у машинству: тањираста опруга и конусно квачило.

На самом крају рада приказани су резултати добијени диференцијалном еволуцијом у односу на претходно добијене оптимизационе методе.

Кључне речи: еволуција, опруга, квачило

ABSTRACT

This paper will present the differential evolution algorithm. After explaining the basis of differential evolution, the mathematical formulations of the algorithm itself are presented. Then, its application to engineering examples in mechanical engineering is presented in detail: spring and cone coupling.

At the very end of the paper, the results obtained by differential evolution are presented in relation to previously obtained optimization methods.

Key words: evolution, spring, coupling

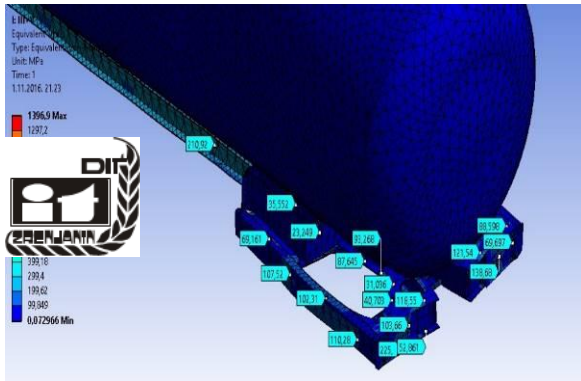
1. УВОД

Како би смо што успешније применили методу оптимизације, морамо имати адекватан модел који се оптимизира. Најважнији корак у оптимизацији је добијање доброг модела. У суштини гледано графика нам може помоћи да схватимо природу конструкцијског простора и модела.

Постоје две врсте модела који се, заједно са методом оптимизације, користе, а то су: физички модел и експериментални модел.

Пример нумеричког физичког модела је метода коначних елемената, која се користи за решавање проблема (Слика 1).

Експериментални модели се заснивају на експерименталним подацима.



Слика 1. Нумерички физички модел

Већина мета-хеуристичких алгоритама је инспирисана природом, јер су развијени на основу неке апстракције природе. С обзиром да је природа еволуирала милионима годинама она је пронашла савршено решење за скоро све проблеме које је срела.

Главна особина свих мета-хеуристичких алгоритама је та да могу решавати проблеме оптимизације коришћењем природних и физичких појава. Из тог разлога могу се разврстати у четири групе:

- на бази еволуције;
- на физичким базама;
- методе засноване на роју;
- методе засноване на човеку;

Мета-хеуристички алгоритми могу бити:

- генетски алгоритам;
- алгоритам грбавог кита;
- алгоритам мравца;
- алгоритам слепог миша;
- алгоритам скакавца;
- алгоритам сивог вука;
- алгоритам пчеле;
- алгоритам термита;
- алгоритам поларног медведа;
- симулација жарења;

2. ДИФЕРЕНЦИЈАЛНА ЕВОЛУЦИЈА

Алгоритам су 1995.године развили и предложили Price и Storm. Последњих

неколико година ова метода је постала веома популарна у оптимизирању проблема у различитим пољима науке, првенствено у машинству.

Предност ове методе је што не захтева да проблем буде диференцијабилан као што захтевају класичне методе и може да се користи у оптимизацији проблема који није континуалан, већ је временски променљив.

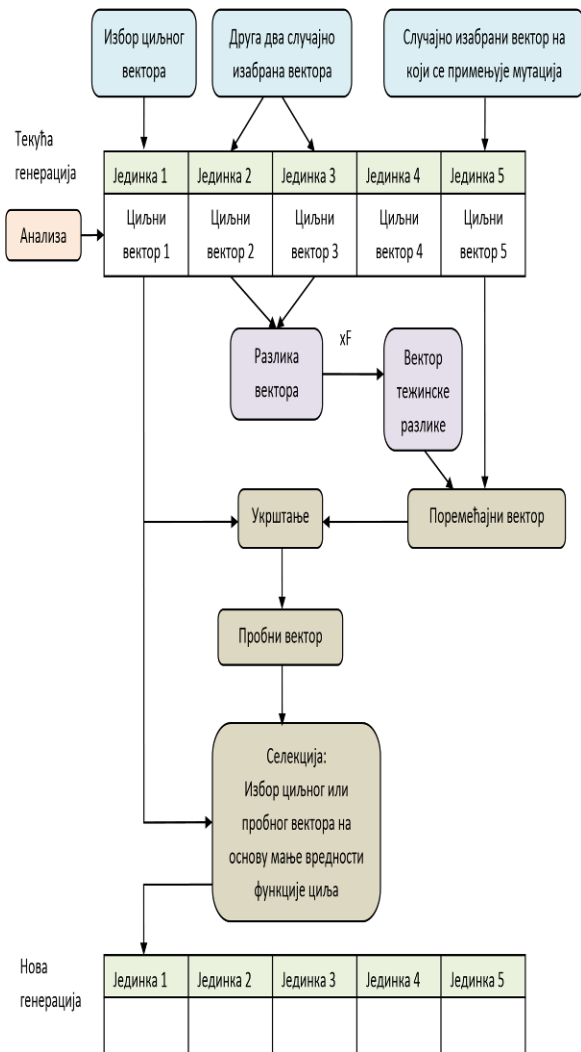
Алгоритам садржи три контролна параметра која могу значајно да утичу на резултате оптимизације а то су: тежински фактор F , величина популације NP и вероватноћа укрштања C_r .

Величина популације NP : избор за величину популације се обично креће у следећим границама $2D \leq NP \leq 40D$, где је D број променљивих дефинисаних задатком. Препорука за додељивање вредности је $NP = 10 * D$. Што је већа популација, већа је и шанса за налажење глобалног минимума за вишемодалне функције. Али уколико је величина популације превелика, иако се повећа шанса за побољшање конвергенције, може се повећати и број оцена функције.

Вероватноћа укрштања C_r : Она зависи од функције циља и обично се налази у границама $0 \leq C_r \leq 1$.

Велика вероватноћа укрштања убрзава конвергенцију али зато може доћи до преране конвергенције и да се не добије најбоље решење. Вредности за C_r у границама између 0 и 0.2 су добре јер се тада сваки пробни вектор учестало такмичи са пројектним вектором од кога се разликује за један параметар.

Тежински фактор F : Он не сме бити испод одређене границе да би се спречила прерана конвергенција и стриктно мора бити већи од нуле. Иако $F \leq 1$ може решити многе проблеме, $F \geq 1$ је обично и бржи и поузданији, али већи тежински фактор повећава и вероватноћу удаљавања од глобалног минимума. Избор за F се обично креће између $0.4 \leq F \leq 0.95$. Дobar избор за тежински фактор је 0.6.



Слика 2. Шематски дијаграм ДЕ алгоритма

3. ИНЖЕЊЕРСКИ ОПТИМИЗАЦИОНИ ПРОБЛЕМИ

Главни задатак следећих примера је наћи оптимално решење (у овом случају минимум) који при томе мора да задовољи низ ограничења.

Проблеми оптимизације са низом ограничења се математички могу представити на следећи начин:

минимизирати: $f(\vec{x})$, $\vec{x} \in R^n$

при томе одређена ограничења морају бити задовољена:

$$g_i(\vec{x}) \leq 0, \quad 1 \leq i \leq l$$

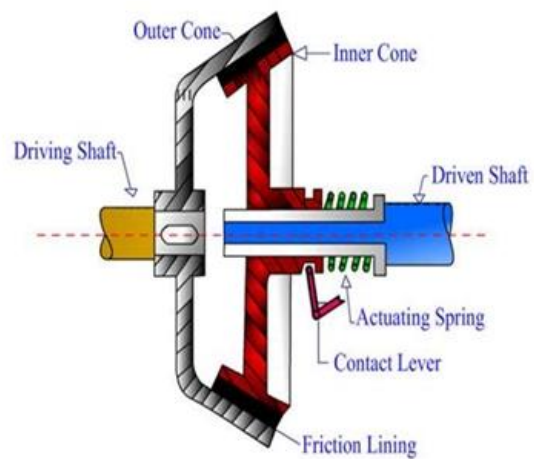
где је:

$\vec{x} = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]^T$ - променљиве

n - димензиони вектор

l - број неједначина у систему

У следећем примеру приказана је оптимизација конусног квачила (Слика 3).



Слика 3. Конусно квачило

Циљ је наћи минималну запремину конусног квачила, како би оно преносило минимални обртни момент. Спољашњи и унутрашњи радијус квачила $R_1(x_1)$ и $R_2(x_2)$ су пројектне променљиве а функција циља се може изразити као:

$$f(R_1, R_2) = \frac{1}{3} \pi h (R_1^2 + R_1 R_2 + R_2^2)$$

где је аксијална дебљина дата са:

$$h = \frac{R_1 - R_2}{\tan \alpha}$$

где је α половина угла конуса.

$$f(R_1, R_2) = k_1 (R_1^2 - R_2^2) \\ k_1 = \frac{\pi}{3 \tan \alpha} \\ F = \int p dA \sin \alpha = \int_{R_2}^{R_1} p \frac{2\pi r dr}{\sin \alpha} \sin \alpha = \pi p (R_1^2 - R_2^2)$$

$$T = \int r f p dA = \int_{R_2}^{R_1} r f p \frac{2\pi r}{\sin \alpha} dr = \frac{2\pi f p}{3 \sin \alpha} (R_1^3 - R_2^3)$$

$$T = \frac{k_2 (R_1^2 + R_1 R_2 + R_2^2)}{R_1^2 + R_2^2}$$

$$k_2 = \frac{2Ff}{3 \tan \alpha}$$

Пошто је k_1 константа функција циља се може усвојити као $f(x) = R_1^3 - R_2^3$.

По претпоставци минимални момент који се преноси је $5k_2$. Такође се претпоставља да је спољни пречник R_1 два пута већи од унутрашњег R_2 .

Тако оптимизациони проблем постаје:

$$\min f(x) = R_1^3 - R_2^3$$

$$g_1(x) = \frac{R_1}{R_2} \geq 2$$

где је:

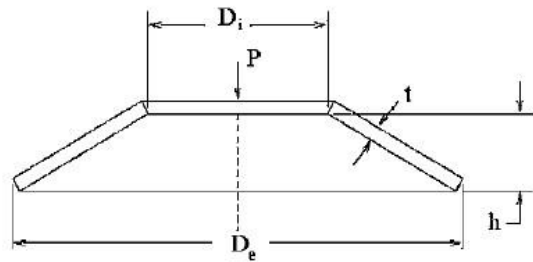
$$1 \leq x_1, x_2 \leq 10$$

У другом примеру приказана је оптимизација тањирасте опруге (Слика 4).

Циљ је направити тањирасту опругу минималне тежине која при томе задовољава одређена ограничења. Проблем садржи четири пројектне променљиве:

- спољни пречник опруге (x_1)
- унутрашњи пречник опруге (x_2)
- дебљина опруге (x_3)
- висина опруге (x_4)

Од наведених пројектних променљивих x_3 је дискретна променљива а остале су константне променљиве. Опруга треба да задовољи следећа ограничења: притисак, угиб, висина угиба, максимална висина, спољни пречник, унутрашњи пречник и нагиб.



Слика 4. Тањираста опруга

Задатак је минимизирати:

$$f(x) = 0.07075\pi(D_e^2 - D_i^2)t$$

и при томе користити следећа ограничења:

$$g_1(x) = S - \frac{4E\delta_{max}}{(1-\mu^2)\alpha D_e^2} \left[\beta \left(h - \frac{\delta_{max}}{2} \right) + \gamma t \right] \geq 0$$

где је:

S - допуштена чврстоћа материјала опруге;

E - модул еластичности материјала опруге;

μ - Поасонов коефицијент;

δ_{max} - максимални угиб опруге;

$$g_2(x) = \left(\frac{4E\delta_{max}}{(1-\mu^2)\alpha D_e^2} \left[\left(h - \frac{\delta_{max}}{2} \right) (h - \delta_{max})t + t^3 \right] - P_{max} \right) \geq 0$$

где је:

P_{max} - максимално оптерећење на опругу;

H - укупна висина опруге;

$$g_3(x) = \delta_i - \delta_{max} \geq 0$$

$$g_4(x) = H - h - t \geq 0$$

$$g_5(x) = D_{max} - D_e \geq 0$$

$$g_6(x) = D_e - D_i \geq 0$$

$$g_7(x) = 0.3 - \frac{h}{D_e - D_i} \geq 0$$

где је:

$$\alpha = \frac{6}{\pi \ln K} \left(\frac{K-l}{K} \right)^2$$

$$\beta = \frac{6}{\pi \ln K} \left(\frac{K-l}{\ln K} - 1 \right)$$

Вредности пројектних променљивих се крећу у следећим границама:

$$0.01 \leq x_1 \leq 0.6$$

$$0.05 \leq x_2 \leq 0.5$$

$$5 \leq x_3, x_4 \leq 15$$

4. АНАЛИЗА ДОБИЈЕНИХ РЕЗУЛТАТА

Оптимизација методом Диференцијалне еволуције за горе наведене примере је рађена у програмском пакету Matlab 2025 у коме је рађена и анализа и провера добијених резултата.

Добијени резултати су представљени у овом поглављу као и њихово упоређивање са до сада добијеним и објављеним резултатима доступним у литератури.

Најбољи резултати тањирасте опруге дати су у наредној табели 1.

Табела 1. Поређење резултата оптимизације тањирасте опруге

Функција циља и променљиве	ДЕ алгоритам аутора Rao	ДЕ алгоритам
f(x)	1.984374	2.5438
x ₁	0.204262	0.4679
x ₂	0.200021	0.2765
x ₃	11.990978	11.6800
x ₄	10.0033783	5.5853

Најбољи резултати конусног квачила приказани су у следећој табели 2.

Табела 2. Поређење резултата оптимизације конусног квачила

Функција циља и променљиве	ДЕ алгоритам аутора Rao	ДЕ алгоритам
f(x)	68.87755	65.3820
x ₁	4.285714	4.211201
x ₂	2.142857	2.102972

5. ЗАКЉУЧАК

У раду је описана примена методе Диференцијалне еволуције на оптимизацију примера инжењерских проблема са константним бројем променљивих. При томе су добијени оптимални или приближни резултати. У првом случају резултат је лошији а у другом случају добијен је бољи резултат од резултата преузетих из Rao. Даљом модификацијом овог алгоритма постоји могућност побољшања резултата.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] D.Scap: Diferencijalna evolucija u globalnom optimiranju, Hrvatska, 2009.
- [2] R.Rao: Mechanical Design Optimization Using Advanced Optimization Techniques, National Institute of Technologu Ichchhanath, India, 2011.
- [3] Differential Evolution - File Exchange - MATLAB Central

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



ЂОРЂЕ СТАНОЈЕВИЋ (1858 – 1921)

Велики борац
за електрификацију Србије и
електрично осветљавање многих градова.
Пројектант и градитељ првих
хидроелектрана у Србији.
Професор физике, декан и ректор
Београдског Универзитета.
Један од најобразованијих и најученијих
људи свог времена.

АНАЛИЗА РИЗИКА ЕЛЕКТРОПНЕУМАТСКОГ ЕДУКАТИВНОГ СЕТА

RISK ANALYSIS OF AN ELECTROPNEUMATIC EDUCATIONAL SET

ДУШАН ЈОВАНИЋ¹
ВАЛЕНТИНА МЛАДЕНОВИЋ¹

¹Висока техничка школа струковних студија у Зрењанину

РЕЗИМЕ

У раду је приказана анализа ризика при употреби електропнеуматског едукативног сета намењеног лабораторијској настави. Анализа је спроведена у складу са захтевима стандарда ISO 14121-1 и ISO 12100, кроз дефинисање граница машине, идентификацију опасности и оцену ризика у свим релевантним фазама животног века уређаја. Посебна пажња посвећена је идентификацији механичких, електричних и термичких опасности, као и штетностима које се јављају у виду буке, вибрација, зрачења и ергономских оптерећења. Процена ризика извршена је применом методе идентификације опасности коришћењем стандардизованих образаца, чиме су систематски сагледане потенцијалне опасне ситуације током рада, подешавања, програмирања и одржавања електропнеуматског система. Резултати анализе ризика и идентификације опасности омогућавају обезбеђење безбедне и ефикасне примене електропнеуматског едукативног сета у лабораторијским условима.

Кључне речи: Безбедност машина, анализа ризика, идентификација опасности, електропнеуматика, едукативни сет.

ABSTRACT

This paper presents a risk analysis related to the use of an electropneumatic educational set intended for laboratory teaching. The analysis was conducted in accordance with the requirements of ISO 14121-1 and ISO 12100 standards, through defining the machine limits, identifying hazards, and assessing risks in all relevant phases of the device lifecycle. Special attention was given to the identification of mechanical, electrical, and thermal hazards, as well as harmful effects such as noise, vibrations, radiation, and ergonomic loads. The risk assessment was performed using a hazard identification method based on standardized forms, enabling a systematic evaluation of potential hazardous situations during operation, adjustment, programming, and maintenance of the electropneumatic system. The results of the risk analysis and hazard identification provide a basis for ensuring safe and efficient use of the electropneumatic educational set in laboratory conditions.

Keywords: Machine safety, risk analysis, hazard identification, electropneumatics, educational set.

1. УВОД

Развој савремених индустријских и едукативних система све више подразумева интеграцију пнеуматских, електричних и управљачких компоненти, што значајно повећава функционалност, али истовремено уводи нове потенцијалне изворе ризика по безбедност корисника. Електропнеуматски системи се данас широко примењују у индустрији, али и у образовним институцијама, где служе као основно средство за стицање практичних знања из области аутоматике и мехатронике.

Безбедност машина и опреме за рад представља један од кључних захтева како у индустријском, тако и у образовном окружењу. Европска директива о машинама 2006/42/ЕС, као и одговарајући национални прописи и међународни стандарди, јасно дефинишу обавезу спровођења процене ризика као основног корака у обезбеђивању безбедне употребе машина и техничких система [1,2].

Према стандардима ISO 12100 и ISO 14121-1, анализа ризика обухвата систематско сагледавање свих опасности које могу настати током животног века машине, као и процену вероватноће и тежине могућих последица [3, 4].

Дефинисање општих правила и безбедносних захтева за пнеуматске системе и њихове компоненте, према стандарду ISO 4414, доприноси смањењу ризика од кварова и повреда [5].

ANSI смернице наглашавају идентификовање задатака и опасности које раније нису разматране, посебно оних повезаних са одржавањем [6].

Критична потреба за побољшањем безбедности машина представља стратешки оквир за ублажавање ризика кроз ефикасну идентификацију опасности, процену ризика и имплементацију контроле [7].

Стога је, с обзиром на то да се електропнеуматски едукативни сет

користи у лабораторијским условима у раду са студентима, неопходно спровести детаљну анализу ризика која ће обухватити анализу свих механичких, електричних, термичких опасности и штетности изазваних буком, вибрацијама, као и ергономске и организационе аспекте рада.

Циљ овог рада је да се изврши систематска анализа ризика при употреби електропнеуматског едукативног сета, кроз дефинисање граница машине, идентификацију опасности у свим релевантним фазама животног века и процену ризика применом стандардизоване методе идентификације опасности применом образаца.

2. ЕЛЕКТРОПНЕУМАТСКИ ЕДУКАТИВНИ СЕТ

Електропнеуматски едукативни сет је дидактичка лабораторијска опрема која омогућава стицање и развој знања и вештина из области примене електропнеуматике у индустрији, кроз решавање стандардних задатака из праксе. Сет повезује пнеуматику, преко пнеуматских компоненти (актуатори у виду цилиндара једносмерног и двосмерног дејства, логички И и ИЛИ вентили, вентили 3/2 и 5/2 са различитим принципима активирања, регулатор притиска, припремна група итд.) и електротехнику – аутоматику преко електро компоненти (сензори близине и притиска, гранични прекидачи, релеи, различити разводници 3/2 и 5/2 са соленоидом и LED индикацијом итд.), а пуну примену остварује интеграцијом са PLC контролером.

Пнеуматика, а посебно унапређена електрокомпонентама, има изузетно широк опсег примена. На пример, користи се у извођењу производних операција бушења, стругања, глодања, тестерисања, обликовања и др., као и за обављање различитих радних задатака руковања материјалом као што су

стежање, померање, позиционирање, оријентација, гранање тока материјала и др.

На сл. 1 је приказан пример електропнеуматског едукативног сета.



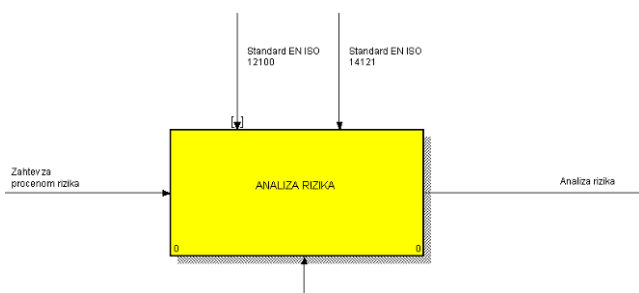
Слика 1. Електропнеуматски едукативни сет [8]

Пнеуматски алати и оперативне компоненте могу се оптеретити до тачке заустављања и стога су безбедни од преоптерећења.

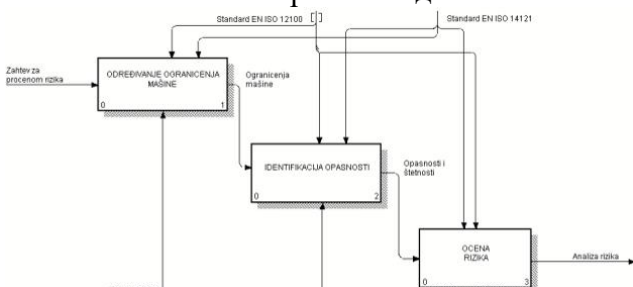
3. АНАЛИЗА РИЗИКА

Анализа ризика електропнеуматског едукативног сета се, као што то приказује декомпозициони дијаграм на сл. 2а и 2б, састоји од следећих фаза:

- одређивање ограничења машине,
- идентификација опасности и
- оцена ризика.

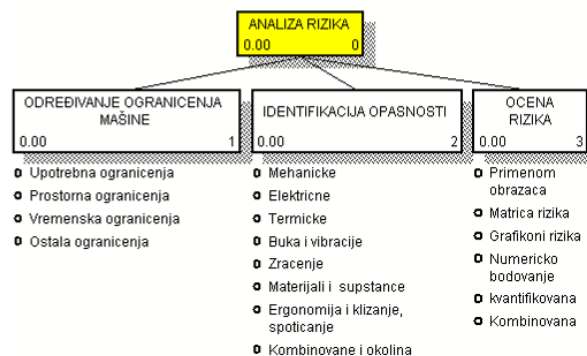


Слика 2а. Декомпозициони дијаграм активности Анализа ризика – део I



Слика 2б. Декомпозициони дијаграм активности Анализа ризика – део II

Стабло активности анализе ризика приказано је на сл. 3.



Слика 3. Стабло активности Анализа ризика

Након урађене анализе ризика, уз спроведену евалуацију ризика, извршен је укупан процес процене ризика.

3.1. ОДРЕЂИВАЊЕ ГРАНИЦА МАШИНЕ

Анализа ризика почиње одређивањем граница машине, узимајући у обзир све фазе животног века машине и састоји се од:

- ограничења употребе,
- просторних ограничења,
- временских ограничења и
- осталих ограничења.

Ограничења употребе дефинишу различите режиме рада електропнеуматског едукативног сета и различите процедуре интервенције за кориснике, као што су управљање цилиндрима, секвенцијално кретање, сигнализација помоћу сензора, интеграција са PLC контролерима и др.

Електропнеуматски едукативни сет нема ограничења коришћења од стране лица идентификованих по полу, старости и доминантној употреби руку – уколико су обучена за руковање. Предвиђени ниво интерне обуке за оператере електропнеуматске опреме је 32 h [9].

Осим оператора, постоји могућност излагања опасности и осталих учесника у

реализацији задатака електропнеуматског сета, који се налазе у зони опасности.

Просторна ограничења при употреби електропнеуматског едукативног сета дефинисана су ограниченим простором у лабораторији за смештај едукативног сета, компресора и радног стола за инсталацију одређених компоненти. Што се тиче простора, неопходно је 1–2 m са три стране (лева, предња и десна) у односу на радни сто, док задња страна радног стола са таблом за монтажу може бити наслоњена на зид. Простор за кретање клипа пнеуматских цилиндара, односно дужине хода, су од 1 до 2000 mm, у зависности од пречника који се креће у опсегу од 2,5 до 320 mm. Радни ход клипа пнеуматског цилиндра двосмерног дејства који припада примеру електропнеуматског едукативног сета приказаног на сл. 1 је 100 mm, а пречник је 20 mm, док су ови технички подаци, очекивано, мањи за одговарајући цилиндар једносмерног дејства. Минимална безбедна удаљеност руку од покретних делова је већа од 10 cm.

Временска ограничења дефинишу животни век електропнеуматског едукативног сета и неких његових компоненти, као и препоручене сервисне интервале од стране произвођача.

Остала ограничења дефинишу потребан максимални радни притисак компресора од 6 bar, напон струје од 24 V DC, доступне силе од 2 до 45000 N, брзину клипа од 0,1 до 1,5 m/s при притиску од 6 bar, као и температуру и влажност просторије које треба да буду у нормалним оквирима.

3.2. ИДЕНТИФИКАЦИЈА ОПАСНОСТИ

Идентификација опасности и штетности, опасних ситуација и догађаја врши се за све фазе животног века машине: конструисање, транспорт, монтажа и инсталација, пуштање у рад, употреба, расхођавање, након чега је

потребно предузети мере за њихово отклањање или смањење ризика.

За спровођење идентификације опасности за електропнеуматски едукативни сет потребно је одредити операције које он обавља, задатке оператера и окружење у којем ради.

Операције које се обављају над компонентама електропнеуматског сета су: монтажа и повезивање компоненти на радној плочи, подешавање, програмирање PLC, тестирање, пуштање у рад, као и чишћење, подмазивање и одржавање свих компоненти система.

Задаци које обављају оператери су: директно и индиректно активирање цилиндара једносмерног и двосмерног дејства, управљање вентилима, секвенцијално кретање, управљање актуаторима, сигнализација помоћу сензора, интеграција са PLC контролерима, припрема ваздуха, регулација притиска, дијагностика и мониторинг.

У фазама инсталације и употребе електропнеуматског едукативног сета, приликом реализације задатка управљања цилиндрима, идентификоване су следеће опасности и штетности на основу Правилника о начину и поступку процене ризика на радном месту и у радној околини [10]:

- Механичке опасности, које се појављују коришћењем опреме за рад,
- Опасности које се појављују у вези са карактеристикама радног места,
- Опасности које се појављују коришћењем електричне енергије,
- Штетности које настају или се појављују у процесу рада (бука, вибрације, зрачење, материјал–супстанце),
- Штетности које проистичу из психичких и психофизиолошких напора који се узрочно везују за радно место и послове које запослени обавља (ергономија).

3.3. ПРОЦЕНА РИЗИКА

Процена ризика, уз одређивање ограничења машине и идентификацију

опасности, чини анализу ризика, која, уз спроведену евалуацију ризика (тј. да ли је ризик адекватно смањен), представља укупан процес оцене ризика. Методе процене ризика, према ISO TR 14121-2:2012 – Део 2: Практично упутство и примери су [11]:

- идентификација опасности применом образаца,
- матрице ризика,
- графикони ризика,
- нумеричко бодовање,
- квантификована евалуација ризика и
- хибридна.

Идентификација опасности применом образаца је метод процене ризика који, као главни алат, користи контролне листе дефинисане у ISO 14121-1:2007 и оне се не могу сматрати потпуним. Због тога би требало, као допуну, користити друге методе процене ризика. Ова метода се може користити за процену ризика у било којој фази животног века машине.

Идентификација опасности применом образаца приказана је у табели 1. и извршена је према стандарду ISO 14121-1.

Табела 1. Идентификација опасности применом образаца

ИДЕНТИФИКАЦИЈА ОПАСНОСТИ					
Машина		Електропнеуматски сет	Метод/Стандард	Применом образаца / ISO 14121-1	
Фаза		Пуштање у рад, употреба	Анализу извршио:	Др Душан Јованић	
Опасна зона		Радни сто сета	Датум	2.12.2025.	
Р.	Задатак	Опасност	Порекло	Последице	Опасна ситуација/ догађај
1	Подешавање, Програмирање PLC, тестирање и пуштање у рад	Механичке опасности повезане са машином, машинским деловима или површинама, алатима, радним предметима, оптерећењима или пројектованим чврстим или течним материјалима	Убрзање, успоравање (кинетичке енергије) Угаони делови Приближавање покретног елемента до фиксног дела Предмети који падају Висок притисак ваздуха Покретни елементи Оштре ивице Стабилност и маса Релативна локација Неадекватна снага Акумулација потенцијалне енергије (гас под притиском)	Пригњечење Одсецање Сечење Заплитање Хватање Удар Убод Клизање, спотицање и падање	Рука у зони кретања цилиндра Неконтролисан старт система – цилиндра Неконтролисано кретање (изненадно активирање цилиндра) Контакт са покретним деловима (нагло избацивање цилиндра при укључењу система) Погрешно спајање вентила Остављање система под притиском током интервенције Пуцање пнеуматског вода (удар флуида под високим притиском) Неисправан сигурносни вентил Изложеност избацивању и падању делова Губитак стабилности Лом делова Контакт са оштрим ивицама Погрешно спајање
2		Механичке опасности, које могу изазвати машина, делови машине (укључујући радне механизме за држање материјала), обрадак или оптерећења			

					компоненти Заобилажење сигурносних мера
3		Електричне опасности – директни контакт	Делови под напоном Преоптерећење Делови који су под напоном услед квара	Струјни удар Опекотине Пожар Шок	Додир делова под напоном Оштећени каблови Обнова напајања Кратак спој Рад на инсталацији под напоном
4		Електричне опасности – индиректни контакт	Кратак спој Топлотно зрачење Електромагнетне појаве Електростатичке појаве		Погрешно повезивање напајања Неправилно уземљење
5		Термичке опасности(опекотине од контакта са предметима или материјалима са екстремном температуром, пламеном или експлозије и зрачење из извора топлоте)	Материјали са високом температуром Зрачење из извора топлоте Експлозија Пламен Прегревање	Опекотине Повреде од зрачења извора топлоте	Контакт са компресором Рад у близини предмета на високој температури Квар компресора Неисправан сигурносни вентил Прекорачење дозвољеног притиска
6		Бука	Феномен кавитације Систем издувавања Цурење флуида великом брзином Процес рада Покретни делови Неусклађеност покретних делова Неуравнотежено кретање делова Звиждајућа пнеуматика Истрошени делови	Нелагодност Губитак свести Губитак равнотеже Губитак слуха Стрес Тинитус Умор	Отварање и затварање вентила Ход цилиндара Рад компресора Ваздух под притиском
7		Вибрације	Феномен кавитације Неусклађеност покретних делова Неуравнотежено кретање делова Вибрирајућа опрема Истрошени делови	Нелагодност Неуролошки и васкуларни поремећај	Укључење компресора Рад компресора
8		Зрачење	Нејонизујуће зрачење	Главобоља, несаница и др.	Од струјног извора и проводника
9		Материјал/ супстанца	Прашина Запаљиво Експлозивно Гас	Тешкоће са дисањем Гушење Експлозија,	Емисија флуида Пуцање водова

				пожар	
10		Ергономија	Приступ Локација контролних уређаја Напор Држање Понављајућа активност	Неергономски положај радног стола и управљачких и контролних уређаја	Неергономски положај радног стола и управљачких и контролних уређаја

5. ЗАКЉУЧАК

У раду је приказана свеобухватна анализа ризика који се могу јавити при раду са електропнеуматским едукативним сетом. Имајући у виду да је сет намењен лабораторијској настави у циљу развоја вештина студената из области имплементације пнеуматике и електропнеуматике у аутоматизацији производње, значајно је истаћи да ће изложена анализа ризика имати двојаку примену.

Прво, наставно особље ће лабораторијски рад студената организовати и реализовати уз поштовање и примену свих стандарда који подразумевају безбедан рад.

Други, и по својим дугорочним ефектима, посебно значајан аспект јесте да ће ова анализа ризика бити део наставног материјала којим ће започињати лабораторијски рад студената са овим едукационим сетом. На тај начин ће студенти, поред вештина и одговарајућих знања о аутоматизацији производње, развијати изузетно значајне ставове који се односе на ризике и безбедност на раду, што ће их чинити спремнијима за будући рад без обзира на то на којим пословима буду радили.

На основу спроведене анализе ризика може се закључити да правилна примена стандарда, адекватна обука оператера и поштовање безбедносних процедура омогућавају безбедну и ефикасну употребу електропнеуматског едукативног сета. Тиме се остварује пуна корист од примене овог сета у едукативне сврхе у лабораторијским условима, уз минимизовање ризика по здравље људи и сигурност радног окружења.

Извршена је комплетна анализа ризика, укључујући дефинисање ограничења машине, односно електропнеуматског едукативног сета, идентификоване су све опасности и извршена је процена ризика методом идентификације ризика применом образаца, који осим опасности и штетности дефинишу и порекло опасности, као и последице и опасне ситуације или опасне догађаје.

Спроведена анализа ризика електропнеуматског едукативног сета показала је да се, током његове употребе, могу јавити различите врсте опасности и штетности, укључујући механичке, електричне и термичке опасности, као и негативне утицаје буке, вибрација, зрачења и ергономских фактора. Идентификација ових опасности извршена је у складу са релевантним међународним стандардима, чиме је обезбеђен систематичан и свеобухватан приступ процени ризика.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Direktiva o mašinama 2006/42/EC
- [2] Pravilnik o bezbednosti mašina ("Sl. glasnik RS", br. 58/2016).
- [3] ISO 12100-1: Bezbednost mašina - Opšti principi za projektovanje – Ocena rizika i smanjenje rizika
- [4] ISO 14121-1: Bezbednost mašina - Ocena rizika - Deo 1: Principi
- [5] ISO 4414:Pneumatic fluid power — General rules and safety requirements for systems and their components
- [6] John R Etherton: Industrial Machine Systems Risk Assessment: A Critical Review of Concepts and Methods, Risk Analysis, February 2007, ISSN: 0272-

4332, DOI:10.1111/j.1539-6924.2006.00860.x

- [7] H. Li, Y. Sun, S. Adumene, E. Goleiji, M. Yazdi: Machinery safety improvement in manufacturing-oriented facilities: a strategic framework, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Volume 138, pages 4531–4560, (2025).

- [8] Internet izvor: https://www.festo.com/us/en/p/electropneumatics-basic-level-equipment-set-id_PROD_DID_540712/?page=0, Electropneumatics Basic Level – Equipment Set TP 201, pristupljeno 25.12.2025.

- [9] Internet izvor: <https://www.ntuclearninghub.com/en-gb/->

/course/certified-operations-specialist-in-pneumatic-technologies), pristupljeno 25.12.2025.

- [10] Pravilnik o načinu i postupku procene rizika na radnom mestu i u radnoj okolini, Sl. glasnik RS br. 72/2006, 84/2006, 30/2010, 102/2015)
- [11] ISO/TR 14121-2: Safety of machinery — Risk assessment — Part 2: Practical guidance and examples of methods
- [12] SRPS EN ISO 13849-1: Bezbednost mašina - Delovi sistema za upravljanje koji se odnose na bezbednost - Deo 1: Opšti principi za projektovanje
- [13] SRPS ISO 8573-1: Compressed air — Part 1: Contaminants and purity classes

Адреса аутора: Душан Јованић, Висока техничка школа струковних студија у Зрењанину, Ђорђа Стратимировића 23

е-маил: dusan.jovanic@vts-zr.edu.rs

Рад примљен: септембар 2026.

Рад прихваћен: септембар 2026.

Рад је део пројекта “Развој сета дидактичких задатака намењених имплементацији пнеуматике и електропнеуматике у аутоматизацији производње“ из Програма развојноистраживачких пројеката високих школа струковних студија са територије АП Војводине у 2025. год. финансиран од стране Покрајинског секретаријата за високо образовање и научноистраживачку делатност.

PRIMENA INTELIGENTNIH METODA U OPTIMIZACIJI CNC OBRADE I DIGITALNOG PROJEKTOVANJA

APPLICATION OF INTELLIGENT METHODS FOR THE OPTIMIZATION OF CNC MACHINING AND DIGITAL DESIGN

OBRAD ANIČIĆ¹

¹Academy of Applied Technical Studies Politehnika, Belgrade, Serbia

REZIME

U ovom radu analizirana je primena inteligentnih metoda u optimizaciji CNC obrade i digitalnog projektovanja, sa posebnim fokusom na primenu veštačkih neuronskih mreža u predviđanju kvaliteta obrade. Cilj istraživanja bio je razvoj modela koji omogućava optimizaciju tehnoloških parametara na osnovu analize podataka iz procesa obrade rezanjem.

U okviru istraživanja primenjen je višeslojni perceptronski model neuronske mreže koji koristi osnovne tehnološke parametre kao ulazne veličine, dok su kao izlazne veličine analizirani hrapavost obrađene površine i sila rezanja. Dobijeni rezultati pokazali su da primena inteligentnih metoda doprinosi povećanju tačnosti predikcije, stabilnosti procesa i smanjenju greške u odnosu na klasične pristupe.

Ključne reči: CNC obrada, inteligentne metode, neuronske mreže, optimizacija, CAD/CAM, Industrija 4.0.

ABSTRACT

This paper analyzes the application of intelligent methods in CNC machining optimization and digital design, with a particular focus on the use of artificial neural networks for predicting machining quality. The aim of the research was to develop a model that enables the optimization of technological parameters based on the analysis of data from cutting processes. In this study, a multilayer perceptron neural network model was applied, using basic technological parameters as input variables, while surface roughness and cutting force were analyzed as output variables. The obtained results showed that the application of intelligent methods contributes to improved prediction accuracy, process stability, and reduced error compared to classical approaches.

Key words: CNC machining, intelligent methods, neural networks, optimization, CAD/CAM, Industry 4.0.

1. INTRODUCTION

Modern manufacturing industry is based on the application of digital technologies that enable increased productivity, quality, and

efficiency of production processes. CNC machines, CAD/CAM systems, and information systems have enabled a high level of automation and precision in manufacturing [3,6].

However, the selection of technological parameters in CNC machining still represents a complex problem due to the nonlinear relationships between cutting speed, feed rate, depth of cut, tool characteristics, and material properties. Suboptimal machining conditions can lead to increased surface roughness, more intensive tool wear, and higher production costs [1,2].

In contemporary research, intelligent methods are increasingly applied, particularly artificial neural networks, which enable data analysis and prediction of process output characteristics without explicit mathematical models [4,5,7]. Their application enables modeling and optimization of technological parameters based on experimental data, as well as improving the reliability of production process analysis.

The development of CAD/CAM systems and the Industry 4.0 concept have enabled the integration of design, simulation, and manufacturing into a unified digital system, thereby opening the possibility of improving planning and process optimization in the digital design phase [6,8].

The aim of this paper is to analyze the application of intelligent methods in CNC machining optimization and digital design, with a focus on the use of artificial neural networks for predicting surface quality and cutting force based on process technological parameters.

2. APPLICATION OF INTELLIGENT METHODS

2.1. OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS IN CNC MACHINING

The efficiency of CNC machining depends on the proper selection of technological parameters such as cutting speed, feed rate, and depth of cut, which directly influence machining quality and process stability [1,3]. Their interdependence is often nonlinear, which makes classical modeling of the process difficult.

Modern CAD/CAM systems enable the simulation and preparation of machining strategies prior to process execution, thereby reducing errors and increasing the utilization of manufacturing resources [2,6].

Intelligent methods enable the analysis of complex relationships between input and output process parameters, as well as the modeling and estimation of optimal machining conditions based on available data [4,8].

In this study, the influence of cutting speed, feed rate, and depth of cut on machining quality and cutting force was analyzed, with these parameters used as input variables of the developed neural network-based model [3,9].



Figure 1. Influence of technological parameters on the CNC machining process

2.2. APPLICATION OF INTELLIGENT METHODS IN PROCESS ANALYSIS

Intelligent methods, particularly artificial neural networks, enable modeling of nonlinear relationships between process parameters and output characteristics without the need for explicit analytical formulations [4,5].

Neural networks have the ability to learn from experimental data and predict system output variables, which makes them suitable for application in CNC process analysis [4,7].

In this study, a multilayer perceptron (MLP) was used, where input variables were

technological parameters, while output variables were surface roughness and cutting force. The model was trained on experimental data and used for predicting process output characteristics [5,7].

The application of intelligent methods contributes to reducing analysis time and improving the reliability of engineering decision-making based on data [8].

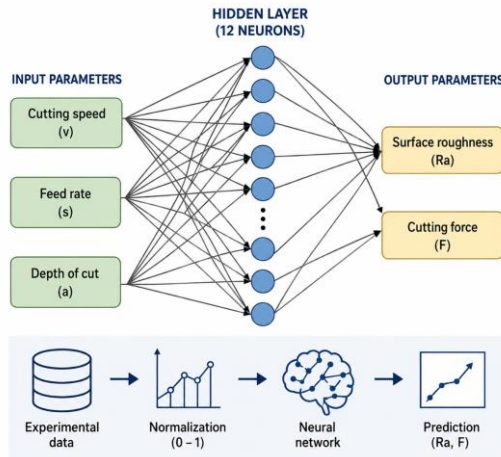


Figure 2. Schematic representation of ANN model application in CNC optimization

2.3. INTEGRATION OF CAD/CAM AND INTELLIGENT METHODS

CAD/CAM systems enable digital design and manufacturing preparation, thereby linking design and CNC machining execution into a unified process [2,6].

The integration of intelligent methods into the CAD/CAM environment enables the analysis of production data and improves the design process through prediction of machining output characteristics [4,5].

This approach enables the estimation of machining quality prior to process execution, contributing to better planning and cost reduction [6,8].

The integration of CAD/CAM, CNC technologies, and intelligent methods represents an important development direction within Industry 4.0, particularly in the field of digital modeling and manufacturing process analysis [7,8,10].

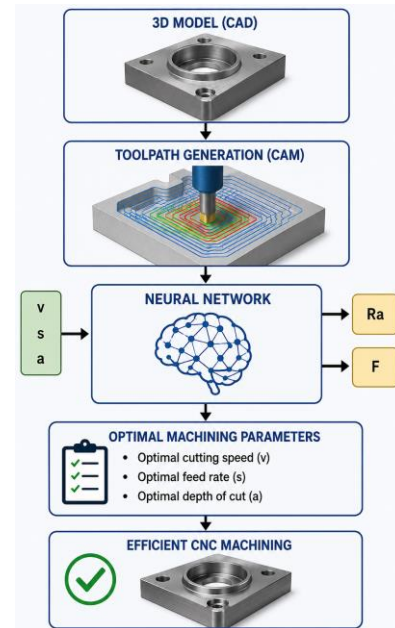


Figure 3. Integration of CAD/CAM systems and intelligent methods in a digital manufacturing environment

3. RESEARCH METHODOLOGY

The research methodology is based on the integration of digital design, experimental CNC machining, and the application of intelligent methods for the analysis and modeling of process technological parameters. The aim of the research was to develop a model that enables the prediction of machining quality based on characteristic process parameters, while reducing the number of experimental tests and increasing the efficiency of technological preparation of production [2,6].

The research was carried out through four interconnected stages: digital design of the workpiece, preparation and execution of CNC machining, processing of experimental data, and development of a model based on an artificial neural network.

The methodology includes design, experimental machining, and modeling phases, where each step is mutually connected and forms the basis for the next phase.

3.1. DIGITAL DESIGN AND CNC MACHINING PREPARATION

In the first phase of the research, a three-dimensional model of the workpiece was created in a CAD environment, followed by technological preparation of production in the CAM module. Tool paths, machining strategy, cutting tool selection, and basic technological parameters were defined. Prior to experimental machining, NC program simulation was performed in order to verify tool path correctness and eliminate possible collisions [2,6].

3.2. EXPERIMENTAL CNC MACHINING

The experimental part of the research was conducted on a three-axis CNC milling machine by machining samples of aluminum alloy Al 6061. The variable parameters were cutting speed, feed rate, and depth of cut, while surface roughness and cutting force were analyzed as output parameters.

For each combination of technological parameters, multiple repetitions of measurements were performed in order to reduce the influence of random deviations and increase the reliability of experimental results. Based on the obtained measurements, a database was formed and used for the development of the neural network (ANN) model [1,3].

3.3. DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT METHOD-BASED MODEL

The collected experimental data were previously processed and normalized to ensure a more stable learning process of the model. The dataset was divided into training, validation, and test sets in a ratio of 70:15:15, which represents a common approach in machine learning model development [4,5].

A multilayer perceptron (MLP) neural network was used for process modeling. The input variables were cutting speed, feed rate,

and depth of cut, while the output variables were surface roughness and cutting force. The training process was carried out using the Adam optimization algorithm, with the objective of minimizing the error between experimental and predicted values [4,5].

3.4. MODEL EVALUATION AND RESULT ANALYSIS

The performance of the developed model was evaluated by comparing experimentally measured and predicted values of the output process characteristics. Standard statistical indicators were used to assess model accuracy: mean absolute error (MAE), root mean square error (RMSE), mean absolute percentage error (MAPE), and coefficient of determination (R^2), which are commonly applied in manufacturing engineering for model evaluation [4,8,10].

The obtained results were used to analyze the applicability of intelligent methods in predicting CNC process output characteristics and to assess their potential in modern digital manufacturing systems.

4. RESEARCH RESULTS

Within the conducted study, the influence of an intelligent model based on an artificial neural network on the prediction of CNC machining output characteristics was analyzed. The results were obtained by comparing experimentally measured values with values predicted by the developed ANN model.

The application of the developed model achieved an improvement in the prediction accuracy of process output variables. The analyzed parameters included machining conditions, surface quality, and cutting force, and the obtained results indicate a high level of agreement between experimental and model-predicted values.

4.1. INPUT TECHNOLOGICAL PARAMETERS

Table 1 presents the input technological parameters used during the experimental research. The selected combinations of cutting speed, feed rate, and depth of cut formed the basis for building the dataset and training the artificial neural network (ANN) model.

Table 1. Input technological parameters of the process

Cutting speed (m/min)	Feed rate (mm/rev)	Depth of cut (mm)
120	0.09	0.60
155	0.13	0.90
185	0.17	1.30
215	0.21	1.70

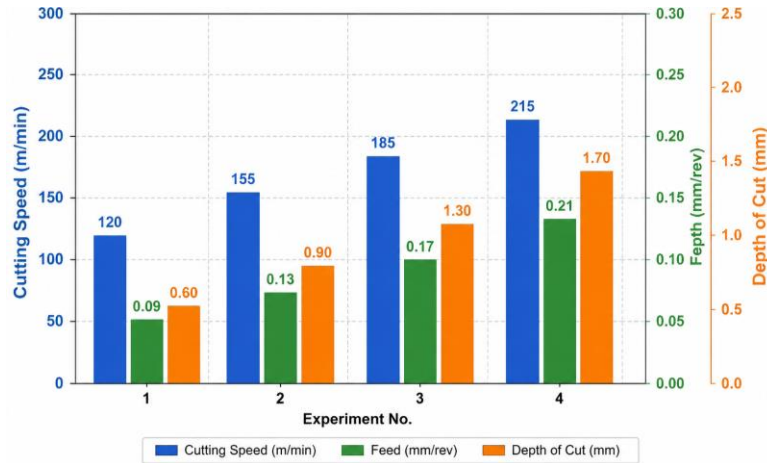


Figure 4. Graphical representation of input technological parameters of the process

With the increase in the experiment number, a gradual increase in all input technological parameters can be observed. Cutting speed increased from 120 to 215 m/min, feed rate from 0.09 to 0.21 mm/rev, and depth of cut from 0.60 to 1.70 mm. Such defined machining conditions enabled the analysis of process parameter influence on machining quality and provided a representative dataset for model development and training.

4.2. EXPERIMENTAL OUTPUT PARAMETERS

Based on the conducted experiments, output process parameters describing machining quality and cutting load were determined. The obtained values are presented in Table 2.

Table 2. Experimentally obtained output parameters

Surface roughness Ra (μm)	Cutting force (N)
0.98	287
1.29	361
1.74	439
2.18	548

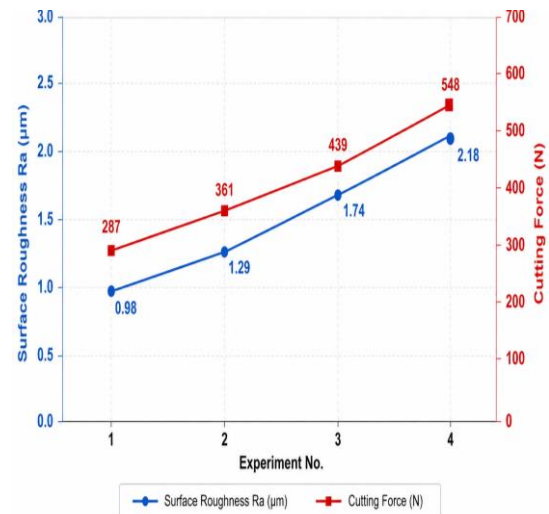


Figure 5. Graphical representation of experimentally obtained output parameters

The results show that an increase in technological parameters leads to an increase in surface roughness and cutting force. Surface roughness increased from 0.98 μm to 2.18 μm , while cutting force increased from 287 N to 548 N. This trend confirms the expected relationship between machining intensity and process load, where higher values of cutting speed, feed rate, and depth of cut lead to increased cutting forces and deterioration of surface quality.

4.3. ANN MODEL VALIDATION

To evaluate the accuracy of the developed model, a comparison between experimentally obtained values and neural network predictions was performed.

Table 3. Comparison of neural network predictions and experimental results

Experimental	ANN	Error (%)
0.98	1.00	2.04
1.29	1.27	1.55
1.74	1.77	1.72
2.18	2.22	1.83

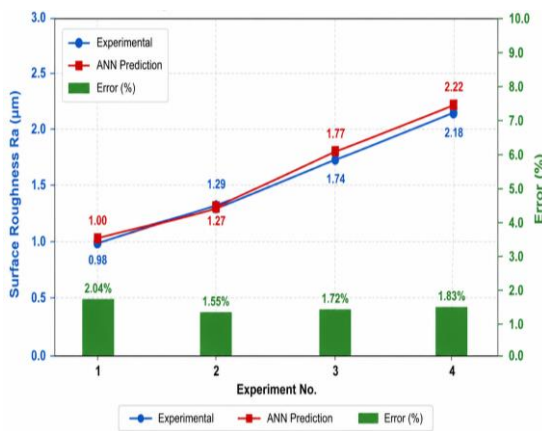


Figure 6. Comparison of experimental and predicted values of the neural network (ANN)

Graphical comparison of experimental and predicted values shows an almost perfect overlap of both curves. The maximum deviation is only 2.04%, while in other cases the errors are below 2%. Such small deviations confirm that the developed model successfully approximates nonlinear relationships between input technological parameters and output surface roughness,

which confirms its applicability in CNC process optimization.

4.4. STATISTICAL MODEL EVALUATION

In order to evaluate the performance of the developed model, standard statistical accuracy indicators were calculated:

- MAE = 0.05 μm
- RMSE = 0.08 μm
- MAPE = 1.79%
- $R^2 = 0.986$

The obtained values confirm a very high accuracy of the developed model. Low MAE, RMSE, and MAPE values indicate minimal deviations between experimental and predicted results, while the coefficient of determination $R^2 = 0.986$ shows that the model explains almost the entire variability of the output data. Based on these indicators, it can be concluded that the developed ANN model exhibits a high level of generalization and represents a reliable tool for predicting CNC machining output characteristics under similar conditions.

5. DISCUSSION OF RESULTS

The obtained results indicate that the application of artificial neural networks in CNC process analysis enables high prediction accuracy of machining output characteristics, primarily surface roughness and cutting force. A high level of agreement between experimental and predicted values confirms that the developed model successfully approximates nonlinear relationships between technological parameters and process output variables.

The improvement in prediction accuracy can be explained by the ability of the neural network to learn from experimental data and identify complex dependencies between input and output process variables, which are difficult to describe using classical analytical methods.

The results show that an increase in technological parameters leads to an increase in cutting force and surface roughness, which is consistent with well-known

theoretical and experimental findings in the field of metal cutting. In this sense, the developed model not only reproduces known relationships but also quantitatively approximates them with high precision.

However, it should be emphasized that the accuracy of the developed model strongly depends on the quality, quantity, and range of experimental data used for neural network training. In addition, model performance is influenced by the representativeness of selected input parameters and machining conditions.

In real industrial environments, additional process variations may occur that are not fully captured in this study, which leaves room for further improvements of the model through expansion of the dataset and application of more advanced neural network architectures.

6. CONCLUSION

This paper analyzed the application of intelligent methods based on artificial neural networks in the optimization of CNC machining processes and digital design. The initial motivation of the research was the need to improve machining quality prediction and to better understand the influence of technological parameters on machining output characteristics.

Within the study, a model based on a multilayer perceptron (MLP) neural network was developed, using basic CNC machining parameters as input variables, while surface roughness and cutting force were considered as output parameters. The model was trained and validated on experimental data obtained under controlled machining conditions of aluminum alloy Al 6061.

The obtained results show a high level of agreement between experimentally measured and model-predicted values, with low error values and a high coefficient of determination. This indicates that the developed model successfully approximates nonlinear relationships between input and output process parameters and can be considered a reliable tool for predicting CNC machining quality.

Based on the conducted analysis, it can be concluded that the application of artificial neural networks contributes to improved understanding of machining processes, increased prediction accuracy, and more efficient selection of technological parameters. The integration of intelligent methods with CAD/CAM systems further opens opportunities for process optimization in the digital design and manufacturing preparation phase.

However, the effectiveness of the developed model strongly depends on the quality and volume of available experimental data, as well as the conditions under which the model was trained. In real industrial environments, additional process variations may occur that are not fully captured in this study.

Future research is recommended to include dataset expansion, the application of more advanced deep learning architectures, and validation of the model in industrial conditions in order to further improve its robustness and applicability.

7. REFERENCES

- [1] Altintas Y., *Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design*, Cambridge University Press, 2012.
- [2] Stephenson D. A., Agapiou J. S., *Metal Cutting Theory and Practice*, CRC Press, 2016.
- [3] Groover M. P., *Automation, Production Systems and Computer-Integrated Manufacturing*, Pearson, 2015.
- [4] Bishop C. M., *Pattern Recognition and Machine Learning*, Springer, 2006.
- [5] Goodfellow I., Bengio Y., Courville A., *Deep Learning*, MIT Press, 2016.
- [6] Suykens J. A. K., Vandewalle J., *Neural Networks in Control Systems*, Springer, 2000.
- [7] Jain A. K., Mao J., Mohiuddin K. M., "Artificial Neural Networks: A Tutorial", *Computer (IEEE)*, 1996.
- [8] ISO 230-1:2012, *Test code for machine tools – Geometric accuracy of machines*

operating under no-load or quasi-static conditions.

- [9] Kalpakjian S., Schmid S. R., *Manufacturing Engineering and Technology*, Pearson, 2014.
- [10] Åström K. J., Murray R. M., *Feedback Systems: An Introduction for Scientists*

and Engineers, Princeton University Press, 2008.

Adresa autora: Obrad Aničić, Academy of Applied
Technical Studies Politehnika, Belgrade, Serbia, 11080
Zemun, Nade Dimić 4, Republic of Serbia
e-mail: oanagic@politehnika.edu.rs
Rad primljen: Septembar 2026.
Rad prihvaćen: Septembar 2026.

CLASSIC AND MODERN IRRIGATION SYSTEMS IN AGRICULTURE AND THEIR APPLICATIONS

KLASIČNI I SAVREMENI SISTEMI ZA NAVODNJAVANJE U POLJOPRIVREDI I NJIHOVE PRIMENE

MIŁORAD RANČIĆ¹

¹Inženjerska akademija Srbije

ABSTRACT

This paper specifies the technical means, methods and systems used in irrigation in the production processes of agricultural crops. From the classic means and systems, channel and irrigation systems, pumps, drop by drop systems, typhons, rain ramps, rain wings, atomizers and sprinklers are selected and presented. Today, modern and achievements such as robots, drones, artificial rains are widely used. The paper also lists some examples of irrigation systems realized and implemented in Serbia. The application of modern scientific achievements the concept precision agriculture and synergy of AI, 3D printing and IoT are the directions of further development.

Key words: irrigation, classic and modern means and systems, synergy modern technological

REZIME

U radu su izloženi tehnička sredstva, metode i sistemi koji se koriste za navodnjavanje u proizvodnim procesima poljoprivrednih proizvoda. Od klasičnih sredstava i Sistema izabrani su i predstavljeni: kanalni zalivni sistemi, pumpe, kap po kap sistemi, tifoni, kišne rampe, kišna krila, prskalice i atomizeri. Danas sve širu primenu imaju i moderna, savremena tehnička dostignuća kao što su to roboti, dronovi, veštačke kiše. U radu su takođe navedenineki primeri sistema za navodnjavanje realizovanih i primenjenih u Srbiji. Primena savremenih naučnih dostignuća u konceptu preciznoe poljoprivrede i sinergija AI, 3D štampe i IoT su pravci budućeg razvoja.

Ključne reči: navodnjavanje, klasična i savremena sredstva i sistemi, sinergija savremenih tehnologija

1. INTRODUCTION

Irrigation is a set of hydrotechnical measures that improve the physical properties of the soil by adding water in order to achieve optimal humidity and thus obtain the highest yields of agricultural crops. It is carried out during the growing

season, especially during the dry seasons. Water is used from watercourses, natural and artificial lakes, springs, wells...According to the way of converting the supplied water in the soil, there are three irrigation methods surface, underground and sprinkling. Archaeological investigations have shown that irrigation of lands was carried out by old

civilizations six centuries before Christ. A network of small canals were used in Mesopotamia, in ancient Egypt the Nile River floods, the ancient Nubians had devices in the form of water wheels. Remains of irrigation canals from the fourth millennium BC were found in South America. Chain pumps made by the Chinese in 250 B.C. there were propelled by people with pedals on pulled by oxen. Today, irrigation of fertile land is carried out all over the world. The percentage of use in Asia is around 60%, in America 20%, in Europe 10% and in Africa only 1%. Climatic changes and occurrence of long-term droughts will increase these percentages very quickly. Level of development of technical means for irrigation is an accordance with today level technical achievements. Furthermore, in addition to current classic devices and systems, modern sophisticated systems that are already arriving will be presented in this work.

2. CLASSIC IRRIGATION SYSTEMS

2.1 CANAL IRRIGATION SYSTEMS

The canal system is the oldest still in use today. Water, mostly from the streams, it is directed using the channel system and leads to those zones that need to be irrigated. Where the terrain configuration allows, the free flow of water is used. Pumps, dams, weirs and culverts are used to overcome the height differences of the terrain.

2.2 IRRIGATION PUMPS

A pump is mechanical device whose task is to transport a fluid (liquid) from a lower level to a higher geodesic level or from an area of low to an area of higher pressure. The energy that the pump delivers to the fluid is obtained from the motor. The first pumps that were created in the third century BC as a source of energy used a man or some draft animals. Today, a steam engine, electric motor, gasoline and diesel engine can be used as an engine. At today, level of

development, there is a large selection of different types of pumps on offer. Their division is done according to several criteria. According to the principle operation, they can be dynamic and volumetric, according to the direction of fluid flow, there are divided into axial and radial. According to the construction of the pump and the impeller, we distinguish piston, gear, screw... In the process irrigation, the pump is the most widely used means today. It is usually used in the form of an aggregate consisting of a common block of pump and drive motor. Pumps driven by electric motors can achieve flows from 2 to 1000 m³ per hour and overcome a height of 150 m. The application of the controller for pumps enables remote control, optimal operation and protection against disturbances.

2.3 DROP BY DROP SYSTEMS

Drop by drop system delivers water directly to the root zone of the plant to be watered. Irrigation is carried out by free fall of water or by means of a pump. The system consists of a network of pipes in which there are drippers, nozzles, sandblasters. Its composition includes the following equipment: pumps, programmers, dripping tapes, filters, dispensers, valves taps, connectors, forks... Some advantages of this system are: the water flow can be regulated for each plant root individually, possibility of programming save water, wide application, low price, long service life...

2.4 UNDERGROUND IRRIGATION

This is irrigation where water and nutrients are delivered directly to the root zone using hoses and pipes buried in the ground. With this irrigation system, there are almost no losses of water and nutrients to evaporation. Water is added to the plants when they need it, so water bodies do not appear.

2.5 TYPHOONS

Typhoon is a mobile system for irrigating large areas in farming, vegetable growing, fruit growing and other areas of agricultural production. The typhoon system consists of the following assemblies: supporting structure, chassis with wheels, large drum, reel on which the hose is wound, polyethylene or rubber hose, length from 100 to 800 m. diameter from 40 to 130 mm, hose for connecting the typhoon and the pump, pump that should provide adequate water flow (from 3 to 130 m³/h) and pressure (from 1,5 to 2,5 bara), pump drive (electric motor, gasoline or diesel engine, tractor engine), mechanical speed reducer, manometers. Typhoon is usually transported to the watering place using a tractor which is most often used to drive the pump. The cannon enables precise and efficient watering by spraying water up to 60 m in diameter. The length of the hose up to 800 m allows a long distance from the water source. The pump ensures maximum water flow and pressure. Instead of a cannon for spraying water, a rain ramp, i.e., rain wings, can be attached to the typhoon.



Figure 1. Pump NSB



Figure 2, Typhoon

2.6 RAIN WINGS, RAIN RAMPS

Rain wings are used in combination with typhoon. They represent a very efficient irrigation system. Energy consumption is significantly reduced because they use a low working pressure of 1,5 to 3 bar. A large number of nozzles are 4 to 6 mm in diameter and they create droplets that cannot damage young plants. The height of the wings is 2,5 to 2,7 m, so that the influence of wind is eliminated. The working reach of the rain wings is in the range of 12 to 96 m. They have several types of adjustable carts, water filters and the ability to turn the wings.

2.7 SPRAYERS

Sprayers are devices that are intended for spraying larger permanent plantations such as vineyards, orchards, olive groves, forests... But it can also be used in other areas of agriculture. The sprayer consists of liquid tank, spray fan, transport wheels, control and regulation devices. If the sprayer has a fan that disperses drops, then it is called atomizer. Sprayers can be carried, trailed and self-propelled. A tractor is most often used to carry sprayers. The sprayer is controlled from the tractor cab: it turns on the main spray valve, regulates the pressure, adjusts the position of the hydraulic booms and more. Trailed sprayers have a supporting structure on which the tank is located and the wheels and drawbar are attached. The self-propelled sprayer has its own drive motor and wheels. It can move on difficult terrains, has a high ground clearance and large tank capacity. A wide range of additional equipment enables top precision and economy. Same basic technical characteristics of sprayers are: motor for movement 175 HP, movement speed up to 40 km/h, liquid tank volume from 100 to 7000 liters, pump capacity to 250 l/min.



Figure 3. Part of system rain ramp

3. MODERN IRRIGATION SYSTEMS

3.1 MODERN TECHNOLOGIES AND PRECISION AGRICULTURE

The development of methods, means and systems for irrigation in agricultural production, today, moves in two directions. One is the modernization and improvement of classic systems and the other is the introduction and improvement of new

modern sophisticated systems. The general development of science and technology and new technical achievements are increasingly presents in this area as well. Development centers and experts are rapidly conquering prototypes of new devices with the application of the latest knowledge from various fields such as: computing, software engineering, electronics, robotics, remote control, sensors, artificial intelligence, satellite navigation.

Table 1. Presents the terms of emergence and application of new technologies in agriculture in the last 30 years.

Year	Innovation	Technology involved	Impact on agriculture
1990	GPS- guided tractor	Precision mechanization	Improved navigation
2000 s	Remote sensing from satellites	Remote sensing	Crop monitoring
2010	Cloud-farm management tools	Data platforms	Decision support
2012-14	Drones for aerial imaging	Image processing	Crop health mapping
2015	IoT-enabled soil sensors	IoT	Site-specific irrigation
2016	AI-powered detection algorithms	AI,Image processing	Proactive crop protection
2017.18	Use of 3D printing for tool	3D printing	Tool and sensor development
2019	LPWAN in rural farm	Wireless networking	Improved long-range sensors
2021	Blockchain in agriculture	IoT, Blockchain	Secure food supply
2023	Integrated AI-IoT-3D printing	AI+IoT+3D printing	Full automation in agriculture

Precision agriculture is a management concept in agriculture that, with the application of modern technical achievement, makes decision on investment optimization in real conditions and with existing resources. It allows monitoring and varying all parameters important for the production process (terrain characteristics, soil moisture, PH value, organic composition, content of chemical elements...) in order to obtain the best results (highest yield, best quality, lowest costs...).

3.2 ROBOTS FOR IRRIGATION

Robots are already widely presents in various agricultural production processes. Their application makes it possible to replace human labor, increase productivity, reduce production costs, precise work, access to of hard-to-reach spaces, continuous work without breaks and rest, etc. The possibilities of their application are divers. They are used during fruit and vegetable harvesting mechanical tillage, precise planting of plants., dusting, fertilizing, irrigation, collection and analyses of soil samples, sorting and packaging of products. It is cited as an example sprayer RH-600LT. Is basic characteristics are: high efficiency, hydraulic system for homogeneous mixing of pesticides and water, pressure and flow regulator, rotation nozzle atomizer, tank volume 600 liters. Robots and robotic systems are being developed in Serbia today in several scientific centers in Belgrade, New Sad and Nish. Several examples of application of developed robotic systems in irrigation processes are highlighted in this paper.



Figure 5. Agro dron



Figure 4. Agricultural robot AgAR
3.4 AGRO DRONES

Agro drones or drones in agricultural are in imported part of modern technological solutions in agricultural production. Their application is becoming wider and more popular. They bring a lot of innovative solutions when tre ating crops and agricultural activities. They have a key role for the development of precision agriculture. Drones use GPS navigation and sophisticated sensors that allow them to fly independently and accurately over crops. Their purpose is multifaceted: crop monitoring, spraying with protective agents, determination of soil conditions on large areas and inaccessible locations, precise application of preparations, etc. Using thermal comeras, drones can accurately determine the level of soil moisture, which is key information for efficient and high-quality irrigation. That is why drones will be can indispensable part of modern irrigation systems in the near futur. It is cited as an example Agro drone XAG P 100 Pro. It is wide possibilities of application in farming, vegetable growing, frut growing, viticulture...Its main characteristics are: tank volume for liquid 60 liters and for granules 80 liters, pump maximum flow 2.2 l/min, doplet size from 60 to 400 microns, working reach up to 10 m.

3.5 ARTIFICIAL RAINS

Artificial precipitation induction is the process by ability of clouds with chemical substances such as silver iodide, potassium iodide, solid carbon dioxide, liquid propane and salts. The presence of these substances in the cloud causes microphysical processes that result in precipitation in the form of rain and snow. Clouds, by the way, consist of tiny water droplets or ice crystals that were formed as result of the cooling of water vapor in the atmosphere and its condensation around dust or salt particles. By seeding the clouds with the mentioned salts, this process is stimulated, the ice crystals become heavy and fall to the ground in the form of rain or snow. Cloud seeding can be done from the using balloons or rockets or from airplanes and drones. Causing the appearance of artificial rain in a certain region is a futuristic method that has already found application in several countries around the world. This method of artificial climate change is currently mainly used for irrigation of arid areas, air purification in large cities and cooling of urban areas. Inducing artificial rains, like any new sophisticated method, is accompanied by some doubts. Negative consequences can affect the ecosystem and climate change in neighboring areas.

4. SAME EXAMPLES OF IMPLEMENTED IRRIGATION SYSTEM IN SERBIA

4.1 DANUBE-TISA-DANUBE CANAL (DTD CANAL)

Today in Serbia there is one large canal system. Canal DTD connects the rivers in the region of Vojvodina. It was built in 1977. The canal has multiple purposes: land irrigation, drainage, water supply, acceptance of other waters. The total length of this canal network is 960 km and irrigation capacity is 510 thousand hectares. Despite the great possibilities of offers, unfortunately, it has not been fully utilized.

4.2 THE FIRST DOMESTIC TYPHOON

In 1992, the zero series of the first domestic typhoons was designed and realized. The participant of this project where Company Tatalovic from Vršac, Higher Technical School from Zrenjanin and Company IMT from New Becej. The typhoon had irrigation range 600 m, pipeline diameter 80 mm, supporting structure with two wheels, mechanical reducer with cardan connection for the tractor engine, pump capacity of 280 liters/min and pressure of 2 bars. The zero series of this typhoon was sold on the Serbian market.

4.3 SOLAR WATER PUMP

In 1988, experts from the then Institute of Mechanical Engineering at the Technical Faculty in Zrenjanin worked on a project for solar irrigation pump. Prototype model development and testing of pump characteristics were performed in the Institutes laboratories. The pumps 100 w electric motor was powered by solar power plant. the pump had a capacity of 20 liters/min.

4.4 PRODUCTION OF DROP BY DROP SYSTEMS

Given that the production of the elements of the system is relatively simple and at a lower technological level, a large number of producers have appeared in Serbia to date. This program is particularly interesting for small businesses. In one period, an entrepreneur from the place of Ecka near city Zrenjanin was also present on the market. The company Metalplast from city Knjazevac stands out as a manufacturer today.

4.5 MODERN INTEGRATED DROP BY DROP SYSTEM

In place Banatsko Karadordevo near city Zrenjanin a modern integrated complex drop

by drop system operates. He irrigates plantation of hazelnuts on 17 hectares. Water for watering is obtained wells using pumps with electric motors. The necessary electricity is obtained from a solar panels are spherical in shape and are controlled by servo devices. Based on the coordinates of the Sun from satellite, the servo devices rotate the solar panels, which thus follow the path of the Sun during the day. In this way, maximum utilization of solar radiation is obtained.

4.6 REMOTE IRRIGATION MANAGEMENT

The Remote irrigation management project was implemented by the Mihajlo Pupin Institute from Belgrade. It is intended for optimal management of water, soil and energy. The complex system has been implemented by several large domestic agricultural producers.

4.7 MOBILE ROBOTIZED SOLAR POWER GENERATOR FOR IRRIGATION

The Technology Transfer Center at University of Belgrade has developed a Mobile robotized solar power generator for irrigation. This complex system has a power of 3,5 kw, can be transported on a trailer and is intended for irrigation.

4.8 UNIVERSAL AGRICULTURAL ROBOT AGAR

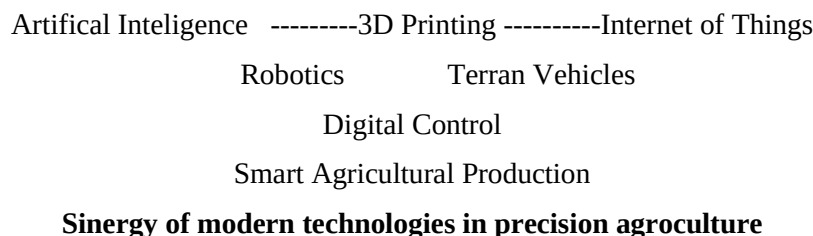
The Company Coming Computer Engineering from Nis and Faculty of Mechanical Engineering from Nis developed the Universal Agricultural Robot – AgAR. The project was declared the best regional innovation. The purpose of this robot is to replace human work in various jobs in the fields such as irrigation, spraying, planting, fertilizing, weeding. The robot is in the phase of experimental testing.



Figure 6. Artificial rain

5. FUTURE DEVELOPMENT DIRECTIONS

The development of irrigation systems in the future is part of the great affirmation of precision agriculture and synergy of modern technologies. The synergy of three modern scientific fields: artificial intelligence (AI), 3D Printing and Internet of Things (IoT) with application of robotic and remotely controlled machines leads us to total automation, that is to smart agricultural production.



6. CONCLUSION

In this work, a selection of the most important means used irrigation processes was made. Devices and systems from the simplest channels to modern sophisticated robotic and artificial rain presented. In addition to being applied to achieve optimal soil moisture they can also be used to improve its quality, feed and protect plants and more. With the arrival of climate changes and appearance of long-term droughts, the development and application of these means and systems becomes extremely important.

7. REFERENCES

- [1] Mobilni robotizovani solarni generator za navodnjavanje, www.ctt.bg.ac.rs, April 2026.
- [2] Smart watering, www.smartwatering, April 2026.

- [3] Daljinsko upravljanje navodnjavanjem, www.pupin.rs, April 2026.
- [4] Beopumpe, pumpe, www.beopumpe.rs, April 2026.
- [5] Agrodronovi, www.dronovi.rs, April 2026.
- [6] Šta donose dronovi u poljoprivredi, www.agrosmart.rs, April 2026.
- [7] M.Rančić, TECHNICAL MEANS AND SYSTEMS FOR IRRIGATION, EEM, VTŠSS, Zrenjanin, 2025.
- [8] M. Padhiary, Integrating 3D printing, IoT, AI for precision agriculture, www.researchgate.net, April 2026.

Adresa autora: Dr Milorad Rancic, profesor,
Inženjerska akademija Srbije

e-mail: milorad.rancic@diz.org.rs

Rad primljen: septembar 2026.

Rad prihvaćen: septembar 2026.



Научно-стручни часопис
Scientific-profesional journal

Година XXXII, Број 46, септембар 2026. год.
Year XXXII, Issue 46, September 2026. year

ЕНЕРГЕТИКА

Одговорни уредник:

Проф. др Јасмина Пекез
Технички факултет “Михајло Пупин”
Зрењанин

Редакцијски одбор:

Проф. др Будимирка Мариновић
Факултет за производњу и менаџмент,
Требиње
Универзитет у Источном Сарајеву

Проф. др Марина Карић
Академија струковних студија Шумадија
Одсек Трстеник

Редакција:

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

ПОТЕНЦИЈАЛ ФОТОНАПОНСКИХ СИСТЕМА ЗА УНАПРЕЂЕЊЕ ЕНЕРГЕТСКЕ ЕФИКАСНОСТИ ПОЉОПРИВРЕДНИХ ГАЗДИНСТАВА СРЕДЊОБАНАТСКОГ ОКРУГА

POTENTIAL OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS FOR IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF AGRICULTURAL HOLDINGS IN THE CENTRAL BANAT DISTRICT

МИОДРАГ КОВАЧЕВИЋ¹
МИЛАДА НОВАКОВИЋ¹
ТАМАРА МИЛИЋ¹
ДРАГАН ХАЛАС¹

¹ Висока техничка школа струковних студија у Зрењанину

РЕЗИМЕ

Циљ рада је сагледавање начина коришћења енергије, заступљености обновљивих извора енергије (ОИЕ) и потенцијала примене фотонапонских (ФН) система на пољопривредним газдинствима Средњобанатског округа. Анкета је спроведена од априла до јуна 2026. Године на пригодном узорку: упитник је послат на 110 адреса газдинстава за која је истраживачком тиму било познато да се активно баве пољопривредном производњом, а добијено је 20 одговора (стопа одговора 18,2%). ОИЕ користи 5 од 20 газдинстава (25%), док у енергетској структури диминирају дизел гориво (70%) и електрична енергија (65%). Индикативна примена техно-економског модела ФН система на структуру узорка показује потенцијал од око 276 kWp, годишњу производњу од око 331 MWh и смањење емисије CO₂ за око 204 t, уз рок поврата инвестиције од 2,4 до 7,5 година, у зависности од зоне потрошње. Две студије случаја показују различит степен покривености потрошње ФН енергијом и

значај усклађивања величине система са профилем потрошње.

Кључне речи: ОИЕ, енергетска ефикасност, пољопривредна газдинства, соларна енергија, фотонапонски системи, студија случаја

ABSTRACT

This paper examines energy use, the adoption of renewable energy resources (RES), and the potential of photovoltaic (PV) systems on agricultural holdings in the Central Banat District. The survey was conducted from April to June 2026 using a convenience sample: questionnaires were sent to 110 holdings known to the research team as actively engaged in agricultural production and 20 responses were received (18.2% response rate). RES are used by 5 of 20 holdings (25%), while diesel fuel (70%) and electricity (65%) dominate the energy mix. An indicative application of a techno-economic PV model to the sample structure gives a potential of about 276 kWp, annual production of about 331 MWh, and an estimated CO₂

reduction of about 204 t, with a payback period of 2.4-7.5 years depending on the electricity consumption zone. Two case studies illustrate different levels of PV coverage and the importance of matching system size to the farm load profile.

Key words: RES, energy efficiency, agricultural holdings, solar energy, photovoltaic systems, case study

1. УВОД

Пољопривредна производња је енергетски интензивна због употребе механизације, наводњавања, сушења, хлађења и других технолошких процеса. Раст цена енергије и потреба за смањењем емисија повећавају значај енергетске ефикасности и сопствене производње енергије из ОИЕ [1-6]. Посебно су значајни ФН системи, јер се летњи максимум производње временски поклапа са повећаним потребама за наводњавањем и хлађењем.

Средњобанатски округ има изражен пољопривредни карактер. Према подацима Управе за аграрна плаћања, 8.6.2026. године је било регистровано 15.644 пољопривредна газдинства, од којих 14.577 са активним статусом [7]. Због тога је рационализација потрошње енергије и процена могућности локалне примене ОИЕ релевантна и са економског и са еколошког становишта.

Циљ истраживања је да се повежу три нивоа анализе: резултати анкете о структури и енергетским навикама газдинстава, индикативни техно-економски модели ОИЕ развијени у оквиру истог пројекта [8] и две студије случаја газдинстава са ФН системима. На тај начин анкетни налази се допуњују стварним подацима о производњи и потрошњи електричне енергије.

2. ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ У ПОЉОПРИВРЕДИ

Директна потрошња енергије на газдинству обухвата електричну енергију и горива за механизацију, транспорт, наводњавање, грејање, хлађење, сушење и

складиштење [5, 9]. Мере унапређења енергетске ефикасности зато обухватају ефикаснију механизацију и пумпне системе, оптимизацију сушења и складиштења, праћење потрошње и боље управљање временом рада потрошача [10, 11].

ОИЕ могу истовремено да смање зависност од мрежне електричне енергије и фосилних горива. У пољопривреди су посебно релевантни ФН системи за сопствену потрошњу и наводњавање, биомаса из жетвених остатака за топлотне потребе и биогаз на већим сточарским фармама [6, 12-15]. За ФН системе је повољна сезонска подударност производње са летњим оптерећењима, али економски ефекат зависи од стварног профила потрошње, цене замењене енергије и могућности да се произведена енергија утроши на самом газдинству.

3. МЕТОДОЛОГИЈА

Истраживање је реализовано у оквиру развојно-истраживачког пројекта под називом „Унапређење енергетске ефикасности пољопривредних газдинстава на подручју Средњобанатског округа“. Анкетирање је спроведено од априла до јуна 2026. године. Коришћен је пригодни узорак: електронски упитник је послат на 110 адреса газдинстава са територије округа за која је истраживачком тиму било познато да се активно баве пољопривредном производњом, а добијено је 20 одговора (18,2%). Упитник је имао 25 питања у пет тематских целина и дистрибуиран је преко Google Forms платформе. Подаци су обрађени дескриптивном статистиком.

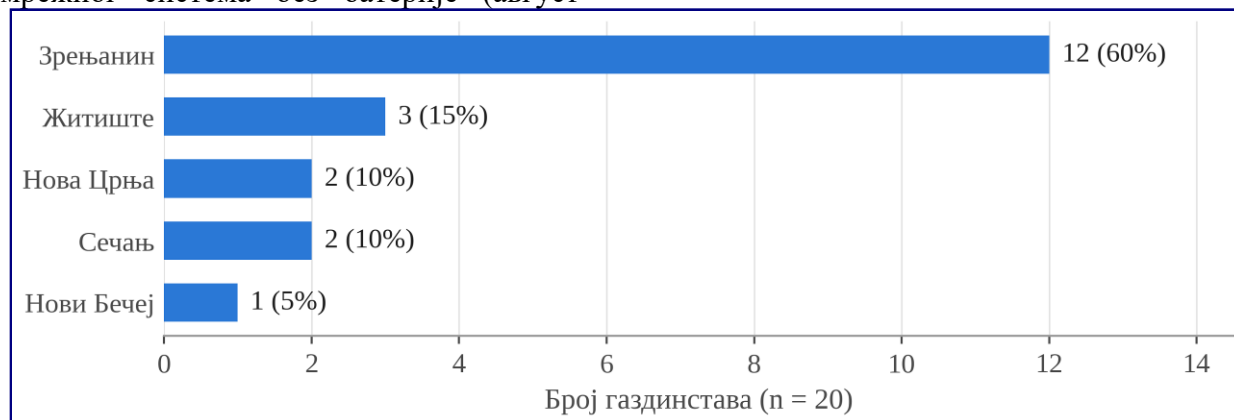
Поред анкете, примење су три модела ОИЕ развијена у истом пројекту [8]: ФН електрана за сопствену потрошњу и погон пумпи, котао на биомасу и мало бигасно постројење. Економска оцена је заснована на LCOE, простом року поврата (PBT) и дисконтованом року поврата (DPBT), уз дисконтну стопу од 6% [16]. За ФН систем коришћене су важеће зоне и цене електричне енергије [17, 18], акциза и ПДВ, као и курс НБС [19]. Смањење емисија је процењено фактором 0,615 t CO₂/MWh за електроенергетски систем Србије [20] и факторима горива из [21].

Студије случаја су засноване на месечним и дневним извештајима платформи за надзор два ФН система: мрежног система без батерије (август

2025. и 2026.) и хибридног система са батеријом (август 2026.). Анализа је ограничена на податке који су били доступни у извозима и графицима платформи; технички параметри који нису били документовани нису накнадно претпостављени. Вредности очитане са дневних дијаграма имају приближан карактер.

4. РЕЗУЛТАТИ АНКЕТНОГ ИСТРАЖИВАЊА

Анкету је попунило 20 газдинстава. Њихова територијална расподела је приказана на Слици 1, а основне карактеристике у Табели 1.



Слика 1. Заступљеност газдинстава према општинама
(извор: анкетно истраживање аутора)

На основу Сlike 1 може се уочити да се највећи број анкетираних пољопривредних газдинстава налази на територији града Зрењанина (60%),

затим у Житишту (15%), Новој Црњи и Сечању (по 10%), док је најмањи број газдинстава са територије Новог Бечеја (5%).

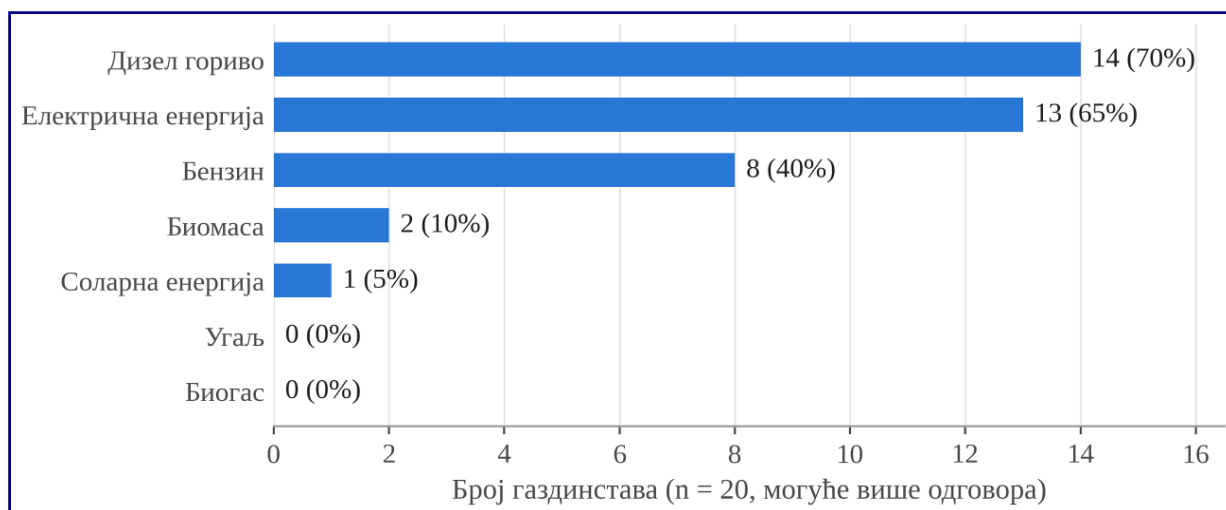
Табела 1. Основне карактеристике газдинстава

	Категорија	Укупно газдинстава	Процентуална вредност
Површина газдинства	< 6 ha	11	55 %
	6 - 10 ha	3	15 %
	11 - 50 ha	4	20 %
	51 - 100 ha	1	5 %
	101 - 200 ha	1	5 %
	Категорија	Укупно газдинстава	Процентуална вредност
Основна делатност*	Ратарство	14	70 %
	Сточарство	5	25 %
	Воћарство	4	20 %
	Пчеларство	4	20 %
	Остало	2	10 %

*У анкети је било могуће означити више делатности, због чега збир процентуалних вредности прелази 100 %. Извор: анкетно истраживање аутора.

У узорку преовлађују мала газдинства: 55% има мање од 6ha, док је

ратарство најчешће наведена делатност (70%).

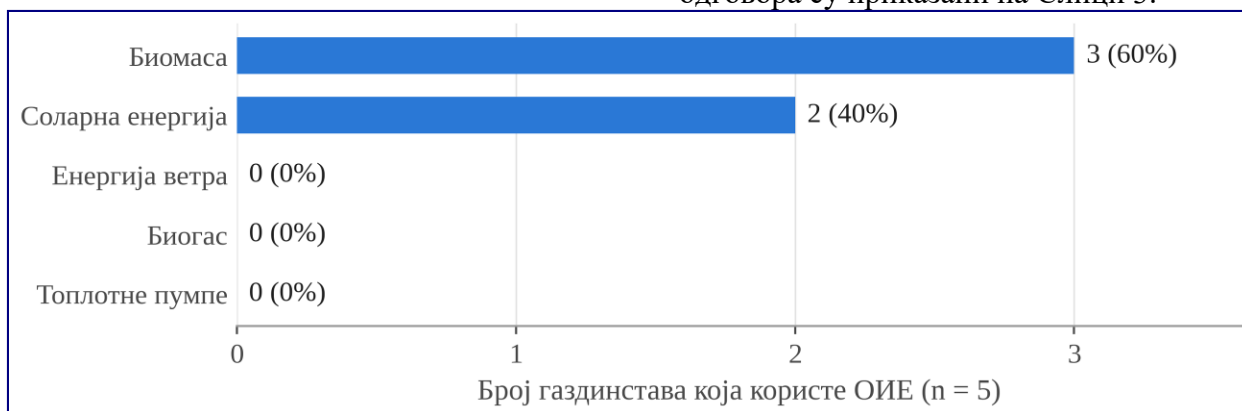


Слика 2. Заступљеност енергената (извор: анкетно истраживање аутора)

Слика 2 приказује одговоре на питање 13, везано за енергенте који се најчешће користе у пољопривредним газдинствима. Најзаступљенији су дизел гориво (70%) и електрична енергија

(65%), затим бензин (40%), биомаса (10%) и соларна енергија (5%).

Примена ОИЕ је проверена питањима 20 и 21, где су се испитаници изјаснили које конкретне ОИЕ користе. Резултати тих одговора су приказани на Сlici 3.



Слика 3. Примена обновљивих извора енергије (извор: анкетно истраживање аутора)

5. ДИСКУСИЈА И ПРИМЕНА МОДЕЛА ОИЕ

Анкетни резултати показују ниску тренутну примену ОИЕ, али релативно високу спремност за будућа улагања. Зато су модели из [8] коришћени као сценарији за процену техничко-економског потенцијала, а не као модели калибрисани на стварне профиле потрошње сваког анкетираног газдинства.

5.1. МОДЕЛИ ИНТЕГРАЦИЈЕ ОИЕ

Табела 2 упоређује ФН систем, котао на биомасу и мало биогасно постројење. Улазни параметри потичу из [8], док су LCOE, DPBT и емисиони ефекти у овом раду прерачунати уз јединствене претпоставке описане у методологији.

Табела 2. Техно-економски показатељи модела ОИЕ (улазни подаци према [8])

Показатељ	Модел 1: ФН електрана	Модел 2: котао на биомасу	Модел 3: биогазно постројење
Инсталисана снага	50 kW _p	250 kW	100 kW _{el}
Намена	Ел. енергија за пумпе и сопствену потрошњу	Топлотна енергија за сушење и грејање	Когенерација (ел. и топлотна енергија)
Почетна инвестиција	38.000 €	35.000 €	450.000 €
Трошкови одржавања	500 €/год.	1.200 €/год.	22.000 €/год.
Годишња производња	60 MWh ел.	200 MWh топл.	780 MWh ел. + 800 MWh топл.
Век трајања	25 год.	15 год.	20 год.
LCOE	0,058 €/kWh	0,028–0,030 €/kWh	0,079 €/kWh ел. ¹
PBT / DPBT	2,4–7,5 / 2,6–10,3 год. ²	2,8 / 3,2 год.	6,5 / 8,5 год.
Смањење емисија CO ₂	≈ 37 t/год.	≈ 50–66 t/год. ³	≈ 480 t/год. ⁴
Минимални услови примене	Кровна или слободна површина ≈ 300 m ²	Сушара или објекти за грејање; ≈ 58 t сламе годишње (≈ 30 ha стрних жита)	≈ 15.500 t течног стајњака годишње (≈ 750–800 условних грла)

¹ Без трошка стајњака. ² За ФН модел распон PBT/DPBT одговара зеленој, плавој и црвеној зони потрошње према [17][18]. ³ У зависности од замењеног горива. ⁴ Само замена електричне енергије из мреже. PBT за моделе 2 и 3 преузет је из [8], а DPBT и LCOE су прерачунати за $r = 6\%$.

5.2. СТУДИЈА СЛУЧАЈА 1

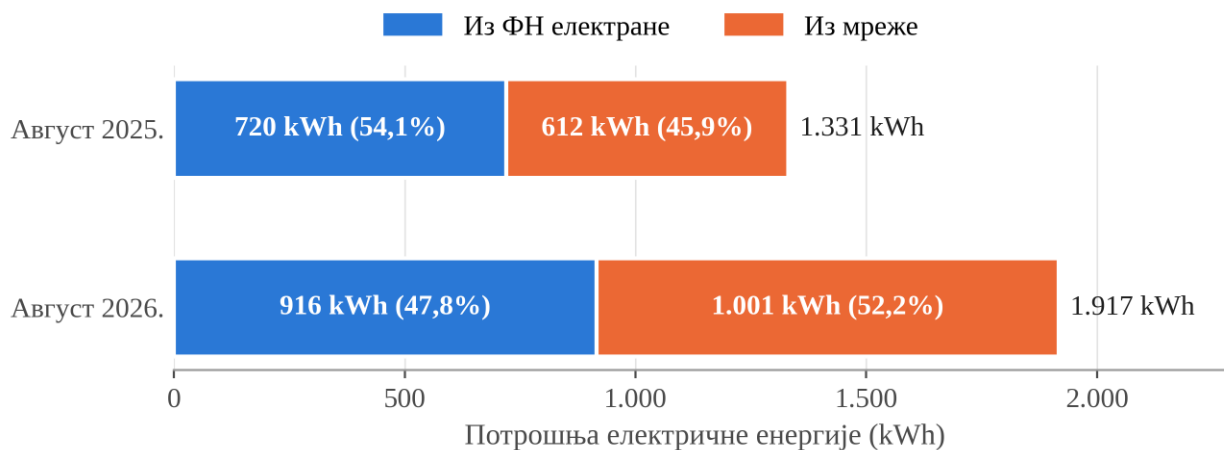
За Студију случаја 1 анализирани су подаци платформе за надзор мрежног ФН система без батерије на газдинству које се бави сточарством и прерадом меса и млека, за август 2025. и август 2026. године. Доступни извоз није садржао

поуздан података о инсталисаној снази, површини и микролокацији газдинстава нити ознаку узрока међугодишњих промена, па су резултати тумачени искључиво на основу измерене производње и потрошње (Табела 3 и Слика 4).

Табела 3. Упоредни показатељи ФН система газдинства из Студије случаја 1

Показатељ	Август 2025.	Август 2026.	Промена
Производња ФН електране (kWh)	719,61	915,82	+196,21 (+27,3%)
Утрошено на газдинству (kWh)	719,60	915,81	+196,21 (+27,3%)
Предато у мрежу (kWh)	0,01	0,01	0
Укупна потрошња (kWh)	1.331,12	1.916,72*	+585,60 (+44,0%)
Потрошња из ФН електране (kWh / %)	719,60 / 54,06%	915,81 / 47,78%	−6,28 п.п.
Потрошња из мреже (kWh / %)	611,52 / 45,94%	1.000,91* / 52,22%	+389,39 (+63,7%)
Просечна дневна производња (kWh/дан)	23,2	29,5	+6,3
Просечна дневна потрошња (kWh/дан)	42,9	61,8	+18,9
Избегнута емисија CO ₂ (t)	0,44	0,56	+0,12
Највиша зона потрошње без ФН / са ФН	црвена / плава	црвена / плава	—
Уштеда на рачуну (RSD)	13.196	25.922	+12.726 (+96,4%)
Уштеда на рачуну (€)	112,3	220,6	+108,3

* Платформа приказује заокружене вредности (1,92 MWh и 1,00 MWh); наведене вредности израчунате су из учешћа потрошње из мреже од 52,22%. Избегнута емисија израчуната је уз емисиони фактор од 0,615 t CO₂/MWh [20], а уштеда према изразима (2) и (3) и ценама из Табеле 2 (исти ценовник за оба периода, ради поређења). Извор: платформа за надзор ФН система газдинства, обрада аутора.



Слика 4. Структура потрошње електричне енергије газдинства из Студије случаја 1 (извор: обрада аутора на основу података платформе за надзор)

Практично сва произведена ФН енергија је утрошена на газдинству. Производња је повећана за 27,3%, али је укупна потрошња порасла за 44,0%, па је учешће ФН енергије смањено са 54,06% на 47,78%, а преузимање из мреже повећано са 611,52 на око 1.001kWh.

Процењена уштеда је порасла са 13.196 на 25.922 рсд. Пошто нису доступни метеоролошки подаци, дневни профили свих потрошача и евиденција евентуалних измена система, узрок раста производње и потрошње не може се

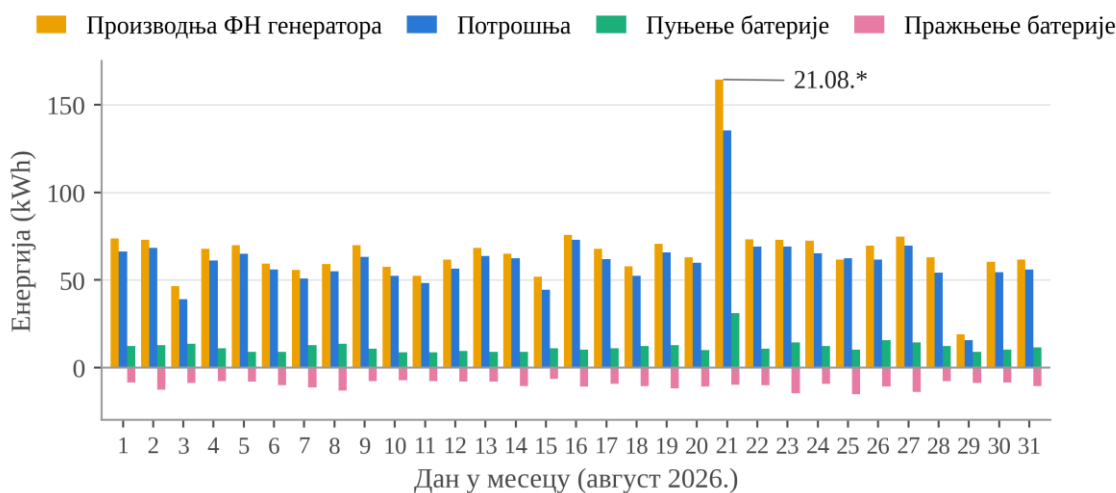
поуздано издвојити; поређење је из тог разолога дескриптивно.

5.2. СТУДИЈА СЛУЧАЈА 2

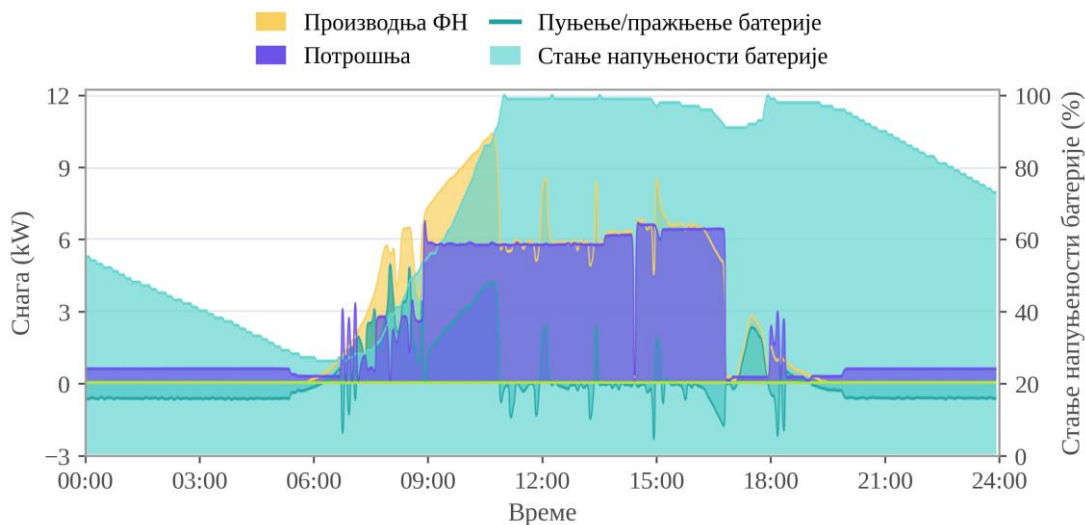
Студија случаја 2 обухвата газдинство мешовите производње – овчарство и засад шљиве на 6 ha – са хибридним ФН системом и батеријским складиштем. Анализирани су месечни подаци за август 2026. и дневни профил за 21. август. Извоз којим се располагало није садржао поуздане називне вредности снаге ФН генератора и капацитета батерије нити

микролокацију, па ти параметри нису накнадно процењивани.

У августу је потрошено 1.876,50 kWh, без преузимања и предаје електричне енергије мрежи. Дневне вредности са Сlike 5 и снаге/стање напуњености са Сlike 6 су очитане са дијаграма платформе и приближне су. На дневном профулу се од око 9:00 до 16:40 види оптерећење 5,8-6,4 kW које се временски поклапа са периодом наводњавања, али без мерења на нивоу појединачног уређаја није оправдано читаво оптерећење недвосмислено приписати само пумпи.



Слика 5. Дневна производња ФН генератора, потрошња и рад батерије газдинства из Студије случаја 2, август 2026. (извор: вредности очитане са дијаграма платформе за надзор, обрада аутора; * максимална вредност за 21.08.2026. године)



Слика 6. Дијаграм снага и стања напуњености батерије газдинства из Студије случаја 2, 21.08.2026. (извор: платформа за надзор, осе и легенда преведени)

Табела 4. Поређење Студија случаја 1 и 2 за август 2026. године

Показатељ	Студија случаја 1	Студија случаја 2
Делатност газдинства	Сточарство, прерада меса и млека	Овчарство и воћарство (шљива, 6 ha)
Тип ФН система	Мрежни, без батерије	Хибридни, са батеријским складиштем
Укупна потрошња (kWh)	1.916,72	1.876,50
Просечна дневна потрошња (kWh/дан)	61,8	60,5
Покривеност потрошње из ФН система (%)	47,78	100,00
Преузето из мреже (kWh)	1.000,91	0,00
Предато у мрежу (kWh)	0,01	0,00
Избегнута емисија CO ₂ (t)	0,56	1,15
Највиша зона потрошње без ФН / са ФН	црвена / плава	црвена / без преузимања
Уштеда на рачуну (RSD / €)	25.922 / 220,6	38.942 / 331,5

Избегнута емисија израчуната је уз емисиони фактор од 0,615 t CO₂/MWh [20]. Извор: платформе за надзор ФН система газдинства, обрада аутора

Поређење у Табели 4 показује да газдинства сличне месечне потрошње (око 1,9 MWh) могу имати веома различиту зависност од мреже. Батерија у студији случаја 2 омогућава померање дела дневне производње у вечерње и ноћне сате. При томе, неслагање између месечног збира платформе и интеграције дневног графика за 21. август показује да Сliku 6 треба користити за тумачење профила рада, а не као основу за прецизан дневни енергетски биланс.

5.4. ИНДИКАТИВНА ПРИМЕНА НА УЗОРАК

Пошто анкета није прикупљала стварне годишње профиле потрошње, снаге ФН система по величинским класама (6, 10, 20 и 50 kWp) представљају сценаријску претпоставку, а не вредности изведене из мерења. За индикативни прорачун задржани су параметри из [8]: 760 €/kWp инвестиције, 1.200 kWh/kWp годишње производње и 10 €/kWp годишњег одржавања. Резултати су приказани у Табели 5.

Табела 5. Индикативни потенцијал примене ФН модела на анкетираним газдинствима

Површи на газдинства	Број газд.	Снага по газд. (kWp)	Укупна снага (kWp)	Производња (MWh/год.)	Инвестиција (€)	Нето уштеда (€/год.) зелена / плава / црвена	Смањење CO ₂ (t/год.)
< 6 ha	11	6	66	79,2	50.160	6.655 / 10.313 / 21.286	48,7
6–10 ha	3	10	30	36,0	22.800	3.025 / 4.688 / 9.675	22,1
11–50 ha	4	20	80	96,0	60.800	8.067 / 12.501 / 25.801	59,0
51–200 ha	2	50	100	120,0	76.000	10.084 / 15.626 / 32.251	73,8
Укупно	20	–	276	331,2	209.760	27.831 / 43.127 / 89.014	203,7

За све класе: LCOE = 0,058 €/kWh; PBT/DPBT = 7,5/10,3 год. (зелена), 4,9/5,9 год. (плава) и 2,4/2,6 год. (црвена зона). Укупно: 276 kWp, 331,2 MWh/год. и око 203,7 t CO₂ мање. Резултати су индикативни и захтевају проверу на основу стварне потрошње сваког газдинства.

5.5. ОСТАЛИ МОДЕЛИ ОИЕ

Према условима из [8], котао на биомасу захтева расположиве жетвене остатке и постојање сушаре или топлотног оптерећења, док биогазно постројење од 100 kW_{el} захтева количине стајњака које превазилазе капацитет појединачних газдинстава у узорку. Зато су за овај узорак релевантнији ФН системи, док би биомаса и биогаз захтевали додатну проверу ресурса и, код биогаза, могуће заједничко улагање више газдинстава.

6. ЗАКЉУЧАК

Анкетно истраживање на 20 газдинстава показује доминацију дизел горива (70%) и електричне енергије (65%), док се само пет испитаника (25%) у посебном питању изјаснило да користи ОИЕ. Узорком доминирају газдинства, мања од 6 ha, а 65% испитаника планира или разматра улагања у енергетску ефикасност. Пошто је узорак пригодни и стопа одговора 18,2%, резултате треба тумачити као опис испитаних газдинстава.

Индикативни сценарио примене ФН система даје укупни потенцијал од око 276 kW_p, производњу од око 331 MWh годишње и смањење емисија од око 204 t CO₂, уз рок поврата од 2,4 до 7,5 година у зависности од зоне потрошње. Студије случаја додатно показују да економски и енергетски ефекат не зависи само од инсталисане технологије, већ и од односа производње и профила потрошње, као и од могућности складиштења енергије.

За поузданије димензионисање ФН система потребно је у наредној фази прикупити годишње и дневне профиле потрошње, техничке податке постојећих система и податке о наводњавању, сушењу и другим великим потрошачима. Већи и стратификован узорак омогућио би и прецизнију процену потенцијала ОИЕ на нивоу Средњобанатског округа.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Dimitrijević A., Gavrilović M., Ivanović S., Mileusnić Z., Miodragović R., Todorović S., Energy Use and Economic Analysis of Fertilizer Use in Wheat and Sugar Beet Production in Serbia, *Energies*, Vol. 13, No. 9, MDPI, Basel, Switzerland, 2020, Article 2361. DOI: 10.3390/en13092361.
- [2] Abrishambaf O., Faria P., Vale Z., Corchado J.M., Energy Scheduling Using Decision Trees and Emulation: Agriculture Irrigation with Run-of-the-River Hydroelectricity and a PV Case Study, *Energies*, Vol. 12, No. 20, MDPI, Basel, Switzerland, 2019, Article 3987. DOI: 10.3390/en12203987.
- [3] Sulewski P., Waś A., Agriculture as Energy Prosumer: Review of Problems, Challenges, and Opportunities, *Energies*, Vol. 17, No. 24, MDPI, Basel, Switzerland, 2024, Article 6447. DOI: 10.3390/en17246447.
- [4] Kargwal R., Yadvika, Kumar A., Garg M. K., Chanakaewsomboon I., A review on global energy use patterns in major crop production systems, *Environmental Science: Advances*, Vol. 1, No. 5, Royal Society of Chemistry, Cambridge, United Kingdom, 2022, pp. 662-679. DOI: 10.1039/D2VA00126H.
- [5] Paris B., Vadorou F., Balafoutis A.T., Vaiopoulos K., Kyriakarakos G., Manolakis D., Papadakis G., Energy use in open-field agriculture in the EU: A critical review recommending energy efficiency measures and renewable energy sources adoption, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 158, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 2022, Article 112098. DOI: 10.1016/j.rser.2022.112098.
- [6] Majeed Y., Khan M. U., Waseem M., Zahid U., Mahmood F., Majeed F., Sultan M., Raza A., Renewable energy as an alternative source for energy management in agriculture, *Energy Reports*, Vol. 10, Elsevier, Amsterdam,

- The Netherlands, 2023, pp. 344-359. DOI: 10.1016/j.egy.2023.06.032.
- [7] Управа за аграрна плаћања, РПГ – број свих регистрованих пољопривредних газдинстава / активна газдинства, Портал отворених података Републике Србије, Београд, Србија, 2026. Доступно на: <https://data.gov.rs/sr/datasets/rpg-broj-svikh-registrovanikh-poljoprivrednikh-gazdinstava-aktivna-gazdinstva/> (приступљено 4. септембра 2026).
- [8] Kovačević M., Lazić M., Models for Improving Energy Efficiency in Agricultural Farms in the Central Banat District by Using Renewable Energy Sources, ISCEEE 2026, Novi Sad, Serbia, 29–30. October 2026 (Прихваћено за публикацију).
- [9] Gołaszewski J., de Visser C., Brodziński Z., Myhan R., Olba-Zięty E., Stolarski M., de Buisson F., Ellen H., Stanghellini C., van der Voort M., Baptista F., Silva L.L., Murcho D., Meyer-Aurich A., Ziegler T., Ahokas J., Jokiniemi T., Mikkola H., Rajaniemi M., Balafoutis A., Briassoulis D., Mistriotis A., Panagakis P., Papadakis G., State of the Art on Energy Efficiency in Agriculture: Country Data on Energy Consumption in Different Agro-Production Sectors in the European Countries, Project Deliverable 2.1, Agriculture and Energy Efficiency (agrEE), Athens, Greece, 2012.
- [10] Sims R.E.H., Energy-Smart Food for People and Climate, Issue Paper, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy, 2011.
- [11] de Visser C.L.M., de Buisson F.E., Ellen H.H., Stanghellini C., van der Voort M.P.J., Energy Savings Measures in Agriculture - Overview on the Basis of National Reports, Deliverable 2.3, FP7 Program of the European Union, 2012, 43 p. Доступно на: <https://edepot.wur.nl/296527>.
- [12] Wąs A., Lisowski A., Szymańska M., Sosulski T., Trząski A., Sulewski P., Jurek K., Łaba S., Mapping, Categorisation, and Selection of Technologies, Manuscript of Deliverable 1.2, AgEnRes Project, HORIZON-CL6-2023-CLIMATE-01-06, Project No. 101136474, Warsaw University of Life Sciences, Warsaw, Poland, 2024.
- [13] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), What Is Sustainable Bioenergy?, FAO, Rome, Italy, 2024. Доступно на: <https://www.fao.org/energy/bioenergy/en/> (приступљено 28. августа 2026).
- [14] Kumar S., Lohan S.K., Parihar D.S., Biomass Energy from Agriculture: Conversion Techniques and Use, in: Rakshit A., Biswas A., Sarkar D., Meena V.S., Datta R. (Eds.), Handbook of Energy Management in Agriculture, 1st ed., Springer Nature Singapore, Singapore, 2023, pp. 181-199. DOI: 10.1007/978-981-19-7736-7_10-1. ISBN 978-981-19-7735-0.
- [15] Janiszewska D., Ossowska L., The Role of Agricultural Biomass as a Renewable Energy Source in European Union Countries, Energies, Vol. 15, No. 18, MDPI, Basel, Switzerland, 2022, Article 6756. DOI: 10.3390/en15186756.
- [16] Short W., Packey D. J., Holt T., A Manual for the Economic Evaluation of Energy Efficiency and Renewable Energy Technologies, NREL/TP-462-5173, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, USA, 1995. DOI: 10.2172/35391.
- [17] ЈП „Електропривреда Србије“, Цене електричне енергије за гарантовано снабдевање (цене које се примењују од 01.10.2025. године), Београд, 2025. Доступно на: <https://www.eps.rs/lat/snabdevanje/Stranice/cene.aspx> (приступљено 27. септембра 2026).
- [18] Одлука о изменама Методологије за одређивање цене електричне енергије за гарантовано снабдевање, „Службени гласник РС“, бр. 74/2025.

- [19] Народна банка Србије, Званични средњи курс динара према евра на дан 25.09.2026. године, Београд, 2026. Доступно на: <https://www.nbs.rs> (приступљено 27. септембра 2026).
- [20] Nowtricity, CO2 emissions per kWh in Serbia, 2024. Доступно на: <https://www.nowtricity.com/country/serbia/> (приступљено 27. септембра 2026).
- [21] IPCC, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,

Volume 2: Energy, Chapter 2: Stationary Combustion, Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan, 2006.

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

е-маил: miodrag.kovacevic.zr@gmail.com

Рад примљен: Септембар 2026.

Рад прихваћен: Септембар 2026.

Рад је резултат истраживања спроведеног у оквиру развојно-истраживачког пројекта „Унапређење енергетске ефикасности пољопривредних газдинстава на подручју Средњобанатског округа“ (уговор број 003818186 2025 09418 004 000 000 001 04 003 од 03.10.2025. године), који је финансирао Покрајински секретаријат за високо образовање и научноистраживачку делатност АП Војводине на основу Јавног конкурса за финансирање развојноистраживачких пројеката високих школа струковних студија с територије АП Војводине у 2025. години. Аутори се захваљују власницима пољопривредних газдинстава који су учествовали у анкети и уступили податке за студије случаја.



ЂОРЂЕ СТАНОЈЕВИЋ (1858 – 1921)

Велики борац
за електрификацију Србије и
електрично осветљавање многих градова.
Пројектант и градитељ првих
хидроелектрана у Србији.
Професор физике, декан и ректор
Београдског Универзитета.
Један од најобразованијих и најученијих
људи свог времена.



Друштво Истраживање Технологије

Научно-стручни часопис
Scientific-profesional journal

Година XXXII, Број 46, септембар 2026. год.
Year XXXII, Issue 46, September 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

КВАНТНИ РАЧУНАРИ

QUANTUM COMPUTERS

ЖЕЉКО ЕРЕМИЋ¹

ТАЊА СЕКУЛИЋ¹

ИРИС БОРЈАНОВИЋ ТРУСИНА¹

¹Висока техничка школа струковних студија у Зрењанину

РЕЗИМЕ

Квантни рачунари представљају технологију будућности и у овој области се очекују највећи искораци у наредних педесет до сто година. Они нису замена за класичне рачунаре, већ представљају њихову важну допуну у решавању специфичних проблема. Нарочито су корисни у области квантних симулација, квантне хемије и фармацеутске индустрије, али се користе и у криптографији, оптимизацији, претрази великих база података, финансијском моделовању и метеорологији. У овом раду приказани су математички основи квантног рачунарства (кубити, квантне капије, операције), најпознатији квантни алгоритми, као и практичне платформе и симулатори доступни истраживачима и едукаторима данас.

Кључне речи: Квантни рачунари, кубити, квантне капије, квантни алгоритми, IBM Quantum, Qiskit.

ABSTRACT

Quantum computers represent the technology of the future, and the greatest advances in this field are expected over the next fifty to one hundred years. They are not a replacement for classical computers, but rather an important complement to them in solving specific problems. They are particularly useful in the field of quantum simulations, quantum chemistry and the pharmaceutical industry, but are also used in cryptography, optimization, searching large databases, financial modeling and meteorology. This paper presents the mathematical foundations of quantum computing (qubits, quantum gates, operations), the most well-known quantum algorithms, as well as practical platforms and simulators available to researchers and educators today.

Key words: Quantum computers, qubits, quantum gates, quantum algorithms, IBM Quantum, Qiskit.

1. УВОД

Са напретком науке и технологије, долази и до великог прогреса у области рачунарског инжењерства. Рачунари су током времена постали много бржи, као и значајно компактнији и јефтинији. Стигло

се до природних и техничких граница у смислу тога да су транзистори величине десетак нанометара и да мање од тога не може, пошто електрони почињу да тунелују. Зато је данас тренд раста предвиђен Муровим законом знатно успорен у односу на последњих четрдесет

година. Такође, постоје и неке слабе тачке класичних рачунара, као што су квантне симулације и факторизација великих бројева, које су и даље нерешив проблем за класичне рачунаре.

На идеју о постанку квантних рачунара дошло се још осамдесетих година прошлог века, када је један од највећих физичара тог времена Ричард Фајнман, увидео да на свом рачунару не може да ради квантне симулације. Он је замислио да би ти нови квантни рачунари могли радити применом квантно-механичких принципа.

Данас су квантни рачунари [1] постали реалност и негде су на нивоу као интернет деведесетих, пошто се тек очекује експанзија ове области. Наравно, они нису замена за класичне рачунаре, већ њихова допуна у решавању неких специфичних проблема.

Класични рачунари рачунају са битовима који могу имати вредност 0 или 1 (транзистор рачунара има или нема струје). Квантни рачунари су направљени од квантних честица, кубита, које могу бити у два стања (0 или 1), али и у било којој суперпозицији ова два стања истовремено. Због тога квантни рачунари могу да изводе велик број процеса истовремено. Систем од n кубита може изводити 2^n процеса, што представља експоненцијално убрзање у односу на класичне рачунаре. Са 300 кубита, на пример, може да се симулира више процеса, но што има атома у универзуму. Данас се са квантним рачунарима стигло до око 150 кубита. Оног момента кад се на квантном систему изврши мерење он колабира у класичан систем, тако да се тада кубит може наћи само у једном од два могућа стања, али не и у суперпозицији та два стања.

2. КВАНТНА МЕХАНИКА

Квантна механика (физика или теорија) је теорија која се налази у самом срцу природе и описује процесе на микроскопском нивоу (атомском и

субатомском). Овај математички оквир има сјајну експерименталну потврду. Сама теорија је интуитивно непојмљива човеку, пошто ми живимо у макроскопском свету. Фајнман је рекао да човек који мисли да разуме квантну теорију, њу уопште не разуме. Ипак, ми квантну механику користимо свакодневно и њене примене су, између осталог, електроника (рачунари, мобилна телефонија), медицинска дијагностика и нуклеарне електране.

Почетком прошлог века научници су мислили да класичном физиком може све да се опише. Онда су почели да се појављују нови резултати експеримената који нису могли да се објасне класичном физиком. Тако су почели да се постављају фундаменти квантне физике. Схваћено је да се енергија преноси у пакетима („квантима“), а не континуално. Такође су увидели да електромагнетни таласи имају и честичну природу. Онда се захваљујући експериментима са два прореа увидело да и честице могу да имају таласну природу. Шредингером једначином се добијала вероватноћа да се честица нађе на одређеном месту или у одређеном стању, а Хајзенбергове релације неодређености су показале да се истовремено не може тачно знати и позиција и импулс објекта због таласно-честичне природе свих објеката. Квантно механички тунел ефекат, да честица иако нема довољно енергије ипак са неком вероватноћом може проћи кроз потенцијалну баријеру, омогућава одвијање процеса на Сунцу, а човек ово користи за израду специјалних микроскопа који могу да померају појединачне атоме.

Основни квантномеханички принципи на којима се заснива рад квантних рачунара јесу:

- суперпозиција,
- спрегнутост (енгл. „entanglement“),
- интерференција,
- кохеренција/декохеренција.

Суперпозиција је већ поменута у овом раду у уводу о кубитима. Ако се

квантна честица, на пример, може наћи у два стања, она се може наћи и у свим могућим линеарним комбинацијама (суперпозицијама) ова два стања истовремено, све док се не уради мерење (када она колабира са неком вероватноћом само у једно од два могућа стања). Аналогија се може извести са новчићем који се врти, и који је тада истовремено и „писмо“ и „глава“. Оног момента кад падне, новчић постаје или „писмо“ или „глава“.

Спрегнутост је једна научницима веома необична појава. Ако се произведу два изолована и спрегнута кубита и онда раздвоје чак и на неку огромну удаљеност (на пример на удаљеност од сто милијарди светлосних година), мерењем стања једног кубита ми истовремено аутоматски знамо и стање другог кубита. На пример ако се распадом честице спина 0, произведу два спрегнута електрона, њихови спинови ће због закона одржања бити $+1/2$ и $-1/2$. При томе ће се оба електрона налазити истовремено и у стању $+1/2$ и у стању $-1/2$, али тако да кад је спин једног $+1/2$, спин другог је $-1/2$ и обрнуто. Када се изврши мерење на једном електрону, ако се на пример он нађе у стању спина $+1/2$, зна се да се онда други електрон истовремено налази у стању $-1/2$. Овакви експерименти су рађени са честицама и показало се да је ово тачно, чак и кад је једна честица на земљи, а друга на сателиту. То се дешава зато што две изоловане спрегнуте честице чине један систем, а квантна механика је теорија која није локална, што је у прошлом веку научницима било чудно како је класична физика локална теорија. Тако је и настао ЕПР парадокс, пошто Ајнштајну није било јасно како то да ако је брзина светлости највећа брзина преноса информација у космосу, једна честица тренутно обавести другу о свом стању. Касније се показало да Ајнштајн није био у праву и да није добро разумео целу ситуацију са спрегнутошћу честица. Спрегнутост код квантних рачунара доводи до могућности паралелног

процесирања великог броја информација истовремено. На пример класичан рачунар решава лавиринт, тако што проба један по један пут кроз њега. Квантни рачунар проба све путеве истовремено. Тако за решавање неких проблема квантном рачунару треба пар минута, а најмоћнијем класичном рачунару 10000 година.

Пошто се у квантној механици све посматра као талас, феномен интерференције се користи за доношење одлука у квантним рачунарима. Када долази до конструктивне интерференције у квантним системима, ти одговори се задржавају као вероватни, а они код којих долази до деструктивне интерференције се одбацују.

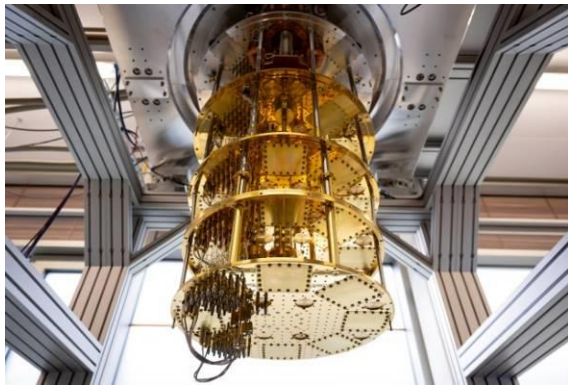
Да би квантни систем функционисао, он мора да буде изолован од околине. Ако нека сметња из околине (подрхтавање тла, електромагнетни талас, температура, итд.) засмета систему и доведе до интеракције са честицама система, квантни систем може да колабира у класичан систем. Ова појава се назива декохеренција и није пожељна у квантном окружењу. Зато је најтежи задатак код квантних рачунара произвести изолован квантни систем. На пример, сам квантни чип може бити величине прста на руци, а све остало око њега, величине циновског фрижидера служи само да систем буде изолован од околине.

3. ВРСТЕ КВАНТНИХ РАЧУНАРА

Велика технолошка трка води се између светских сила, Америке и Кине, за премоћ у области квантног рачунарства. Велике светске компаније (Google, Microsoft, IBM, HP, Fujitsu, итд.) раде на изградњи квантних рачунара. Квантно рачунарство обухвата области као што су хемија, физика, математика, рачунарство и за истраживања у овој области улажу се милијарде долара.

Као кубити за израду квантних рачунара користе се електрони, фотони, атоми, јони, вештачки произведена

суперпроводна кола и друго. Слика 1. приказује изглед квантног рачунара.



Слика 1. Квантни рачунар

На основу технологије рада са кубитима разликујемо више типова квантних рачунара:

Суперпроводни квантни рачунари тренутно представљају најнапреднију платформу. Кубити се реализују помоћу Цозефсоновог споја — уређаја у коме два суперпроводника раздваја танак изолатор кроз који струја тунелује. Ово кружно коло понаша се попут вештачког атома са дискретним енергетским нивоима. Главне предности су брзе операције (наносекундни импулси) и интеграција са постојећом микроелектроником. Главни недостатак је потреба за радом на изузетно ниским температурама, неколико миликелвина, хладнијим и од свемира. Компаније Google, IBM и Rigetti развијају овакве системе. Гуглов процесор Sycamore (2019) са 53 кубита постигао је квантну предност на одређеном задатку [2];

Квантни рачунари са заробљеним јонима раде по принципу приступа где се наелектрисани атоми (јони) хватају и задржавају у простору помоћу електромагнетних поља (Паулова замка). Стања атома контролишу се прецизним ласерским импулсима. Главне предности заробљених јона су изузетно висока прецизност операција (грешке испод 0,1%) и дуга кохеренција. Компаније IonQ и Quantinuum (бивши Honeywell Quantum Solutions) воде ову технологију;

Фотонски квантни рачунари користе фотоне светлости као кубите, а квантне операције се врше користећи поларизацију, фазу и путању фотона. Велика предност је рад на собној температури и могућност рада са оптичким влакнима, чиме се отварају могућности за квантне комуникационе мреже. Недостатак је тешкоћа производње детерминистичких двофотонских интеракција. На њима раде PsiQuantum и Xanadu компаније;

Квантни рачунари са неутралним атомима држе атоме у месту помоћу ласера, а квантна стања атома јесу квантни битови којима се манипулише помоћу ласера. Aliro Quantum, Atom Computing, QuEra и Pasqal развијају ове системе. QuEra је 2023. демонстрирао систем са 256 кубита [3];

Microsoft истражује квантне рачунаре засноване на Мајорана фермионима, егзотичним квазичестицама које се јављају на границама одређених суперпроводних жица. Информација је кодирана у нелокалним, тополошким својствима система, чиме би грешке постале суштински ретке. Иако је теоретска основа солидна, практична реализација стабилних Мајорана стања и даље је изазов [4].

На основу рачунарских модела разликујемо:

Квантне рачунаре базиране на гејтовима (где су квантни логички гејтови елементи квантних кола);

Квантне рачунаре засноване на аналогним рачунарским моделима (попут Адијабатских квантних модела, квантног жарења, квантних симулација) где се квантни систем директно симулира и мапира на физички систем који се анализира. Квантни систем се не контролише дискретним логичким колима, већ се користе континуалне варијабле за манипулисање квантним информацијама.

4. МАТЕМАТИЧКЕ ОСНОВЕ КВАНТНОГ РАЧУНАРСТВА

4.1. КУБИТ

У математичком формализму квантне механике, кубит (енгл. qubit) се описује вектором стања у дводимензионалном комплексном Хилбертовом простору.

Два базна стања означавају се следећом нотацијом:

$$|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad |1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Општа суперпозиција кубита записује се као:

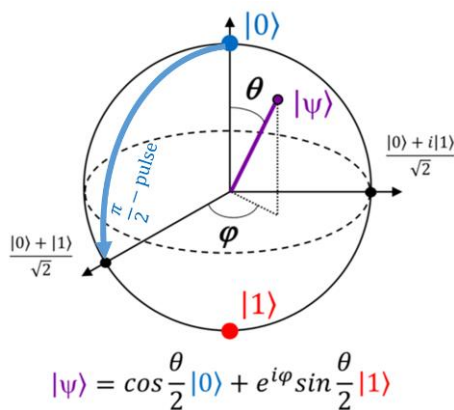
$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

Са α и β су означени комплексни бројеви (амплитуде вероватноће) са условом нормализације:

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

Вероватноћа да се при мерењу добије резултат 0 јесте $|\alpha|^2$, а вероватноћа добијања резултата 1 јесте $|\beta|^2$.

Геометријски, стање кубита може се приказати тачком на Блоховој сфери, јединичној сфери у тродимензионалном простору, Слика 2.



Слика 2. Блохова сфера

Систем од два кубита постоји у четвородимензионалном простору са базним стањима $|00\rangle$, $|01\rangle$, $|10\rangle$, $|11\rangle$. Уопштено, систем од n кубита описује се вектором у простору димензије 2^n , чиме

се остварује експоненцијална паралелност.

4.2. КВАНТНЕ КАПИЈЕ

Квантне капије (енгл. quantum gate) су унитарне трансформације које мењају стање кубита. За разлику од класичних логичких капија, квантне операције су реверзибилне. Унитарност осигурава очување нормализације вероватноће. Капије се представљају унитарним матрицама и примењују на векторе стања матричним множењем.

Паулијеве капије су основне једнокубитне операције. Постоји неколико Паулијевих капија, најпознатије су Паули X и Паули Z капија.

Паулијева X капија (квантни NOT) се понаша као класични (логички NOT) и мења стања кубита из 0 у 1 и обратно:

$$X|0\rangle = |1\rangle, \quad X|1\rangle = |0\rangle$$

Ово се постиже матрицом Паули X капије:

$$X|0\rangle = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = |1\rangle.$$

Паулијева Z капија уноси фазну промену:

$$Z|0\rangle = |0\rangle, \quad Z|1\rangle = -|1\rangle.$$

Њена матрица је:

$$Z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}.$$

Хадамардова капија је кључна капија за стварање суперпозиције. Матрица Хадамардове капије:

$$H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}.$$

Примена Хадамардове капије на стање $|0\rangle$ даје равномерну суперпозицију:

$$H|0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} + \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \frac{|0\rangle + |1\rangle}{\sqrt{2}}.$$

Фазна капија S уноси фазу $\pi/2$, а **T капија** фазу $\pi/4$. Ове капије се користе за фина подешавања стања кубита у сложеним колима.

CNOT (Controlled NOT) је двокубитна капија: уколико је контролни кубит у стању $|1\rangle$, примењује се Паули X операција на циљни кубит.

CNOT капија је представљена матрицом:

$$CNOT = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Резултат примене CNOT капије је следећи:

$$|00\rangle \rightarrow |00\rangle, |01\rangle \rightarrow |01\rangle,$$

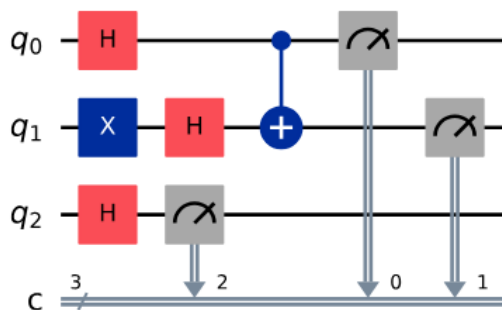
$$|10\rangle \rightarrow |11\rangle, |11\rangle \rightarrow |10\rangle.$$

CNOT капија у комбинацији са Хадамардовом капијом омогућава стварање спрегнутих стања, фундаменталних за квантне алгоритме.

4.3. КВАНТНА КОЛА

Квантни алгоритам се извршава низом квантних капија које се комбинују у квантно коло. Кола се читају слева надесно, а свака линија представља један кубит у времену.

Слика 3. представља једно квантно коло са три кубита, квантним капијама и мерењем.



Слика 3. Квантно коло

Мерење на крају кола колабира квантно стање у класичан исход. Квантни алгоритми се пројектују тако да мерења

чешће дају тачне одговоре захваљујући конструктивној интерференцији.

5. КВАНТНИ АЛГОРИТМИ

Квантни алгоритми се не могу применити за решавање сваке врсте проблема. Постоји јасно дефинисана класа проблема за коју квантни рачунари пружају предност над класичним. Главне категорије убрзања јесу: експоненцијално (нпр. симулације, факторизација) и квадратно (нпр. претрага).

Неки од најпознатијих квантних алгоритама су осмишљени још у прошлом веку, али тадашња технологија није могла да подржи ове алгоритме.

5.1. ДОЈЧ АЛГОРИТАМ

Дојч алгоритам (1985) је историјски прво демонстрирано квантно убрзање [5]. Овај алгоритам решава следећи проблем: Ако је дата је булова функција $f: \{0,1\} \rightarrow \{0,1\}$, утврдити да ли је функција константна ($f(0) = f(1)$) или балансирана ($f(0) \neq f(1)$). За решавање овог проблема класичан рачунар мора двапут да позове функцију, а квантни само једном.

Алгоритам примењује Хадамардову капију, квантни оракл (унитарна трансформација која кодира функцију), и поново Хадамардову капију, те мерењем добија одговор у једном кораку. Иако је практична употреба овог алгоритма мала, он је кључан доказ принципа квантне паралелности.

5.2. ШОРОВ АЛГОРИТАМ ФАКТОРИЗАЦИЈЕ

Пројектовао га је Питер Шор 1994. године, а представља највећу претњу савременој криптографији [6]. Решава проблем факторизације великог целог броја N на просте множитеље. Најбољи класични алгоритам ради у времену $O(e^{\frac{1}{n^3} \cdot (\log n)^{\frac{2}{3}}})$ где је n број цифара броја N . Шоров квантни алгоритам ради у полиномном времену $O(n^3)$, чиме чини

RSA шифровање рањивим на довољно моћном квантном рачунару.

На пример, за 2048-битни RSA кључ (≈ 617 цифара), класичном рачунару би требало реда величине милијарди година, а довољно моћан квантни рачунар би то решио за неколико сати.

Данашњи квантни рачунари (NISQ ера) нису довољно велики нити довољно поуздани да факторишу криптографски релевантне бројеве, али ова претња покренула је развој постквантне криптографије.

5.3. ГРОВЕРОВ АЛГОРИТАМ ПРЕТРАГЕ

Лов Гровер предложио је 1996. алгоритам за претрагу неструктуриране базе података са N уноса [7]. Класична претрага захтева $O(N)$ корака, а Гроверов алгоритам постиже резултат у $O(\sqrt{N})$ корака чиме се постиже квадратно убрзање.

Гроверов алгоритам примењив је у претрази база података, оптимизационим проблемима и криптинализи.

5.3. КВАНТНА СИМУЛАЦИЈА

Квантна симулација је можда и практично најзначајнија примена квантних рачунара у блиској будућности [8]. Идеја потиче директно од Фајнмана: квантни рачунари могу природно симулирати квантне системе, јер сами следе исту физику.

У фармацеутској индустрији, симулација интеракције молекула на квантном нивоу омогућава пројектовање нових лекова и материјала без скупих лабораторијских огледа. Хабард-ов модел за суперпроводљивост, азотна фиксација у биолошким системима, и оптимизација соларних ћелија, сви ови системи садрже десетине или стотине спрегнутих квантних степени слободе које класични рачунар не може ефикасно да симулира.

Алгоритми за квантну симулацију укључују варијациони квантни солвер (VQE — Variational Quantum Eigensolver) за проналажење основног стања молекула

и квантни алгоритам апроксимативне оптимизације (QAOA).

5.4. АЛГОРИТМИ ЗА МАШИНСКО УЧЕЊЕ

Квантно машинско учење (QML) је млада, брзорастућа област. HHL алгоритам (Харроу, Хасидим, Лојд, 2009) решава системе линеарних једначина у логаритамском времену, потенцијално убрзавајући регресију и препознавање образаца [9]. Квантне неуронске мреже и квантне подржавајуће векторске машине истражују се као алтернатива класичним методама за специфичне класе података.

6. ПЛАТФОРМЕ И СИМУЛАТОРИ

Иако поседовање физичког квантног рачунара захтева инфраструктуру вредну десетине милиона долара, истраживачи, студенти и едукатори данас имају приступ квантном рачунарству преко облака и симулатора. Ово је кључно за развој квантне писмености и алгоритамских истраживања.

6.1. IBM QUANTUM EXPERIENCE

IBM Quantum Experience (<https://quantum.ibm.com>) је пионирски клауд квантни сервис, доступан од 2016. године. Омогућава бесплатни приступ стварним квантним процесорима путем интернет претраживача. Корисници могу изграђивати квантна кола визуелним интерфејсом или програматски преко Qiskit-а. Тренутно је доступно преко двадесет јавних квантних процесора са различитим бројем кубита, а IBM Open Plan омогућава до 10 минута квантног времена месечно бесплатно [10].

IBM Quantum Network окупља универзитете, националне лабораторије и компаније које имају приступ напреднијим системима. Кроз Quantum Learning платформу нуде се бесплатни курсеви, а Textbook (qiskit.org/learn) је свеобухватан онлајн уџбеник из квантног рачунарства са интерактивним примерима.

6.2. QISKIT

Qiskit (Quantum Information Science Kit) је опен-сорс Python библиотека коју је развио IBM [10]. Она је данас најраспрострањенији оквир за квантно програмирање. Qiskit садржи четири главна модула: Terra (основни ниво, дефинисање кола и капија), Aer (симулатори на класичном хардверу), Ignis (карактеризација грешака и корекција) и Aqua (алгоритми за хемију, оптимизацију и машинско учење).

Основни ток рада у Qiskit-у укључује иницијализацију кубита и класичних битова, примену капија, мерење и покретање кола на симулатору или стварном уређају. Aer симулатор подржава идеалне симулације без шума и реалистичне симулације са шумом базираним на профилима стварних IBM уређаја.

6.3. GOOGLE CIRQ И QUANTUM AI

Google Cirq је Python оквир намењен програмирању NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum) уређаја, нарочито Гугловог Sycamore процесора [11]. За разлику од Qiskit-a, Cirq пружа детаљну контролу над физичким распоредом кубита на чипу, што је важно за оптимизацију на специфичном хардверу. Google Quantum AI лабораторија кроз своје платформе спроводи истраживања у квантној хемији и корекцији грешака.

6.4. MICROSOFT AZURE QUANTUM

Microsoft Azure Quantum (<https://azure.microsoft.com/quantum>) нуди хибридни клауд сервис са приступом квантним рачунарима различитих произвођача (IonQ, Quantinuum, Rigetti) преко јединственог интерфејса [12]. Програмски језик Q# (Q-шарп) је

Microsoftov наменски квантни програмски језик, интегрисан са Visual Studio и Python екосистемом преко QDK (Quantum Development Kit). Q# подржава симулацију квантних алгоритама на класичном рачунару са до 30 кубита без посебног хардвера.

6.5. GOOGLE COLAB И ОБРАЗОВНИ СИМУЛАТОРИ

Google Colab (<https://colab.research.google.com>) је бесплатно клауд Jupyter Notebook окружење у коме је могуће инсталирати и покретати Qiskit, Cirq, PennyLane и остале квантне библиотеке без локалне инсталације. Ово га чини идеалним алатом за образовање и прве кораке у квантном програмирању.

PennyLane (Xanadu) је диференцијабилна библиотека за квантно машинско учење, компатибилна са PyTorch и TensorFlow, чиме се омогућава хибридни тренинг квантно-класичних мрежа. Quirk је бесплатни веб симулатор квантних кола (<https://algassert.com/quirk>) намењен визуелном разумевању квантних операција и алгоритама без икаквог програмирања.

ProjectQ је Python оквир из ETX Цириха са подршком за симулацију и извршавање на IBM хардверу, погодан за истраживачке потребе. Strawberry Fields (Xanadu) специјализован је за континуалне (CV) квантне системе и фотонске процесоре.

6.6. ПОРЕЂЕЊЕ ПЛАТФОРМИ

Приказане платформе за симулацију квантних рачунара имају различите карактеристике. Табела 1. даје упоредни приказ платформи, узимајући у обзир програмски језик, хардвер, могућност приступа и примену.

Табела 1. Упоредни приказ главних карактеристика платформи

Платформа	Jezik/SDK	Нардвер	Бесплатни приступ	Примена	Платформа
IBM Quantum	Qiskit (Python)	IBM суперпровод.	Да (Open Plan)	Образовање, истраживање	IBM Quantum
Google Cirq	Cirq (Python)	Google Sycamore	Делимично	NISQ истраживање	Google Cirq
Azure Quantum	Q# / Python	IonQ, Quantinuum	Кредити	Хибридни системи	Azure Quantum
PennyLane	Python	Симулатор / вишеструки	Да (опен-сорс)	Квантно ML	PennyLane
Quirk	Веб (без кода)	Симулатор	Да	Образовање	Quirk

7. СИМУЛАЦИЈА РАДА КВАНТНИХ РАЧУНАРА

С обзиром да је поседовање квантног рачунара данас привлегија великих компанија и држава, за учење и рад са њима постоји неколико алтернатива. Неке од њих су:

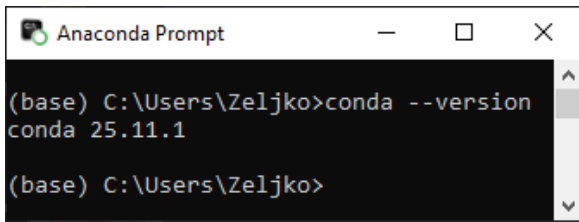
- Инсталација потребног софтвера на сопственом рачунару. На овај начин имамо прилику да радимо на симулатору квантног рачунара.
- Коришћење наменски направљеног развојног окружења у облаку попут Google Colaboratory познатог и као Google Colab.
- Приступање правом квантом рачунару путем IBM Quantum Platform

У овом раду представљамо приступ где се врши инсталација потребног софтвера на сопственом рачунару. Предност овог приступа је у томе што сав потребан хардвер и софтвер имамо у потпуности под својом контролом. Такође софтвер је потпуно бесплатан и не постоји ограничење у погледу тога колико обраде можемо да радимо. Претаплата овде не постоји што у неким ситуацијама претставља озбиљну предност. Недостак овог приступа је у томе што је нешто компликованија инсталација на почетку, и то што морамо да водимо рачуна о ажурирању софтвера.

Такође рад на симулатору не приказује неке карактеристике рада на правом квантном рачунару попут утицаја грешака.

Веома популаран радни оквир За учење и рад квантих рачунара је IBM Qiskit базиран на програмском језику Python. Он омогућава да правимо квантна кола и да их потом извршавамо како на квантним системима реалног времена компаније IBM тако и на симулаторима. Веома је популарна опција за истраживање широм света. Предуслов за коришћење IBM Qiskit је инсталација Python, како бисмо после тога инсталирали IBM Qiskit.

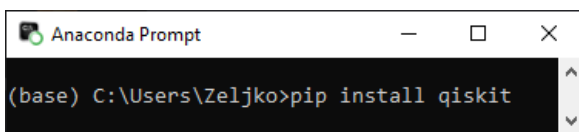
Најпопуларнија дистрибуција Python за ову намену је Anaconda (<https://www.anaconda.com/>) која је отвореног кода. То је најлакши начин да се коришћењем програмског језика Python бавимо науком о подацима. Ова дистрибуција приликом своје инсталације инсталира и мноштво помоћних библиотека које ће нам требати. Оно што је потребно је да са сајта Анаконде скинемо индивидуални дистрибуцију и верзију са 64 бита Windows у нашем случају, и затим на нашем рачунару извршимо инсталацију. После инсталације потребно је рестартовати рачунар. Затим је потребно је инсталирати „Anaconda Prompt“ и проверити верзију како бисмо били сигурни да је инсталација успешно извршена (Слика 4).



```
(base) C:\Users\Zeljko>conda --version
conda 25.11.1
(base) C:\Users\Zeljko>
```

Слика 4 – проверка верзије Python Anaconda

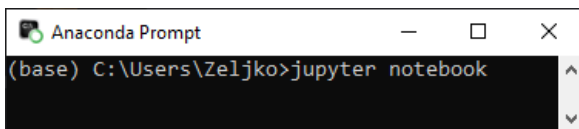
Инсталација IBM Qiskit се врши у оквиру Anaconda Prompt уносом команде са слике 5, након чега је потребно сачекати да се поступак инсталације заврши и да се инсталирају све потребне библиотеке.



```
(base) C:\Users\Zeljko>pip install qiskit
```

Слика 5 – команда за инсталацију IBM Qiskit

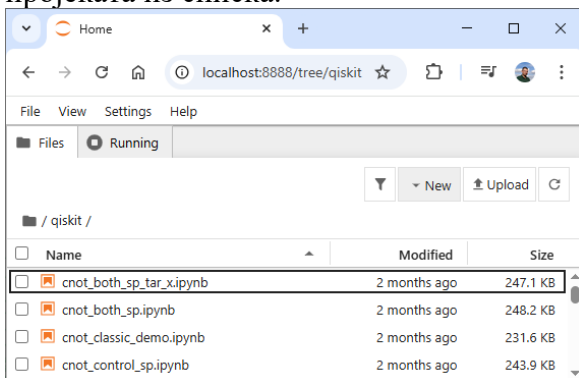
Како бисмо тестирали IBM Qiskit инсталацију користићемо интегрисано окружење за развој (IDE) који је базиран на веб прегледачу и који се зове Jupyter Notebook (Слика 6).



```
(base) C:\Users\Zeljko>jupyter notebook
```

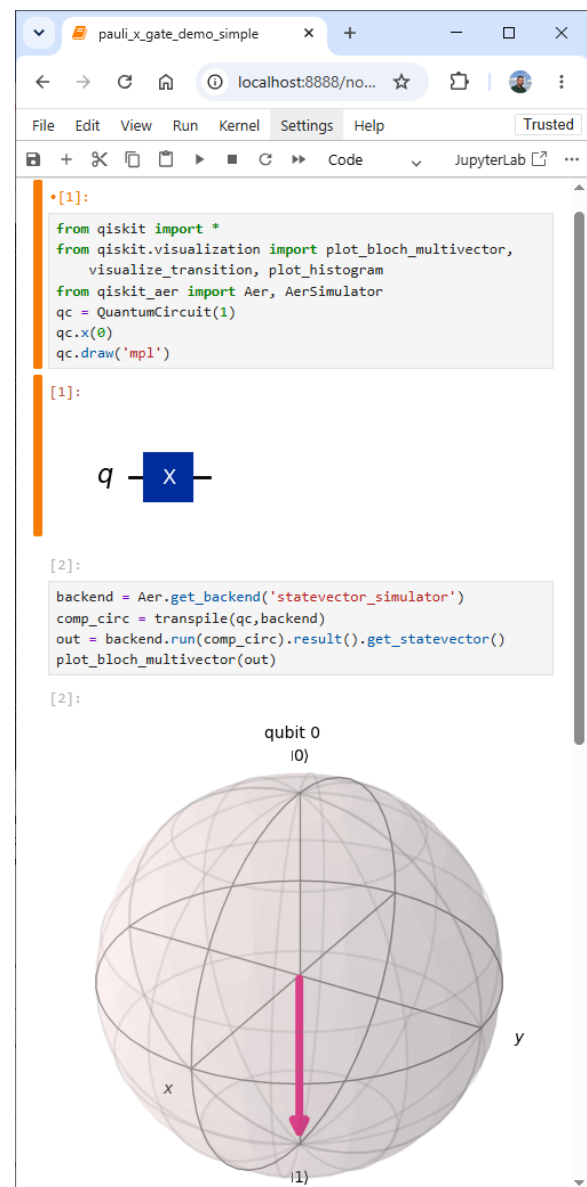
Слика 6 – покретање Јупутер Нотебоок

По извршењу ове команде добија се у веб прегледачу списак досадашњих пројеката (Слика 7). Могуће је додати нови пројекат и започети рад у њему или приступити неком од постојећих пројеката из списка.



Слика 7 – Jupyter Notebook

На слици 8 се може видети врло једноставан пример програмског кода који формира једноставно квантно коло од само једне Паули X капије која је представљена у нашем раду. После увоза библиотека формира се и исцртава једноставно квантно коло од само једног кубита и само једне капије. После тога се покреће симулатор вектора стања који исцртава резултат у формату Блохове сфере. У овом примеру смо на улазу имали вредност $|0\rangle$, а капија је ову вредност претворила у $|1\rangle$ што се може и видети на Блоховој сфери.



Слика 8 – Пример извршења програмског кода у Jupyter Notebook

8. ПРИМЕНЕ КВАНТНИХ РАЧУНАРА

Квантни рачунари нису универзално решење, и не могу се применити за решавање свих класа проблема, али нуде трансформативне могућности за одређене домене.

Примена квантних рачунара се пројектује на следеће области:

Квантна хемија и материјали: Симулација молекула на квантном нивоу омогућиће пројектовање нових лекова, катализатора и материјала. Процењује се да би ефикасна симулација молекула кофеина захтевала класични суперрачунар са преко 10^{48} битова меморије, а квантни рачунар са свега неколико стотина кубита;

Криптографија: Шоров алгоритам угрожава RSA шифровање, а NIST је 2024. године стандардизовао прве постквантне криптографске алгоритме (CRYSTALS-Kyber, CRYSTALS-Dilithium) отпорне на квантне нападе [13];

Оптимизација: Логистика, ланци снабдевања, финансијски портфолио, проблеми комбинаторне оптимизације са огромним простором претраге природни су кандидати за квантна убрзања. QAOA алгоритам циљано адресира ову класу проблема;

Финансијско моделовање: Монте Карло симулације за процену ризика могле би бити квадратно убрзане Гроверовим алгоритмом, а квантно машинско учење примењено за детекцију финансијских превара;

Метеорологија и климатске науке: Нумеричко предвиђање времена и симулација климатских модела захтевају огромне рачунарске ресурсе. Квантни рачунари могли би унапредити резолуцију и тачност ових симулација.

9. ИЗАЗОВИ И БУДУЋНОСТ

Квантно рачунарство је тренутно у такозваној NISQ (Noisy Intermediate-Scale

Quantum) ери, постоје уређаји са 50 до 1000 физичких кубита, али са значајним грешкама и ограниченим временом кохеренције. Главни изазови укључују:

Контрола грешака: физичке грешке у кубитима и капијама и даље су преписка за изградњу поузданих логичких кубита;

Скалирање: повећање броја кубита уз одржавање квалитета и повезаности;

Кохеренција: продужење времена у коме систем остаје у квантном стању;

Програмирање и алгоритми: потреба за новим алгоритмима прилагођеним конкретном хардверу;

Стандардизација: различити произвођачи користе различите архитектуре и интерфејсе.

Дугорочна визија јесте толерантни квантни рачунар (FTQC: Fault-Tolerant Quantum Computer) са милионима физичких кубита и хиљадама логичких кубита, способан за извршавање Шоровог и других алгоритама на криптографски релевантним проблемима. IBM је 2023. године представио Condor процесор са 1121 кубита, а планира систем са преко милион кубита до 2033. године, [10].

10. ЗАКЉУЧАК

Квантно рачунарство представља суштинску смену парадигме у информационим технологијама. Засновано на принципима суперпозиције, спрегнутости и интерференције, оно омогућава решавање проблема недоступних класичним рачунарима.

Математички формализам кубита и квантних капија пружа прецизан оквир за пројектовање алгоритама. Алгоритми попут Шоровог, Гроверовог и VQE показују да квантно убрзање може бити и експоненцијално и квадратно, у зависности од проблема. Платформе попут IBM Quantum, Qiskit, Azure Quantum и PennyLane чине квантно програмирање доступним широј заједници.

Иако је тренутна NISQ ера још увек далеко од пуног потенцијала квантних рачунара, темпо напретка је изузетан. Квантни рачунари неће заменити класичне, него ће их допуњавати у специфичним доменама: хемији, криптографији, оптимизацији и симулацији. Образовање и истраживање у овој области јесу кључна инвестиција за будућност.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] National Academies of Science, Engineering and Medicine, Quantum Computing: Progress and Prospects (2018), The National Academies Press, Washington DC, 2019. <https://doi.org/10.17226/25196>
- [2] F. Arute et al., "Quantum supremacy using a programmable superconducting processor," *Nature*, vol. 574, pp. 505–510, 2019.
- [3] D. Bluvstein et al., "A quantum processor based on coherent transport of entangled atom arrays," *Nature*, vol. 604, pp. 451–456, 2022.
- [4] S. Das Sarma, M. Freedman, and C. Nayak, "Majorana zero modes and topological quantum computation," *npj Quantum Inf.*, vol. 1, p. 15001, 2015.
- [5] D. Deutsch, "Quantum theory, the Church–Turing principle and the universal quantum computer," *Proc. R. Soc. Lond. A*, vol. 400, pp. 97–117, 1985.
- [6] P. W. Shor, "Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer," *SIAM J. Comput.*, vol. 26, pp. 1484–1509, 1997.
- [7] L. K. Grover, "A fast quantum mechanical algorithm for database search," in *Proc. 28th ACM STOC*, pp. 212–219, 1996.
- [8] R. P. Feynman, "Simulating physics with computers," *Int. J. Theor. Phys.*, vol. 21, pp. 467–488, 1982.
- [9] A. W. Harrow, A. Hassidim, and S. Lloyd, "Quantum algorithm for linear systems of equations," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 103, p. 150502, 2009.
- [10] IBM Quantum, IBM Quantum Documentation. [Online]. Доступно: <https://docs.quantum.ibm.com>. Приступљено: мај 2024.
- [11] Google Quantum AI, Cirq Documentation. [Online]. Доступно: <https://quantumai.google/cirq>. Приступљено: мај 2024.
- [12] Microsoft, Azure Quantum Documentation. [Online]. Доступно: <https://learn.microsoft.com/azure/quantum>. Приступљено: мај 2024.
- [13] NIST, "Post-Quantum Cryptography Standardization," National Institute of Standards and Technology, 2024. [Online]. Доступно: <https://csrc.nist.gov/projects/post-quantum-cryptography>.

Адреса аутора: Еремић Жељко, Професор струковних студија, Висока техничка школа струковних студија у Зрењанину, Зрењанин, Ђорђа Стратимировића 23
 е-маил: zeljko.eremic@vts-zr.edu.rs
 Рад примљен: Агвуст 2026.
 Рад прихваћен: Септембар 2026.

МИКРОСЕРВИСНЕ АРХИТЕКТУРЕ У ДИГИТАЛНОМ ОКРУЖЕЊУ ДРУШТВА 5.0

MICROSERVICE ARCHITECTURES IN THE DIGITAL ENVIRONMENT OF SOCIETY 5.0

ТАМАРА МИЛИЋ¹
ЖЕЉКО СТОЈАНОВ²
ИГОР ВЕЦШТЕЈН²

¹ Висока техничка школа струковних студија у Зрењанину

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

РЕЗИМЕ

Развој Друштва 5.0 се заснива на примени савремених дигиталних решења која имају за циљ да обезбеде скалабилност, кратко време одзива, стабилност и ефикасност система. У исто време, наведене карактеристике имају битну улогу и приликом пројектовања и примене микросервисних архитектура. Циљ рада је идентификација и упоредна анализа техничких и перформансних захтева који се јављају у контексту микросервисних архитектура и Друштва 5.0 ради сагледавања њихових заједничких карактеристика. Прегледом релевантних примарних студија утврђено је да се као заједнички захтеви најчешће издвајају скалабилност, време одзива, толеранција на грешке, поузданост и ефикасно коришћење ресурса. Додатно поређење одабраних примера указује да тумачење техничких захтева зависи од примењених архитектонских механизма и услова евалуације.

Кључне речи: микросервисна архитектура, софтверско инжењерство, Друштво 5.0, технички захтеви, перформансни захтеви, скалабилност

ABSTRACT

The development of Society 5.0 is based on application of modern digital solutions aimed at ensuring, scalability, short response time, system stability, and efficiency. At the same time, these characteristics also play an important role in the design and implementation of microservice architecture. This paper aims to identify and comparatively analyze the technical and performance requirements of microservice architectures that arise in the context of microservice architectures and Society 5.0, in order to examine their common characteristics. A review of the relevant primary studies showed that the most frequently identified common requirements are scalability, response time, fault tolerance, reliability, and efficient resource utilization. An additional comparison of selected examples indicates that the interpretation of technical requirements depends on the architectural mechanisms employed and the evaluation conditions.

Key words: microservice architecture, software engineering, Society 5.0, technical requirements, performance requirements, scalability

1. УВОД

Друштво 5.0 подразумева отпорније, одрживије и на човека усмерено друштво које подстиче стално развијајућа сарадња и размена знања међу многим дигиталним системима који већ обликују наше свакодневне животе [1]. Са друге стране, микросервисна архитектура (енгл. Microservice Architecture – MSA) заснива се на филозофији која не захтева дељење ресурса и ослања се на дугогодишње искуство које се постепено развијало у области софтверског инжењерства и пројектовања система. Овај архитектурни стил организује систем као скуп слабо повезаних малих сервиса, који су издвојени у мале, кохерентне и аутономне целине [2]. Микросервисни приступ се последњих година проширио због своје способности да сложене функције разложи на модуларне сервисе који се могу независно имплементирати, будући да сваки микросервис може да сакрије и енкапсулира своје специфичне функције, подстичући агилност, скалабилност и лакше одржавање [3]. NoSQL базе нуде модерне АПИ-је и подршку за микросервисну архитектуру, што погодује савременим развојним праксама и предузећима која усвајају облачна решења. Предузећа која траже флексибилност, скалирање и брзо прилагођавање могу размотрити хибридне приступе, комбинујући SQL и NoSQL базе, како би створили ефикаснију и отпорнију архитектуру података. Овај приступ омогућава оптимизацију перформанси, побољшање корисничког искуства и очување конкурентске предности у динамичном окружењу е-пословања [4][5].

Усвајање микросервиса у Друштву 5.0 може омогућити ефикасно прилагођавање сервиса променљивим потребама, подржати брз развој и имплементацију, као и подстаћи иновације између и унутар различитих сектора, као што су здравство, образовање, саобраћај, управа и други, чиме се у крајњој линији

доприноси стварању друштва које је одговорније и отпорније [3]. Циљ истраживања овог рада се огледа у идентификацији, систематизацији и упоредној анализи захтева који се у микросервисној архитектури посматрају као перформансни, а у погледу Друштва 5.0 као технички.

2. ПЕРФОРМАНСНИ АСПЕКТИ МИКРОСЕРВИСНИХ АРХИТЕКТУРА

Сложеност информационог система је делимично одређена његовом функционалношћу - тј. оним што систем ради - а делимично глобалним захтевима за његов развој или оперативним трошковима, перформансама, поузданошћу, одржавањем, преносивошћу, робусношћу и слично [6]. Микросервисне архитектуре могу допринети остваривању нефункционалних захтева, као што су скалабилност, висока доступност и толеранција на грешке. Остваривање ових захтева подразумева одговарајуће механизме праћења рада сервиса, откривања отказа и опоравка система [7]. Разумевање импликација перформанси архитектура микросервиса је важно за развој и одржавање ефикасних операција. При анализи перформанси микросервисних апликација је потребно размотрити начин комуникације и откривања сервиса, управљање подацима, потрошњу мрежних и рачунарских ресурса, као и механизме изолације отказа и скалирања [8][9]. Са великим бројем микросервиса који међусобно интерагују ради обављања одређених операција, кашњење или спор одзив било ког појединачног микросервиса могу довести до деградације перформанси комплетног софтверског система. То захтева потребу за активним модулom за праћење који може да прати микросервисе који имају проблеме са перформансама [10].

Да би се процениле опште карактеристике перформанси апликације или система, тестирање перформанси захтева процену различитих метрика. Неке од метрика које се користе у тестирању перформанси су време одзива, пропусност и стопа грешака. Време одзива обухвата време проведено у обради, комуникацији путем мрежа и приступу базама података. Пропусност подразумева одређену количину захтева, трансакција или података које систем може да обради у одређеном временском интервалу. Стопа грешака помаже у одређивању стабилности система, капацитета за обраду грешака и издржљивости под притиском. Нижа стопа грешака указује на побољшану ефикасност и поузданост [11].

Наведени перформансни захтеви у овом одељку су пронашли значајну примену у контексту Друштва 5.0. Као пример интегрисаног ланца пословне вредности се може навести апликација за електронску трговину прехранбеним производима која обједињује три различита микросервиса: паметну фарму која производи храну, произвођача који реализује паковање и паметни транспортни систем за доставу у граду на последњој деоници, како би се обезбедила потпуна интегрисана подршка корисницима [3].

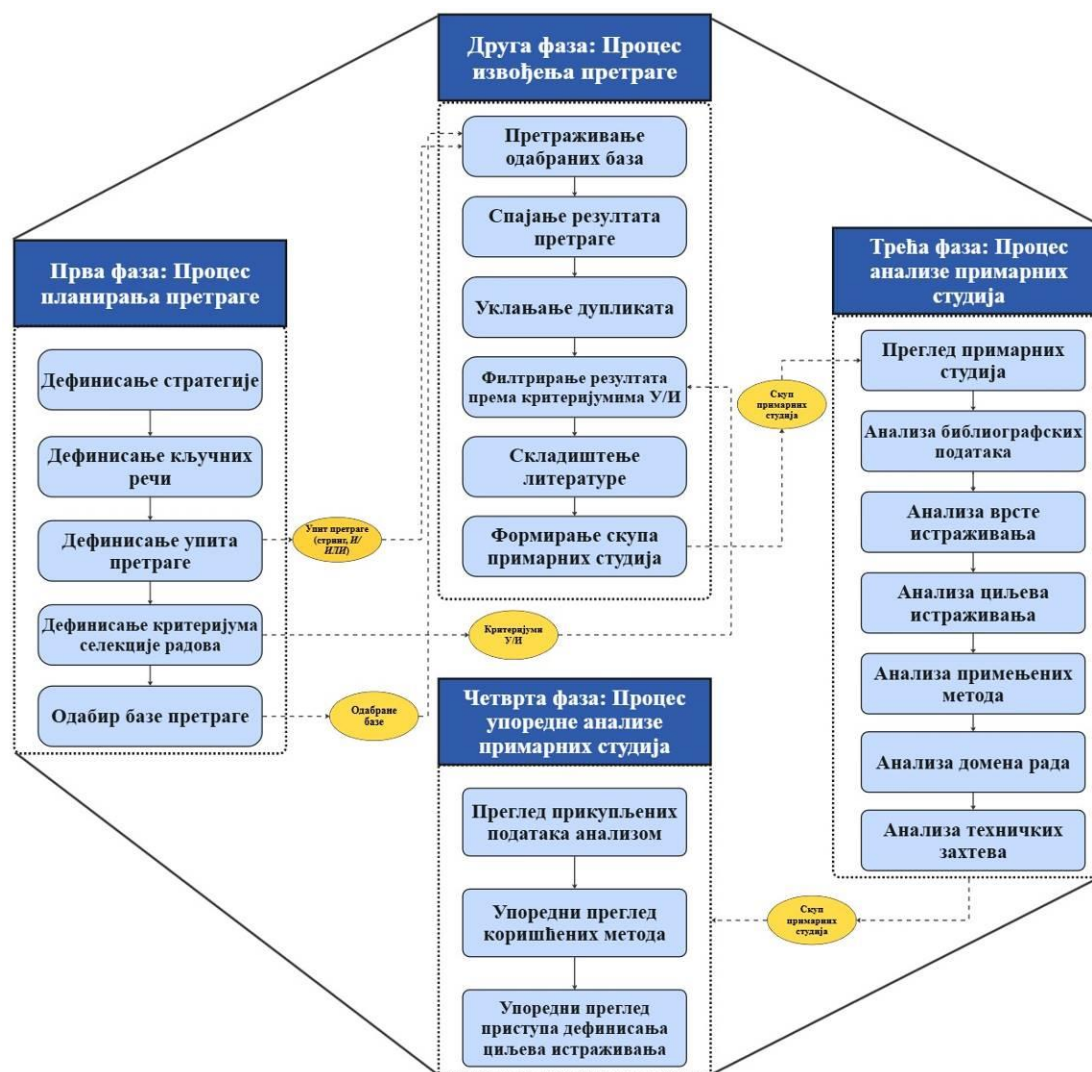
3. АСПЕКТИ ДРУШТВА 5.0 РЕЛЕВАНТНИ ЗА МИКРОСЕРВИСНЕ АРХИТЕКТУРЕ

Друштво 5.0 је концепт који наглашава улогу технологије унутар друштва, фокусирајући се на сарадњу између људи и технолошких система ради решавања друштвених проблема кроз интеграцију виртуелног и стварног света [12]. Перформансни захтеви микросервисних архитектура наведени у другом одељку овог рада су важни за реализацију Друштва 5.0, јер директно

утичу на примену дигиталних технологија, велики број међусобно повезаних сервиса и потребу за ефикасним функционисањем система у различитим областима примене. Скалабилност је важна у контексту Друштва 5.0 због чињенице да системи паметних градова треба да буду скалабилни како би могли ефикасно да одговоре на повећања обима протока сензорских података, количине података који се складиште у базама података, броја уређаја којима управља систем за управљање, количине података које обрађују сервис и апликације, као и броја апликација и корисника [13]-[19]. Када је реч о толеранцији на грешке, према предлогу [20], толеранција на грешке одржава стабилан рад дигиталних система који су оријентисани на дистрибуиране базе података и паралелну обраду великих количина података. Пропусност и капацитет су важни у контексту Друштва 5.0, а као разлог томе аутори [21] наводе да системи морају да обезбеде изузетно велики капацитет, малу латенцију, велики број уређаја, широку покривеност, високу поузданост, ниску потрошњу енергије, дуг век батерије и ниску цену.

4. МЕТОДОЛОШКИ ОКВИР

Вршено је прегледно истраживање усмерено ка идентификацији и систематизацији техничких захтева значајних за микросервисне архитектуре и Друштво 5.0. Полазни циљ истраживања се сводио на идентификацију и упоредну анализу међусобне повезаности захтева у два домена, ради сагледавања доприноса на конкретним примерима у контексту микросервисних архитектура и Друштва 5.0. Креиран је дијаграм дат сликом 1 који представља полазиште истраживачког оквира за претрагу и селекцију научних радова.



Слика 1. Концептуални модел претраге и селекције научних радова

Слика 1 приказује концептуални модел претраге и селекције научних радова према којима је вршено истраживање. Протокол садржи четири кључне фазе: Фазу процеса планирања претраге, Фазу процеса извођења претраге, Фазу процеса анализе примарних студија и Фазу процеса упоредне анализе примарних студија. Процес планирања претраге чини пет подфаза: Дефинисање стратегије претраге, Дефинисање кључних речи, Дефинисање претраживачких упита, Дефинисање критеријума за избор научних радова, Одабир база претраге. У Фази процеса извођења претраге су укључене следеће подфазе: Претраживање одабраних база, Спајање резултата претраге из одабраних база,

Уклањање дупликата претраге, Филтрирање резултата према критеријуму укључења/искључења, Складиштење литературе у одговарајућем алату и Формирање скупа примарних студија. Трећом фазом је дефинисано седам подфаза које су оријентисане на преглед примарних студија и анализе библиографских података, врста истраживања, циљева истраживања, примењених метода, домена радова и техничких захтева. Кроз последњу фазу су приказане три подфазе: Преглед прикупљених података анализом, упоредни прегледи коришћених метода истраживања и приступа дефинисања циљева истраживања. Такође, на основу слике се може закључити и да је у првој фази и њеној подфази заснованој на

дефинисању претраживачких упита дефинисан претраживачки упит који се директно примењује у другој фази и њеној подфази претраживања одабраних база. Слично томе, у првој фази и њеној подфази која се базира на одабиру база претраге се дефинишу конкретне базе која ће се користити током друге фазе и њене подфазе која се базира на претраживању одабраних база. Такође, у првој фази и њеној подфази која се односи на критеријуме за избор научних радова се дефинише критеријум укључења и критеријуми искључења и примењују током фазе извођења претраге и њене подфазе која се односи на филтрирање резултата према критеријуму укључења и критеријумима искључења. У другој фази и њеној подфази која се односи на формирање скупа селектованих студија се врши генерисање скупа селектованих студија и директно се структурише у трећој фази и њеној подфази заснованој на прегледу селектованих студија. У последњем кораку треће фазе се врши систематизација скупа селектованих студија која је у директној релацији са четвртом фазом и њеном подфазом заснованој на прегледу прикупљених података анализом.

Кораци приказани у дијаграму на слици 1 су примењени на конкретне параметре када је реч о процесу претраге и селекције научних радова. У подфази стратегије претраге, осврт је био на следећим параметрима:

- Циљ претраге: Идентификација и селекција примарних студија које се баве микросервисним архитектурама и 5.0 окружењима, како би се издвојили, упоредили и анализирали технички захтеви који су заступљени.
- Језик публикације радова: Енглески језик
- Временски оквир публикације радова: 2010 – 2026
- Типови публикације: Часописи, научне конференције

- Тип претраге: Аутоматизована претрага путем дигиталне библиотеке и аутоматизована претрага путем академског претраживача.

Коришћен је претраживачки упит: Society 5.0 AND (Microservice OR Microservices OR Microservice Architecture) AND (Performance OR Scalability OR Latency OR Availability OR Response Time), креиран на основу наведених кључних речи у упиту и употребом логичких оператора OR и AND на адекватан начин и примењен у одабраним изворима претраге. Као релевантни извори претраге, издвојиле су се базе: IEEE Xplore, Springer, MDPI, као и академски претраживач Google Scholar. По завршетку процеса планирања претраге, у фази процеса извођења претраге је извршено филтрирање резултата претраге према критеријуму укључења и критеријумима искључења. Критеријуми укључења су обухватили следеће параметре:

- Критеријум укључења 1 (U1) – Радови који су искључиво оријентисани на перформансне/техничке захтеве у доменима Друштва 5.0 и микросервисне архитектуре

Када је реч о критеријумима искључења, примењени су следећи:

- Критеријум искључења 1 (I1) – Радови који нису написани на Енглеском језику
- Критеријум искључења 2 (I2) – Радови који су објављени пре 2010. Године
- Критеријум искључења 3 (I3) – Радови који не садрже потпун текст у PDF формату
- Критеријум искључења 4 (I4) – Радови који нису у фокусу перформансних/техничких захтева Друштва 5.0 и микросервиса
- Критеријум искључења 5 (I5) – Радови који су препринт
- Критеријум искључења 6 (I6) – Књиге, докторске дисертације или

завршни дипломски или мастер радови

- Критеријум искључења 7 (I7) – Радови који су селектоване или концептуалне студије.

Идентификовано је укупно 46 научних публикација, који су ускладиштени и детаљно анализирани у Мајкрософт Екселу. Обједињавањем резултата претраге, установљено је да су три рада дупликати и они су одбачени. Након уклањања дупликата, уврштено је укупно 43 научне публикације. Применом наведених критеријума су одбачене 33 научне публикације. Један рад је искључен на основу критеријума I2, два рада на основу критеријума I3, седам радова на основу критеријума I4, два рада применом критеријума I5, једна књига применом критеријума I6, а чак двадесет радова применом критеријума I7. Креиран је скуп примарних студија (ПС1 – ПС10) које су подлегле даљој анализи у истраживању са фокусом на техничке захтеве Друштва 5.0 значајне за микросервисну архитектуру.

За додатно поређење су издвојене студије ПС1, ПС4 и ПС9 које представљају различите контексте примене и архитектонске механизме. Поређење обухвата примењене механизме, предмет евалуације и услове у којима су резултати добијени.

Ознаке примарних студија одговарају следећим библиографским референцама и приказане су у Табели 1.

Табела 1. Библиографске референце

Ознака	Референца
ПС1	[1]
ПС2	[22]
ПС3	[23]
ПС4	[24]
ПС5	[25]
ПС6	[26]
ПС7	[27]
ПС8	[28]
ПС9	[29]
ПС10	[30]

5. РЕЗУЛТАТИ

У овом одељку су приказани упоредни прегледи метода и циљева истраживања, као и поређење архитектонских механизма и услова евалуације у три одабране студије. Табела 2 приказује методе примењене у анализираним примарним студијама.

Табела 2. Коришћене методе

Метода	Примарне студије
Експеримент	ПС2, ПС4, ПС5, ПС8
Експеримент + предлог архитектуре	ПС1
Експеримент + предлог решења	ПС9, ПС10
Компаративна анализа	ПС3
Студија случаја	ПС7
Партиципативни дизајн	ПС6

Табела 2 приказује груписање примарних студија према коришћеним истраживачким методама. На основу приказаних резултата се закључује да преовладава емпиријско истраживање и експериментална метода: [PS2], [PS4], [PS5], [PS8]. Аутори истичу да је коришћена у раду [PS1] експериментална метода са предлогом архитектуре, а у радовима [PS9], [PS10] експерименталне методе са конкретним предлозима и евалуацијама микросервисних архитектура. Табелом 3 је дат упоредни преглед дефинисања циљева истраживања у примарним студијама.

Табела 3. Приступи дефинисања циљева истраживања

Врста циља истраживања	Примарне студије
Имплементација решења	ПС1, ПС4, ПС5, ПС8, ПС9, ПС10
Евалуација перформанси захтева	ПС2, ПС3, ПС5, ПС8, ПС10
Интеграција и примена решења	ПС6, ПС7, ПС9
Обезбеђење квалитета и стабилности система	ПС3, ПС5, ПС7, ПС8, ПС9, ПС10

На основу табеле 3 у којој је извршен упоредни преглед приступа дефинисања циљева истраживања у примарним студијама се може закључити да су се као најзаступљенији приступи издвојили: имплементација решења [PS1], [PS4], [PS5], [PS8], [PS9], [PS10] и обезбеђење квалитета и стабилности система [PS3], [PS5], [PS7], [PS8], [PS9], [PS10]. Такође, у већем броју анализираних радова преовладава евалуација перформансних захтева: [PS2], [PS3], [PS5], [PS8], [PS10]. Управо овај сегмент показује да се истраживање великим делом заснива и на мерењима скалабилности, времену одзива и поузданости система у микросервисним архитектурама и Друштву 5.0.

Постојећи прегледи метода и циљева истраживања су допуњени поређењем архитектонских механизма и услова евалуације у три одабране студије. Табела 4 приказује разлике које су значајне за тумачење њихових налаза.

Табела 4. Архитектонски механизми и евалуација захтева у одабраним студијама

ПС	Механизам	Мерење	Напомена
ПС1	Service mesh и event mesh, синхрона и асинхрона комуникација	Крајња латенција при промени броја повезаних сервиса	Резултати зависе од конфигурације ланца и оптерећења
ПС4	Serverless edge-cloud архитектура	Време преноса, рачунања и укупне обраде	Испитивање при малом оптерећењу, део поређења претпоставља унапред припремљено извршно окружење
ПС9	Intent-based приступ и blockchain контрола приступа	Латенција при промени обима захтева и током симулираних DDoS напада	Резултати се односе на конкретан индустријски сценарио

Поређење студија у табели 4 показује да заједнички интерес за време одзива и латенцију не подразумева истоветну евалуацију. У ПС1 се посматра комуникација у ланцу сервиса, у ПС4 време преноса и рачунања, а у ПС9 понашање при повећаном и злонамерном оптерећењу. Због различитих сценарија није оправдано рангирати решења према пријављеним временима. Њихове налазе треба тумачити у односу на конкретан захтев, примењени механизам и услове испитивања.

Потребно је разликовати и контексте примене. ПС1 и ПС4 изричито посматрају паметне градове у контексту Друштва 5.0, док ПС9 обрађује Индустрију 5.0. Последња студија доприноси поређењу техничких захтева, али примена њених налаза у другим доменима захтева додатно образложење.

6. ЗАКЉУЧАК

Анализа десет примарних студија показује да се повезаност сервисних архитектура и Друштва 5.0 може сагледати кроз захтеве дигиталних система, при чему је у одређеним студијама тај контекст изричито наведен. Додатно поређење три одабрана примера показује да су за тумачење налаза, поред идентификације захтева, значајни архитектонски механизам и услови евалуације. Резултате из тог разлога треба посматрати у границама испитиваних сценарија, уз уважавање малог и хетерогеног скупа студија.

Будућа истраживања могу бити усмерена у правцу систематског прегледа литературе који би обухватио већи број примарних студија и опсежнију анализу захтева микросервисних архитектура у контексту Друштва 5.0.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Calvio, A., Sabbioni, A., Bujari, A., & Foschini, L. An event and service mesh architecture supporting service

- integration in Society 5.0 enabled smart cities. Proceedings of the ACM International Conference on Information Technology for Social Good (GoodIT '23), pp. 462–470. Association for Computing Machinery, New York, NY, 2023.
<https://doi.org/10.1145/3582515.3609568>
- [2] Ghofrani, J., & Lübke, D. Challenges of microservices architecture: A survey on the state of the practice. Proceedings of the 10th Central European Workshop on Services and their Composition (ZEUS 2018), CEUR Workshop Proceedings, Vol. 2072, pp. 1–8. CEUR-WS.org, Aachen, 2018.
- [3] Corradi, A., & Sabbioni, A. Serverless computing for Society 5.0. IT Professional, Vol. 26, No. 5, pp. 79–84. IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA, 2024.
<https://doi.org/10.1109/MITP.2024.3409942>
- [4] Li, Y., & Manoharan, S. A performance comparison of SQL and NoSQL databases. 2013 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM), pp. 15–19. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Piscataway, NJ, 2013.
<https://doi.org/10.1109/PACRIM.2013.6625441>
- [5] Knežević M., Markoski B., Odabir odgovarajuće baze podataka za platformu e-poslovanja, Naučno-stručni časopis, DIT, br. 43, str. 61-66, Društvo inženjera Zrenjanin, Zrenjanin, 2025
- [6] Mylopoulos, J., Chung, L., & Nixon, B. Representing and using nonfunctional requirements: A process-oriented approach. IEEE Transactions on Software Engineering, Vol. 18, No. 6, pp. 483–497. IEEE, Piscataway, NJ, 1992. <https://doi.org/10.1109/32.142871>
- [7] Söylemez, M., Tekinerdogan, B., & Kolukısa Tarhan, A. Challenges and Solution Directions of Microservice Architectures: A Systematic Literature Review. Applied Sciences, Vol. 12, No. 11, Article 5507, 2022.
- [8] Soldani, J., Tamburri, D. A., & van den Heuvel, W.-J. The pains and gains of microservices: A systematic grey literature review. Journal of Systems and Software, Vol. 146, pp. 215–232, 2018.
- [9] Ramu, V. B. Performance impact of microservices architecture. The Review of Contemporary Scientific and Academic Studies, Vol. 3, No. 6, pp. 1–6. The RCSAS, Hyderabad, India, 2023.
<https://doi.org/10.55454/rcsas.3.06.2023.010>
- [10] Munaf, R. M., Ahmed, J., Khakwani, F., & Rana, T. A. Microservices architecture: Challenges and proposed conceptual design. Proceedings of the 2019 International Conference on Communication Technologies (ComTech), pp. 82–87. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Piscataway, NJ, 2019.
<https://doi.org/10.1109/COMTECH.2019.8737831>
- [11] Desina, G. C. Evaluating the impact of cloud-based microservices architecture on application performance. arXiv, arXiv:2305.15438 [Preprint]. Cornell University, Ithaca, NY, 2023.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.15438>
- [12] Rohayati, Y., & Abdillah, A. Digital transformation for era Society 5.0 and resilience: Urgent issues from Indonesia. Societies, Vol. 14, No. 12, Article 266. MDPI, Basel, Switzerland, 2024.
<https://doi.org/10.3390/soc14120266>
- [13] Bastidas, V., Helfert, M., & Bezbradica, M. A requirements framework for the design of smart city reference architectures. Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS 2018), pp. 2516–2523. University of Hawai‘i at Manoa, Honolulu, HI, 2018.
<https://doi.org/10.24251/HICSS.2018.317>
- [14] Cavalcante, E., Alves, M. P., Batista, T., Delicato, F. C., & Pires, P. F. An analysis of reference architectures for the Internet of Things. Proceedings of the 1st International Workshop on Exploring Component-based Techniques for Constructing Reference Architectures (CobRA '15), pp. 13–16. Association for Computing Machinery

- (ACM), New York, NY, 2015.
<https://doi.org/10.1145/2755567.2755569>
- [15] Santana, E. F. Z., Chaves, A. P., Gerosa, M. A., Kon, F., & Milojevic, D. S. Software platforms for smart cities: Concepts, requirements, challenges, and a unified reference architecture. *ACM Computing Surveys*, Vol. 50, No. 6, Article 78, pp. 78:1–78:37. Association for Computing Machinery (ACM), New York, NY, 2017.
<https://doi.org/10.1145/3124391>
- [16] Razzaque, M. A., Milojevic-Jevric, M., Palade, A., & Clarke, S. Middleware for Internet of Things: A survey. *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 3, No. 1, pp. 70–95. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Piscataway, NJ, 2016.
- [17] International Telecommunication Union (ITU-T). Common requirements of the Internet of things. Recommendation ITU-T Y.2066. International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland, 2014.
- [18] Nitti, M., Pilloni, V., Giusto, D., & Popescu, V. IoT architecture for a sustainable tourism application in a smart city environment. *Mobile Information Systems*, Vol. 2017, Article ID 9201640, pp. 1–9. Hindawi Publishing Corporation, Cairo, Egypt, 2017.
<https://doi.org/10.1155/2017/9201640>
- [19] Borgia, E. The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues. *Computer Communications*, Vol. 54, pp. 1–31. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 2014.
<https://doi.org/10.1016/j.comcom.2014.09.008>
- [20] Hashem, I. A. T., Chang, V., Anuar, N. B., Adewole, K., Yaqoob, I., Gani, A., Ahmed, E., & Chiroma, H. The role of big data in smart city. *International Journal of Information Management*, Vol. 36, No. 5, pp. 748–758. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2016.05.002>
- [21] Mishra, P., Thakur, P., & Singh, G. Sustainable smart city to Society 5.0: State-of-the-art and research challenges. *SAIEE Africa Research Journal*, Vol. 113, No. 4, pp. 152–164. South African Institute of Electrical Engineers (SAIEE), Johannesburg, South Africa, 2022.
<https://doi.org/10.23919/SAIEE.2022.9945865>
- [22] Ortiz, G., Caravaca, J. A., García-de-Prado, A., Chávez de la O, F., & Boubeta-Puig, J. (2019). Real-Time Context-Aware Microservice Architecture for Predictive Analytics and Smart Decision-Making. *IEEE Access*, 7, 183177–183194
- [23] Nayim, N. N., Karmakar, A., Ahmed, M. R., Saifuddin, M., & Kabir, M. H. (2023). Performance Evaluation of Monolithic and Microservice Architecture for an E-commerce Startup. In *2023 26th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT)* (pp. 1–5). IEEE
- [24] Maciá-Lillo, A., Mora, H., Jimeno-Morenilla, A., García-D’Urso, N. E., & Azorín-López, J. (2025). AI edge cloud service provisioning for knowledge management smart applications. *Scientific Reports*, 15, Article 32246
- [25] Weerasinghe, L. D. S. B., & Perera, I. (2024). Reference Architecture for Microservices with an Optimized Inter-Service Communication Strategy. In *2024 International Research Conference on Smart Computing and Systems Engineering (SCSE)* (pp. 1–6). IEEE
- [26] Restrepo-Carmona, J. A., Zuluaga, J. C., Flórez, D. A., Gómez, M. S., Londoño, L., Gómez, G., Villamil, R. M., Morales, O., Hurtado, Á. M., Escobar, C. A., Sierra-Pérez, J., & Vásquez, R. E. (2024). The Design of a Strategic Platform for the Smart Supervision of Public Expenditure for Colombia in the Context of Society 5.0. *Urban Science*, 8(3), Article 117
- [27] Nitulescu, I.-V., Korodi, A., & Curiac, D.-I. (2026). Industry 5.0: An Extended Experimental Case for Implementing a Multi-Level Framework for Enterprise Integration. *IEEE Access*, 14, 8839–8853
- [28] Alanezi, K., & Mishra, S. (2022). Utilizing Microservices Architecture for Enhanced Service Sharing in IoT Edge

- Environments. IEEE Access, 10, 90034–90044
- [29] Zeydan, E., Mangués, J., Arslan, S. S., Turk, Y., Hewa, T., Liyanage, M., & O’Mahony, A. (2025). Reconfigurable Production Lines for Industrial 5.0 Automation: An Intent-Based Approach. IEEE Open Journal of the Computer Society, 6, 1341–1352
- [30] Zhang, P., Xiang, L., Song, Z., & Yang, Y. (2025). Adaptive load balancing and

fault-tolerant microservices architecture for high-availability web systems using docker and spring cloud. Discover Applied Sciences, 7, Article 705

Адреса аутора: Тамара Милић, Мастер инжењер
информационих технологија, Висока техничка
школа струковних студија у Зрењанину, Ђорђа
Стратимировића 23, Зрењанин, Република Србија
е-маил: tamara.milic@vts-zr.edu.rs
Рад примљен: Септембар 2026.
Рад прихваћен: Септембар 2026.

PRIMENA DIMENZIONE ANALIZE U RAZMATRANJU KONSTANTE 1836,15 KAO ODNOSA MASE PROTONA I MASE ELEKTRONA

APPLICATION OF DIMENSIONAL ANALYSIS IN CONSIDERING THE CONSTANT 1836.15 AS THE PROTON-TO-ELECTRON MASS RATIO

MILE D. LOVRE¹

¹ Profesor struk. stud., Nezavisni istraživač, Zrenjanin, Republika Srbija

REZIME

U ovom radu razmatra se bezdimenzionalni odnos mase protona i mase elektrona ($m_p/m_e \approx 1836,15$) primenom metoda dimenzione analize (Bakingamov π -teorem) u Međunarodnom sistemu jedinica (SI). Obuhvaćen je skup ključnih prirodnih konstanti: brzina svetlosti (c), gravitaciona konstanta (G), Plankova konstanta (h), Ridbergova konstanta (R_∞), dielektrična konstanta vakuuma (ϵ_0), elementarno naelektrisanje (e), konstanta fine strukture (α) i energijska skala jake sile (Λ_{QCD}). Prikazano je da se masa elektrona može egzaktno i analitički izraziti preko elektromagnetnih i kvantnih konstanti ($m_e = 2hR_\infty/c\alpha^2$). Nasuprot tome, za masu protona, usled njene pretežno dinamičke prirode u Kvantnoj hromodinamici (QCD), neophodno je uvođenje energijske skale jake sile Λ_{QCD} . Logaritamskim diferenciranjem dobijenih dimenzionih jednačina analizirane su relacije relativnih promena (diferencijala) konstanti u kontekstu kosmološkog variranja.

Ključne reči: dimenziona analiza, prirodne konstante, masa protona, masa elektrona, odnos mase protona i elektrona, kvantna hromodinamika.

ABSTRACT

This paper considers the dimensionless ratio of the proton mass to the electron mass ($m_p/m_e \approx 1836,15$) by applying the methods of dimensional analysis (the Buckingham - theorem) within the International System of Units (SI). The set of key fundamental constants considered includes the speed of light (c), gravitational constant (G), Planck constant (h), Rydberg constant (R_∞), vacuum permittivity (ϵ_0), elementary charge (e), fine-structure constant (α), and the energy scale of the strong force (Λ_{QCD}). It is shown that the electron mass can be expressed exactly and analytically in terms of electromagnetic and quantum constants ($m_e = 2hR_\infty/c\alpha^2$). In contrast, due to the predominantly dynamical nature of the proton mass in Quantum Chromodynamics (QCD), it is necessary to introduce an energy scale associated with the strong force. By logarithmic differentiation of the obtained dimensional equations, the relations between the relative changes (differentials) of the constants are analyzed in the context of cosmological variation.

Key words: dimensional analysis, fundamental constants, proton mass, electron mass, proton-to-electron mass ratio, quantum chromodynamic

1. UVOD

Poreklo fundamentalnih fizičkih konstanti i njihovih bezdimenzionalnih odnosa predstavlja jedan od važnih problema savremene teorijske fizike. Posebna pažnja posvećena je strukturi mase protona m_p i njenom odnosu prema masi elektrona m_e :

$$\mu_p = \frac{m_p}{m_e} \approx 1836,152673$$

Dok je elektron fundamentalna čestica (lepton) čija masa potiče od interakcije sa Higsovim poljem, proton je složeni hadron izgrađen od tri valentna kvarka (uud). Zbir tekućih (strujnih) masa ovih kvarkova čini manje od 1% ukupne mase protona ($\sim 8,99 \text{ MeV}/c^2$), dok preostalih $\sim 99\%$ mase nastaje dinamički, usled kinetičke i energije vezivanja gluonskog polja u QCD-u.

U ovom radu primenjuje se Bakingamov π -teorem radi analize mogućih analitičkih relacija između m_e , m_p i ostalih fundamentalnih konstanti.

2. METODOLOGIJA:

BAKINGAMOV π -TEOREM U SI SISTEMU

Bakingamov π -teorem nalaže da ako u fizičkom problemu postoji N veličina, a one se izražavaju preko K osnovnih fizičkih dimenzija, ukupan broj nezavisnih bezdimenzionalnih kompleksa iznosi:

$$p = N - K$$

U SI sistemu imamo $K = 4$ osnovne dimenzije: masa (M), dužina (L), vreme (T) i jačina električne struje (I).

2.1. DIMENZIJE OBUHVAĆENIH KONSTANTI

1. Brzina svetlosti (c): $[c] = LT^{-1}$
2. Gravitaciona konstanta (G):
 $[G] = M^{-1}L^3T^{-2}$
3. Plankova konstanta (h):
 $[h] = ML^2T^{-1}$

4. Ridbergova konstanta (R_∞):

$$[R_\infty] = L^{-1}$$

5. Dielektrična konstanta vakuuma

$$(\epsilon_0): [\epsilon_0] = M^{-1}L^{-3}T^4I^2$$

6. Elementarno naelektrisanje (e):

$$[e] = IT$$

7. Konstanta fine strukture (α):

$$[\alpha] = 1(\text{bezdimenzionalna})$$

8. Energijska skala jake sile (Λ_{QCD}):

$$[\Lambda_{\text{QCD}}] = ML^2T^{-2}(\text{energija})$$

9. Masa elektrona (m_e) / protona

$$(m_p): [m] = M$$

3. DIMENZIONA ANALIZA MASE ELEKTRONA (m_e)

3.1. FORMULACIJA BEZ GRAVITACIJE

Postavimo dimenzionu jednačinu u kojoj učestvuju $c, h, \epsilon_0, R_\infty, e$ i masa m_e :

$$c^x \cdot h^y \cdot \epsilon_0^z \cdot R_\infty^u \cdot e^v = m_e$$

Uvrštavanjem dimenzionalnih oblika i izjednačavanjem eksponenata dobija se sistem homogenih jednačina:

- Za M : $y - z = 1 \Rightarrow y = z + 1$
- Za I : $2z + v = 0 \Rightarrow v = -2z$
- Za T :
 $-x - y + 4z + v = 0 \Rightarrow x = z - 1$
- Za L : $x + 2y - 3z - u = 0 \Rightarrow u = 1$

Opšte rešenje zavisi od slobodnog parametra z :

$$m_e = C \cdot \frac{hR_\infty}{c} \cdot \left(\frac{\epsilon_0 h c}{e^2} \right)^z$$

3.2. FIZIČKI TUMAČENI SLUČAJEVI

Kako je recipročna vrednost konstante fine strukture data kao $\frac{\epsilon_0 h c}{e^2} = \frac{1}{2\alpha}$:

- Za $z = 0$: dobija se osnovni atomsko - spektralni oblik $m_e \propto \frac{hR_\infty}{c}$.

- **Za $z = 2$:** eliminacijom nepoznatog koeficijenta ($C = 8$) dobija se **egzaktna CODATA relacija** za masu elektrona:

$$m_e = \frac{8\varepsilon_0^2 h^3 c R_\infty}{e^4} = \frac{2hR_\infty}{c\alpha^2}$$

4. DIMENZIONA ANALIZA MASE PROTONA (m_p) I ULOGA Λ_{QCD}

Ako u dimenzionu jednačinu umesto R_∞ unesemo parametar jake sile Λ_{QCD} :

$$c^x \cdot h^y \cdot \varepsilon_0^z \cdot e^u \cdot \Lambda_{\text{QCD}}^v = m_p$$

Rešavanjem odgovarajućeg algebarskog sistema po dimenzijama M, L, T, I , dobija se rezultat da je eksponent $v = 1$ fiksiran:

$$x = z - 2, \quad y = z, \quad u = -2z, \quad v = 1$$

Konačan opšti oblik izraza za masu protona je:

$$m_p = C \cdot \frac{\Lambda_{\text{QCD}}}{c^2} \left(\frac{\varepsilon_0 h c}{e^2} \right)^z = C \cdot \frac{\Lambda_{\text{QCD}}}{c^2} \left(\frac{1}{2\alpha} \right)^z$$

Tabela 1 - Uporedni pregled oblika mase protona za različite vrednosti parametra z

parametar z	izraz preko fundamentalnih konstanti	zapisan preko Λ_{QCD} i α	fizičko tumačenje
$z = 0$	$m_p = C_0 \frac{\Lambda_{\text{QCD}}}{c^2}$	$m_p = C_0 \frac{\Lambda_{\text{QCD}}}{c^2}$	Čista QCD dinamička masa (Ajnštajnova relacija $E = mc^2$)
$z = 1$	$m_p = C_1 \frac{\Lambda_{\text{QCD}} \varepsilon_0 h c}{e^2}$	$m_p = \frac{C_1}{2\alpha} \frac{\Lambda_{\text{QCD}}}{c^2}$	Linearna elektromagnetna korekcija mase protona
$z = 2$	$m_p = C_2 \frac{\Lambda_{\text{QCD}} \varepsilon_0^2 h^2}{e^4}$	$m_p = \frac{C_2}{4\alpha^2} \frac{\Lambda_{\text{QCD}}}{c^2}$	Kvadratna EM korekcija (brzina svetlosti c se potpuno eliminiše!)

5. PRORAČUN EKSPONENCIJALNOG SKALIRANJA PO EKSPONENTU z

Ako postavimo opštu relaciju

$$m_p(z) = m_{p,0} \cdot \left(\frac{1}{2\alpha} \right)^z, \text{ gde je } \frac{1}{2\alpha} \approx 68,518 \text{ a}$$

$m_{p,0} \approx 938,27 \text{ MeV}/c^2$, dobija se sledeća skala energija:

Tabela 2 - Vrednosti mase/energije za eksponente $z = 0$ do 10

z	formulska relacija	vrednost u MeV/c^2 GeV/c^2	masa u kg
0	$m_{p,0}$	938,27 MeV/c^2 (0,938 GeV)	$1,6726 \times 10^{-27} \text{ kg}$
1	$m_{p,0} \cdot (68,518)^1$	64,29 GeV/c^2	$1,1460 \times 10^{-25} \text{ kg}$
2	$m_{p,0} \cdot (68,518)^2$	4,405 TeV/c^2	$7,8521 \times 10^{-24} \text{ kg}$
3	$m_{p,0} \cdot (68,518)^3$	301,8 TeV/c^2	$5,3801 \times 10^{-22} \text{ kg}$
4	$m_{p,0} \cdot (68,518)^4$	20,68 PeV/c^2	$3,6864 \times 10^{-20} \text{ kg}$
5	$m_{p,0} \cdot (68,518)^5$	1,417 EeV/c^2	$2,5259 \times 10^{-18} \text{ kg}$
9	$m_{p,0} \cdot (68,518)^9$	31,23 YeV/c^2 ($3,12 \times 10^{19} \text{ GeV}$)	$5,5670 \times 10^{-11} \text{ kg}$
10	$m_{p,0} \cdot (68,518)^{10}$	2139,8 YeV/c^2	$3,8144 \times 10^{-9} \text{ kg}$

Napomena: Kod vrednosti $z = 9$, energija ($3,12 \times 10^{19} \text{ GeV}$) dostiže i premašuje **Plankovu skalu mase** ($m_p \approx 1,22 \times 10^{19} \text{ GeV}/c^2$), gde kvantno - gravitacioni efekti postaju dominantni.

6. DIFERENCIRANJE DIMENZIONIH JEDNAČINA (VARIJACIJA KONSTANTI)

Logaritamskim diferenciranjem opšte bezdimenzionalne jednačine $\Pi = 1$ dobija se relacija izjednačena sa nulom:

$$\sum_i p_i \frac{dA_i}{A_i} = 0$$

Uvođenjem oznaka za relativne varijacije

$$\delta X = \frac{dX}{X},$$

- Za atomsko-spektralni kompleks:

$$\delta h + \delta R_\infty - \delta m_e - \delta c = 0$$

- Za elektromagnetni kompleks:

$$2\delta e - \delta \epsilon_0 - \delta h - \delta c - \delta \alpha = 0$$

- Za gravitacioni kompleks:

$$\delta G + 2\delta m_e - \delta h - \delta c = 0$$

Ove algebarske veze pokazuju da eventualna kosmološka evolucija jedne fundamentalne konstante (npr. G u Dirakovoj hipotezi velikih brojeva) mora biti tačno kompenzovana varijacijama ostalih parametara kako bi bezdimenzionalni principi ostali očuvani.

7. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Dimenziona analiza dokazuje da se masa elektrona m_e može potpuno analitički konstruisati preko kvantno-elektrodinamičkih parametara. Nasuprot tome, odnos mase protona i elektrona ($m_p/m_e \approx 1836,15$) ne može se izvesti samo iz elektromagnetnih i atomskih skala.

Razlog je u tome što nastanak mase protona pripada domenu Kvantne hromodinamike (QCD), gde dinamičko narušavanje hiralne simetrije u vakuumu generiše masenu skalu reda 1 GeV preko parametra Λ_{QCD} . Ograničenje čiste dimenzionalne analize ogleda se u nemogućnosti određivanja apsolutne vrednosti bezdimenzionalnih koeficijenata C , koji se moraju kalibrisati eksperimentalnim merenjima.

8. LITERATURA

- [1] S. D. Cvijović, A. Ž. Tasić, i B. D. Đorđević, Jedinice, dimenzije i dimenziona analiza (Građevinska knjiga; Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 1980).
- [2] P. Marinković, Fizika atomskog jezgra (Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2018).
- [3] I. Aničin, Uvod u fiziku mikrovisokih energija i elementarnih čestica (Fizički fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2001).
- [4] S. Popović, Subatomska fizika: Čestice i polja (Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Novom Sadu, Novi Sad, 2008).
- [5] A. Srećković, Uvod u astrofiziku i kosmologiju (Fizički fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2015).
- [6] L. Vukićević-Karabin i O. Atanacković, Opšta astrofizika (Zavod za udžbenike, Beograd, 2010).
- [7] CODATA, Recommended values of the fundamental physical constants (NIST Physical Measurement Laboratory, 2022), dostupno na <https://physics.nist.gov/cuu/Constants/>.

Adresa Autora: Lovre Mile, Prof. Struk. Stud,
Nezavisni istraživač, Zrenjanin
e-mail: lovremile@gmail.com
Rad primljen: Septembar 2026.
Rad prihvaćen: Septembar 2026.

PRIMENA INFORMACIONIH TEHNOLOGIJA U NADZORU POSTUPAKA PREČIŠĆAVANJA VAZDUHA

THE UTILIZATION OF INFORMATION TECHNOLOGY IN SUPERVISING AIR PURIFICATION PROCEDURES

MILJAN MILETIĆ¹
MILORAD RANČIĆ²
MALIŠA STEFANOVIĆ¹

¹Akademija strukovnih studija Kruševac, odsek tehničko tehnoloških studija Kruševac

²Društvo inženjera u Zrenjaninu, Zrenjanin

REZIME

Ovo istraživanje razmatra primenu informacionih tehnologija za prikupljanje i analizu podataka koji potiču od različitih konfiguracija senzora i aktuatora. Nakon merenja više kategorija parametara – uključujući digitalne, analogne, električne i neelektrične vrednosti – sa uređaja kao što su senzori i aktuatori, prikupljeni podaci se prenose u sistem baze podataka. Zatim se sprovode operacije obrade podataka putem upravljanja bazom podataka, a nakon računarske analize, komandni signali se šalju kontrolerima zaduženim za regulisanje procesa prečišćavanja vazduha. Analizirani podaci omogućavaju izradu detaljnih izveštaja o upravljanju za organizacije specijalizovane za usluge prečišćavanja vazduha. Prednost je data ekonomski isplativim opcijama mikrokontrolera i senzora koji ispunjavaju najstrože zahteve kvaliteta. Integrisani su napredni programski jezici – Micro C, C++, PHP, MySQL i Python – koji sinergijski deluju kako bi se postigle vrhunske performanse. Cilj istraživanja je da se pokaže kako se ekonomski pristupačne i široko dostupne komponente mogu sastaviti u pouzdan sistem koji daje rezultate kvaliteta uporedivog sa onima koji se dobijaju

korišćenjem skupih profesionalnih industrijskih mikrokontrolera i senzora. Zbog svoje ekonomske isplativosti i široke dostupnosti, ovi mikrokontroleri i senzori predstavljaju dragocene obrazovne resurse za visokoškolske ustanove, pružajući izuzetne mogućnosti za praktičnu obuku u merenju, učenje programiranja i razvoj aplikacija za evidentiranje i analizu podataka o životnoj sredini. Istovremeno, njihova primena unapređuje razumevanje studenata o suštinskom značaju zaštite životne sredine.

Ključne reči: Senzori, Mikrokontroler, Baza podataka, Aktuatori.

ABSTRACT

This investigation examines the utilization of information technology for the collection and analysis of data originating from various sensor and actuator configurations. Upon measurement of multiple parameter categories—encompassing digital, analog, electrical, and non-electrical values—from sensor and actuator devices, the acquired data are transferred into a database system. Data processing operations are subsequently executed through database management, and following computational analysis, command

signals are dispatched to controllers responsible for regulating air purification operations. The analyzed data enable the production of detailed management reports for organizations specializing in air purification services. Priority has been accorded to economically viable microcontroller and sensor options that conform to the most rigorous quality requirements. Advanced programming languages have been integrated, namely Micro C, C++, PHP, MySQL, and Python, which function synergistically to achieve superior performance. The research objective is to establish that economically accessible and widely available components can be assembled into a dependable system producing results of comparable quality to

those obtained through expensive professional industrial microcontrollers and sensors. Given their economic viability and widespread availability, these microcontrollers and sensors represent valuable educational resources for academic institutions engaged in higher learning, offering exceptional opportunities for practical measurement training, programming education, and the creation of applications for environmental data documentation and analysis. Concurrently, their application strengthens student comprehension of environmental protection's fundamental significance.

Key words: Sensors, Microcontroller, Database, Actuators.

1. UVOD

Ovo istraživanje ima za cilj da ispita i pokaže izvodljivost korišćenja isplativih komponenti, posebno senzora koji se koriste kod Arduino i sličnih razvojnih platformi, a koji predstavljaju ekonomski povoljne alternative senzorima i kontrolerima industrijske klase. Uvodni deo objašnjava principe rada senzora primenjenih u ovom projektu, uz prikaz njihovih električnih šema i primera programskog koda. Naredni deo opisuje metode prikupljanja podataka sa ugrađenih (embedded) kontrolera pomoću programskog jezika Python. Ovi podaci se zatim prenose u MySQL bazu podataka korišćenjem programskog jezika PHP. Za programiranje Arduino uređaja i drugih ugrađenih sistema koristi se jezik C, dok desktop aplikacija razvijena u jeziku C++ omogućava nadzor i upravljanje procesima prečišćavanja vode, kao i generisanje izveštaja. Na kraju je prikazana električna šema kreirana pomoću softvera Proteus, koji predstavlja dragocen resurs za razumevanje i savladavanje projektovanja elektronskih kola i razvoja sistema zasnovanih na mikrokontrolerima i mikroprocesorima, zahvaljujući svojoj sveobuhvatnoj biblioteci elektronskih komponenti, pretvarača, aktuatora i mehaničkih uređaja [1]. Potencijal ove aplikacije je veliki, naročito u obrazovne svrhe i za sprovođenje akademskih istraživanja, jer

omogućava simulaciju u realnom vremenu: povezivanje Arduino mikrokontrolera, uključivanje pretvarača, unos programskog koda za mikrokontroler i izvršavanje simulacija kao da se svi uređaji fizički nalaze na istom mestu. Aplikacija takođe obuhvata različite instrumente za merenje električnih parametara, uključujući ampermetre, voltmetre, analizatore talasnih oblika, generatore signala i slične uređaje. Akademski istraživači mogu da razviju projekat, provere sve rezultate i analiziraju programski kod napisan za mikrokontroler, te nakon potvrde da sistem funkcioniše u skladu sa specifikacijama, mogu pristupiti nabavci neophodne opreme [2].

2. PRIMENJENA SENZORSKA TEHNOLOGIJA

DHT22 senzor za merenje temperature i vlažnosti vazduha objedinjuje dva zasebna merna elementa. Komponentu za merenje temperature i komponentu za merenje vlažnosti. Ove komponente koji koriste zajedničko napajanje (pin 1 VCC +5V, pin 4 GND) i zajednički pin za izlaz podataka (pin 2 DATA) slika 1.

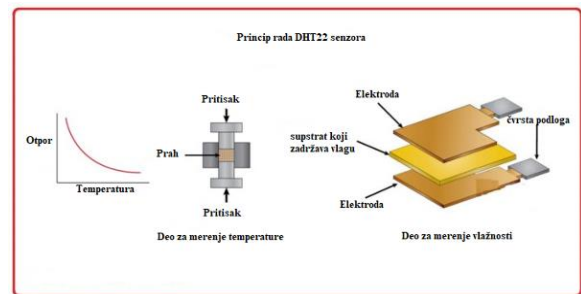


Slika 1. DHT22 senzor za merenje temperature i vlažnosti vazduha [3].

Komponenta za merenje temperature izvedena je kao NTC termistor. Princip rada merenja temperature zasniva se na promeni (modulaciji) karakteristika otpornosti senzora. S obzirom na NTC prirodu senzora, porast temperature dovodi do smanjenja vrednosti otpornosti, dok pad temperature uzrokuje njeno povećanje. Ova promena otpornosti stoji u determinističkoj vezi sa vrednostima temperature, što omogućava pretvaranje fluktuacija otpornosti u odgovarajuća merenja temperature putem uporedne analize.[4, 5, 6, 7]

Senzor DHT22 funkcioniše na principu promene kapacitivnosti. Sastoji se od dve elektrode između kojih se nalazi dielektrični materijal. Vлага iz vazduha menja

kapacitivnost, odnosno električnu provodljivost slika 2.



Slika 2. Princip rada DHT22 senzora [6].

Procesor detektuje ovu promenu, obrađuje podatke i daje izmerenu vrednost zajedno sa očitavanjem senzora temperature. Značajno ograničenje ovih senzora je vreme odziva od 2 sekunde, što može predstavljati izazov za određene radne cikluse koji zahtevaju visoku preciznost. Opseg merenja temperature kreće se od -40°C do $+80^{\circ}\text{C}$, uz tačnost merenja od $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Opseg merenja relativne vlažnosti obuhvata vrednosti od 0 do 100% RH, uz tačnost merenja od $\pm 3\%$ RH.

Na slici 3 prikazan je izvorni kod dizajniran za procenu nivoa temperature i vlažnosti vazduha.

```

Arduino Mega or Mega 2...
sketch_sep27a.ino
1  #include "DHT.h" // Uključuje biblioteku za rad sa DHT senzorom
2  #define DHTPIN 2 // Definisanje digitalnog pin2 za rad sa senzorom
3  DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
4
5  void setup() {
6      Serial.begin(9600);
7      Serial.println("DHTxx test!");
8      dht.begin();
9  }
10 void loop() {
11     delay(2000); // Wait a few seconds between measurements
12     float h = dht.readHumidity();
13     // Reading temperature or humidity takes about 250 milliseconds!
14     float t = dht.readTemperature();
15     // Read temperature as Celsius (the default)
16     if (isnan(h) || isnan(t)) {
17         Serial.println("Proverite Vas DHT senzor!");
18         return;
19     }
20     float hic = dht.computeHeatIndex(t, h, false);
21     Serial.print ("Humidity: ");
22     Serial.print (h);
23     Serial.print (" %\t");
24     Serial.print ("Temperature: ");
25     Serial.print (t);
26     Serial.print (" *C ");
27 }
28

```

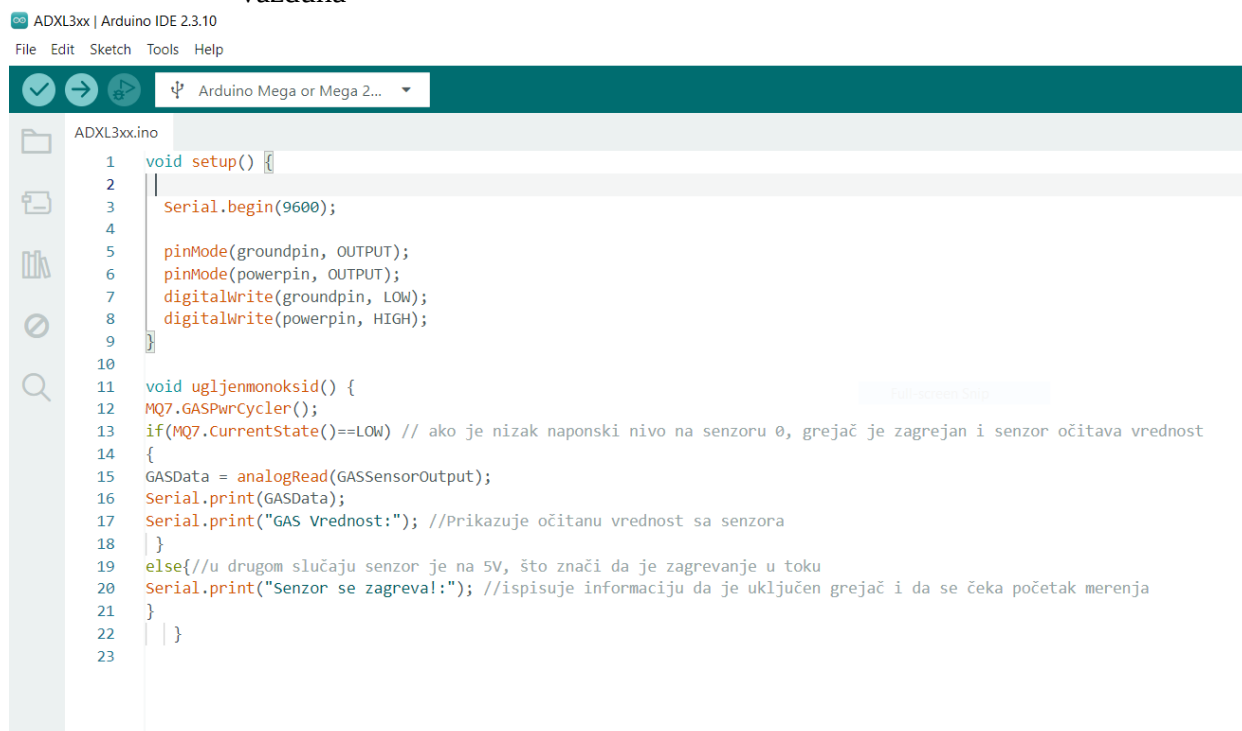
Slika 3. Izvorni kod Arduino senzor DHT22.

Senzor kvaliteta vazduha MQ-135 radi na principu detekcije promena otpornosti koje nastaju usled širenja otpornog elementa. Senzor sadrži unutrašnji mehanizam za zagrevanje, pri čemu je jedan priključak povezan sa masom (uzemljenjem) preko otporne komponente. Kada se mehanizam za zagrevanje aktivira, određeni materijal se termički širi, što dovodi do promene toka električne struje u trenutku kada elektroda dođe u kontakt sa gasovitim supstancama.



Slika 4. Senzor MQ135 za merenje kvaliteta vazduha

Senzor za detekciju gasova MQ-135 ima sposobnost prepoznavanja različitih gasova, uključujući amonijak (NH_3), sumpor (S), benzen (C_6H_6), ugljen-dioksid (CO_2), kao i druga štetna gasovita jedinjenja i dim. Kao i slični senzori iz serije MK, ovaj senzor poseduje i digitalni i analogni izlazni kanal. Ukoliko koncentracija gasa u vazduhu premaši unapred zadatu graničnu vrednost, digitalni kanal prelazi u stanje visokog naponskog nivoa (high state). Ova granična vrednost se može podesiti pomoću potencijometra postavljenog na pločicu senzora. Analogni izlazni kanal daje analogni naponski signal koji omogućava određivanje koncentracije ovih gasova u atmosferi.[8, 9]

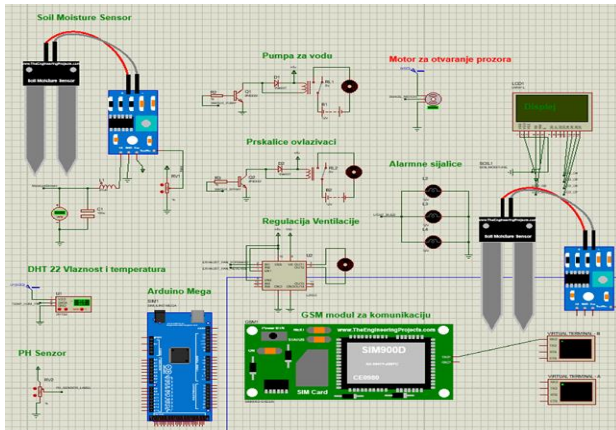


Slika 5. Izvorni kod Arduino senzor MQ135.

3. DIJAGRAMSKA ILUSTRACIJA U PROGRAMSKOM OKRUŽENJU „PROTEUS”

Naredna ilustracija prikazuje šematski prikaz izrađen u softverskom okruženju Proteus. Integrirani senzori, preuzeti iz biblioteka programa Proteus, uključeni su kako bi se omogućilo merenje temperature okoline, pH

vrednosti vode, parametara vlažnosti i temperature zemljišta, kao i pokazatelja kvaliteta vazduha. Šematski prikaz takođe prikazuje različite aktuatore, servo-mehanizme i kontrolere dizajnirane za upravljanje vlažnošću zemljišta putem sistema za dovod vode povezanih sa prskalicama za navodnjavanje.



Slika 6. Šematski prikaz uređaja razvijen u programu Proteus.

Pored toga, prikazan je i podsistem za ventilaciju, kod kojeg se regulacija protoka vazduha postiže modulacijom brzine motora ventilatora pomoću kontrolera i PWM (modulacija širine impulsa) regulacije. Šematski prikaz obuhvata priključne tačke i

uređaje za praćenje električne struje i napona, komponente za serijsku komunikaciju, sisteme sa LED indikatorima za signalizaciju stanja prekomerno visokih ili niskih vrednosti, kao i GSM modul konfigurisan za slanje poruka i generisanje izveštaja.

4. PRIKUPLJANJE INFORMACIJA I ANALITIČKA OBRADA

Mikroprocesorska jedinica prikuplja podatke sa senzora i prosleđuje ih putem „PHP” skripte radi smeštanja u sistem baze podataka. Korišćena je arhitektura „MySQL” baze podataka, pri čemu je konfiguracija tabele za prikupljanje podataka prikazana na Slici 7.

PodaciID	temperatura_ulaz	temperatura_izlaz	vlaznost_ulaz	vlaznost_izlaz	protok_ulaz	protok_izlaz	datum_vreme
1	20	21	78	67	100	94	2021-04-01 12:01:12
2	20	21	78	68	100	95	2021-04-01 12:05:12
3	21.1	21.3	78	67	96.9	94.9	2021-04-01 12:07:12
4	20.8	21.3	78.2	67.1	100	94.5	2021-04-01 12:09:12
5	20.9	21.4	78.1	67.2	100	94.3	2021-04-01 12:12:12
6	20.8	21.3	78.2	67.1	100	94.5	2021-04-01 12:14:12
7	20.9	21.4	78.1	67.2	100	94.3	2021-04-01 12:16:12
8	20.8	21.3	78.2	67.1	100	94.5	2021-04-01 12:18:12
9	20.9	21.4	78.1	67.2	100	94.3	2021-04-01 12:19:12
10	20.8	21.3	78.2	67.1	100	94.5	2021-04-01 12:20:12
11	21.9	21.4	78.1	67.6	100	94.3	2021-04-01 12:22:12
12	20.9	21.4	78.2	68.9	100	94.1	2021-04-01 12:24:12

Slika 7. Prikaz tabele merenja u programu phpMyAdmin.

U poljima tabele beleže se vrednosti merenja temperature na ulazu i izlazu iz jedinice za prečišćavanje, nivoi relativne vlažnosti na ulazu i izlazu, kao i brzine protoka vazduha merene ispred ulaznih i izlaznih filtera uređaja za jonizaciju vazduha. Poslednje polje u ovoj tabeli sadrži informacije o vremenu (vremensku oznaku). Podaci sa senzora se preuzimaju u intervalima od 2 minuta i unose u bazu podataka. Vremenski interval između uzastopnih unosa podataka može se znatno povećati, s obzirom na to da program vrši

naknadnu obradu podataka; ipak, tokom početne instalacije uređaja (budući da parametri okruženja variraju u zavisnosti od lokacije), program započinje rad sa intervalima beleženja od 2 minuta. Nakon što se postigne ravnoteža sistema i završi proces prilagođavanja, ovaj interval se produžava na 5 ili 10 minuta. To značajno utiče na kapacitet skladištenja potreban u okviru baze podataka i prostor zauzet na SSD disku integrisanom u mikroračunar. Radi optimizacije iskorišćenosti prostora za skladištenje, program arhivira tabele sa

podacima nakon mesec dana rada i uklanja podatke koji se odnose na taj period. Program održava neprekidan rad i nastavlja da usavršava svoje mehanizme kontrole izlaznih parametara na osnovu sačuvanih skupova podataka [5].

5. ZAKLJUČAK

Cilj ovog istraživanja je razmatranje alternativne strategije za prikupljanje i obradu informacija o mehanizmima prečišćavanja vazduha. Korišćeni senzori pružaju zadovoljavajuće performanse za primenu u obrazovnim okruženjima, naučnim istraživačkim programima i praktičnim civilnim rešenjima. Njihovom primenom može se izgraditi pouzdana informaciona osnova i omogućiti odgovarajuća stručna priprema inženjera u oblastima programiranja, konstrukcionog projektovanja i zaštite životne sredine. Relativno niska cena ovih uređaja pruža široke mogućnosti za tehnološki napredak i razvoj inovativnih metodologija. U slučajevima primene koji zahtevaju izuzetnu pouzdanost i visok stepen bezbednosti, upotrebu ovakvih senzorskih tehnologija i platformi sa mikrokontrolerima treba ograničiti u korist proverenih industrijskih rešenja, koja uključuju sisteme upravljanja putem PLC-a (programabilnih logičkih kontrolera) i opremu sa poboljšanim zaštitnim mehanizmima, većom preciznošću merenja i dužim radnim vekom. Na osnovu prethodnih analitičkih rezultata, ključna razlika se ogleda u pouzdanosti sistema i tačnosti merenja. Empirijski podaci potvrđuju da se efikasno i pouzdano rešenje može postići integracijom znatno jeftinijih i lakše dostupnih komponenti, što je od velikog značaja s obzirom na poteškoće u nabavci uzrokovane pandemijom virusa kovid 19 i sukobom u Ukrajini, Iranu, Izraelu. Rezultati dobijeni primenom ovih metoda pokazuju zadovoljavajući kvalitet rada i predstavljaju ekonomski isplativa rešenja.

7. LITERATURA

- [1] R. J. Katulski, J. Namieśnik, J. Stefański, J. Sadowski, W. Wardencki, and K. Szymańska, "Mobile monitoring system for gaseous air pollution," *Metrology and Measurement Systems*, vol. XVI, no. 4, pp. 677–682, 2009.
- [2] N. Kularatna and B. H. Sudantha, "An environmental air pollution monitoring system based on the IEEE 1451 standard for low cost requirements," *IEEE Sensors Journal*, vol. 8, no. 4, pp. 415–420, Apr. 2008.
- [3] A. Kumar, I. P. Singh, and S. K. Sud, "Energy efficient and low-cost indoor environment monitoring system based on the IEEE 1451 standard," *IEEE Sensors Journal*, vol. 11, no. 10, pp. 2575–2582, Oct. 2011.
- [4] M. Miletić, R. Cvejić, and V. Dedić, "Information technologies in environmental protection," in *Proc. 7th International Conference 'Law, Economy and Management in Contemporary Conditions'*, vol. II, Belgrade, Serbia, 2021, ISBN 978-86-81088-94-4.
- [5] "DHT22 humidity and temperature sensor: Arduino tutorial," *TutorialsPoint*, 2022. [Online]. Available: https://www.tutorialspoint.com/arduino/arduino_humidity_sensor.htm (accessed: Mar. 2022).
- [6] "DHT22 temperature and humidity sensor," *The Engineering Projects*, 2019. [Online]. Available: <https://www.theengineeringprojects.com/2019/02/introduction-to-dht22.html> (accessed: Mar. 2022).
- [7] "How to use the soil hygrometer module—Arduino tutorial," *Instructables*, 2022. [Online]. Available: <https://www.instructables.com/How-to-Use-the-Soil-Hygrometer-Module-Arduino-Tuto/> (accessed: Mar. 2022).
- [8] "MQ-7 gas sensor," *Waveshare*, 2022. [Online]. Available:

<https://www.waveshare.com/mq-7-gas-sensor.html> (accessed: Mar. 2022).

- [9] “MQ-135 gas sensor,” SparkFun Electronics, 2022. [Online]. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-135.pdf> (accessed: Mar. 2022).

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



ЂОРЂЕ СТАНОЈЕВИЋ (1858 – 1921)

Велики борац
за електрификацију Србије и
електрично осветљавање многих градова.
Пројектант и градитељ првих
хидроелектрана у Србији.
Професор физике, декан и ректор
Београдског Универзитета.
Један од најобразованијих и најученијих
људи свог времена.



Друштво Истраживање Технологије

Научно-стручни часопис
Scientific-profesional journal

Година XXXII, Број 46, септембар 2026. год.
Year XXXII, Issue 46, September 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

ODREĐIVANJE HEMIJSKIH OSOBINA ZEMLJIŠTA U PARKOVIMA ZRENJANINA PALINTEST SK 300® ANALIZEROM ZEMLJIŠTA

DETERMINATION OF CHEMICAL PROPERTIES OF SOILS IN ZRENJANIN PARKS WITH THE PALINTEST SK 300® SOIL ANALYZER

MILANA DRAŠKOVIĆ¹
ŽELJKO EREMIĆ¹
DANIJELA JAŠIN¹

¹Visoka tehnička škola strukovnih studija u Zrenjaninu

REZIME

Parkovi i drveće u parkovima imaju višestruki uticaj na mikroklimu u urbanim područjima. Cilj istraživanja bio je da se proceni hemijski sastav zemljišta i nutritivni status na odabranim lokacijama u parkovima u različitim delovima grada Zrenjanina. Zemljišta su analizirana na sadržaj makro i mikroelemenata. Istraživanje je pokazalo da je zemljište na svim lokacijama generalno bilo alkalno (pH 8,58). Sledeće vrednosti hranljivih materija bile su: N 5-25 mg/L, P 30-50 mg/L, K 20-40 mg/L, Mg 100-175 mg/L, Ca 1500-2000 mg/L.

Ključne reči: Hemijske karakteristike zemljišta, urbana zemljišta, urbane zone, korišćenje zemljišta, antropogeni uticaj, urbana ekologija.

ABSTRACT

Parks and trees in parks have multi-aspect influence on the microclimate in urbanised areas. The aim research was to assess the chemical composition of soils and the nutritional status in selected sites in parks in different parts of the city Zrenjanin. The soils were analysed for the content of macro and microelements. The research showed that in general, the soil in all the sites was alkalinized (8,58). The following values of nutrients were: N 5- 25 mg/L, P 30- 50 mg/L, K 20-40 mg/L, Mg 100-175 mg/L, Ca 1500-2000 mg/L.

Key words: Chemical characteristics of soil, urban soils, urban zones, land use, anthropogenic impact, urban ecology.

1. UVOD

Gradska zemljišta su značajno izmenjena u poređenju sa prirodnim, zbog uticaja antropogenih faktora. Povećan nivo urbanizacije dovodi do smanjenja udela prirodnih zemljišta u urbanim područjima i promena usled delovanja antropogenih faktora [1,2]. Parkovi zauzimaju posebno

mesto u urbanom prostoru, s obzirom na sve veće zahteve društva prema zelenim površinama [3]. U Republici Srbiji, prema podacima popisa iz 2002. godine, 56,7% stanovništva živi u gradovima [4]. Povećanje broja stanovnika u gradovima ima značajan uticaj na kvalitet zelenih površina. Zemljišta parkova su klasifikovana kao depozol zemljišta, [5] odnosno tehnosol.

Utvrđeno je da su hemijske karakteristike zemljišta u značajnoj korelaciji sa procesima urbanizacije [6]. Istraživanja različitih autora [7,8] pokazala su da gradska zemljišta imaju reakciju zemljišta koja se donekle razlikuje od reakcije prirodnih zemljišta. U većini slučajeva, pH vrednosti su više u gradskim sredinama, gde dominiraju slabo alkalna zemljišta. Posledica povećane pH vrednosti urbanih zemljišta potiče od prisustva karbonatnih materijala kao što su cement, malter, beton, razne vrste cigle itd. [9].

Cilj istraživanja je procena hemijskih svojstava zemljišta u odabranim parkovima grada Zrenjanina koji su pod antropogenim uticajem. Hemijska svojstva su: sadržaj humusa, sadržaj makroelemenata, sadržaj mikroelemenata, pH vrednost, sadržaj soli itd. Ove osobine se mogu odrediti standardnim metodama, ali se sve više koriste savremeni uređaji kako bi se brže postigli željeni rezultati. Jedan od tih uređaja je Palintest SK 300® analizer zemljišta. Takođe je važno proceniti kako sadržaj makronutrijenata u zemljištu utiče na zdravlje drveća u gradskim parkovima.

2. MATERIJAL I METODE

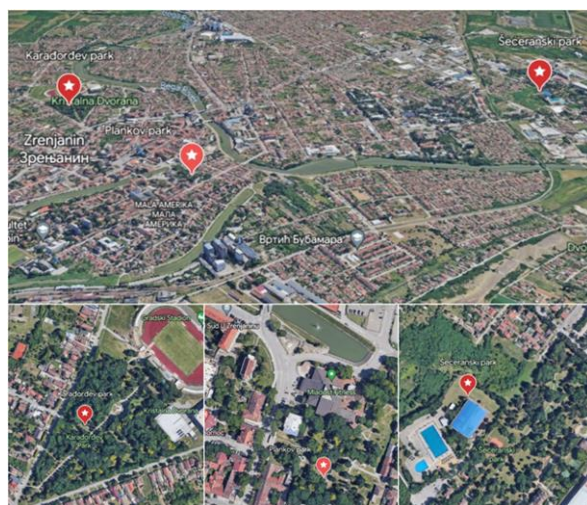
Grad Zrenjanin ($45^{\circ}22'40''N$, $20^{\circ}23'10''E$.) je po površini teritorije od 1.326 km^2 , najveći grad u Autonomnoj pokrajini Vojvodini i drugi u Republici Srbiji. Od površine koja pripada gradu Zrenjaninu, 82,5% je poljoprivredno zemljište. Prema popisu iz 2011. godine, na teritoriji grada živi 123.362 stanovnika, a u samom Zrenjaninu 76.511 stanovnika. Prema broju stanovnika, Zrenjanin je najveći grad u Banatu i njegov ekonomski, kulturni, obrazovni, zdravstveni i sportski centar. Zrenjanin je nosio ime Bečkerek šest vekova, od 1326. do 1935. godine, kada je dobio ime Petrovgrad, po kralju Petru I Karađorđeviću. Sadašnje ime je dobio posle Drugog svetskog rata, po revolucionaru Žarku Zrenjaninu. Prema pedološkoj karti Vojvodine, područje grada je makroskopski podeljeno u dve pedološke kategorije:

karbonatni černoze, na višim delovima lesne terase, i solonjec-slatina u dolini Begeja. Prema nekim lokalnim pedološkim ispitivanjima koja su sprovedena za pojedina detaljna urbanistička rešenja, iste površine su na pomenutoj karti označene kao solonjec, odnosno varijeteti ritske crnice i smonice [10].

U Zrenjaninu postoji više zasebnih zelenih površina u gradu. To su brojni parkovi: Karađorđev, Šećeranski, Plankert (Slika 1). Studija je sprovedena u javnim parkovima u Zrenjaninu, koje građani koriste za rekreaciju i pasivni odmor. Lokacije parkova date su na Slici 2.



Slika 1. Parkovi grada Zrenjanina



Slika 2. Lokacije parkova u Zrenjaninu

Parkovi se nalaze u različitim delovima grada (neki bliže centru ili stambenim naseljima). Tabela 1 prikazuje koordinate ispitivanih parkova i njihovu površinu.

Tabela 1. Lokacije i površina Zrenjaninskih parkova

Ime parka	Lokacija	Površina [ha]
Karađorđev park	45°23'12"N 20°23'54"E	11
Plankov park	45°22'39"N 20°23'24"E	0,5
Šećeranski park	45°21'54"N 20°24'38"E	8

U Zrenjaninskim parkovima se vrši sistematska zamena drveća, vodi se računa o vremenu sadnje, ali i održavanju sadnog materijala, kao i o procentu pošumljenosti i uticajima zelenila na životnu sredinu i zdravlje ljudi. Komunalnu delatnost održavanje javnih zelenih površina na teritoriji grada obavlja Javno komunalno preduzeće "Čistoća i zelenilo" Zrenjanin.

Karađorđev park je najveća zelena oaza površine 50.000 m² u blizini centra Zrenjanina, u kome se nalazi 1196 sadnica. Osnovan je 1954. godine. Projekat rekonstrukcije parka odvijao se u tri faze, u prvoj fazi novembra 2022. godine posečeno je 40 dotrajalih stabala, a zasađeno je 98 sadnica različitih vrsta lišćara 52 i 46 četinara. U februaru 2023. godine zasađeno je još 75 sadnica [10].

Plankova bašta - Plankert, je najstariji park u centru grada. Oformio ga je apotekar Ferenc Franja Plank 1834. godine, na 16.000 m² zemljišta uz levu obalu Begeja. Svoje imanje sa baštom ostavio je gradu. Zbog urbanog razvoja grada, park je smanjen i danas zauzima površinu od oko 7.500 m². Sadnice breze su zasađene u Plankovoj bašti u decembru 2019. godine u okviru kampanje „Zelena nedelja“ [10]. To je bio početak akcije ozelenjavanja grada Zrenjanina, ali se većina sadnica potpuno osušila.

Šećeranski park je nastao nakon izgradnje Fabrike šećera 1910. godine, kada

se ukazala potreba za podizanjem zaštitnog zelenog pojasa oko fabrike. Vremenom ovaj pojas je postao najprostraniji gradski park, koji danas zauzima površinu od skoro 80.000 m² [10].

2.1. ANALIZA ZEMLJIŠTA

Uzorci nepoljoprivrednog zemljišta - tri odabrana Zrenjaninska parka (Karađorđev, Plankov i Šećeranski) uzorkovani su sondom za uzorkovanje zemljišta sa dubine od 0-20 cm u maju 2023. godine (Slika 3). Uzorci zemljišta iz sloja od 0–20 cm uzeti su pomoću Egnerovog štapa. Zbog ograničenih mogućnosti uzorkovanja u urbanim sredinama i značajne varijabilnosti urbanih zemljišta u poređenju sa prirodnim zemljištima, prilikom ispitivanja hemijskih svojstava urbanih zemljišta, prikupljen je kompozitni uzorak. Ovaj kompozitni uzorak u suštini podrazumeva nasumično prikupljanje zemljišta sa većim brojem ponavljanja.



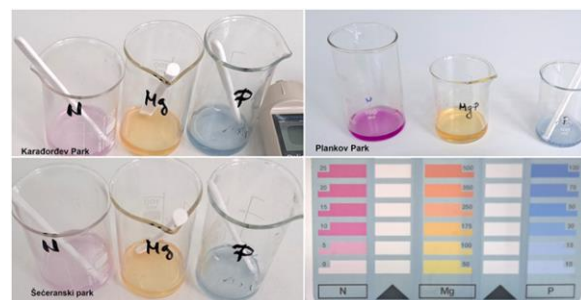
Slika 3. Uzorci nepoljoprivrednog zemljišta – parkovi (Karađorđev, Šećeranski i Plankert)

Prikupljeni uzorci zemljišta su hemijski analizirani pomoću analizera zemljišta Palintest SK 300® [11], (Slika 4.).



Slika 4. Palintest SK 300® analizer zemljišta [11]

Palintest Soiltester sistem koristi blokove za poređenje boja. Palintest Soiltester blokovi su integrisani sa Palintest asortimanom tableta za ekstrakciju zemljišta i reagenasa, nudeći jednostavnu kolorimetrijsku metodu analize za niz važnih testova zemljišta. Testovi ekstrakcije makronutrijenata (N, P, K, Mg, Ca) se sprovode tako što se prvo ekstrahuju hranljive materije iz zemljišta, a zatim se ekstrakti testiraju jednostavnim postupcima testiranja. Testovi za nitrate i fosfate koriste metode poređenja boja u kombinaciji sa N/P/Mg Soiltester blokom (Slika 5.)



Slika 5. Kolorimetrijsko određivanje sadržaja azota, magnezijuma i fosfora pomoću analizera zemljišta Palintest SK 300®

Test kalijuma koristi jednostavan postupak zasnovan na količini замуćenosti (mutnoće) formirane u uzorku, a test kalcijuma se zasniva na metodi brojanja tableta Palintest. Tablete se dodaju uzorku ekstrakta jedna po jedna dok se boja ne promeni iz ružičaste u ljubičastu (Slika. 6).

Količina kalcijuma se izračunava prema sledećoj formuli:

$$\text{Kalcijum (mg/l)} = \text{Broj tableta} \times 250$$



Slika 6. Određivanje kalcijuma pomoću Palintest SK 300® analizera zemljišta

Postupak ekstrakcije za hemijsku analizu različitih parametara pomoću analizera zemljišta Palintest dat je u Tabeli 2.

Tabela 2. Postupak ekstrakcije za hemijsku analizu različitih parametara pomoću analizera zemljišta Palintest [11]

Test	Ekstrakt	Rastvarač	Količina vode [mL]	Količina uzorka [mL]
pH	Ekstrakt W	Demineralizovana voda	10	2
CaCO₃	Ekstrakt W	Demineralizovana voda	10	2
Provodljivost	Ekstrakt W	Demineralizovana voda	50	10
Azot	Ekstrakt N	0,75 M amonijum-hlorid	50	2
Fosfor	Ekstrakt P	0,5 M natrijum-bikarbonat	50	2
Kalcijum	Ekstrakt A	1M kalijum-hlorid	50	10
Magnezijum				

Nakon ekstrakcije, uzorak se filtrira da bi se dobio čist ekstrakt. Nije potrebno sakupiti celu količinu ekstrakta. Za većinu analiza potrebno je oko 10 ml filtrata.

2.2. ODREĐIVANJE ELEKTRIČNE PROVODLJIVOSTI I PH VREDNOSTI

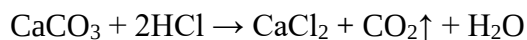
Merenje provodljivosti, pH vrednosti i temperature zemljišnog rastvora se vrši pomoću Palintest Conductivity Metera (Sl. 7). Ova metoda pruža brz i jednostavan način za upoređivanje provodljivosti ili sadržaja rastvorljivih soli u različitim uzorcima zemljišta.



Slika 7. Očitavanje provodljivosti zemljišta i pH vrednosti

Određivanje kalcijum karbonata zasniva se na njegovom razaranju sa mineralnim

kiselinama i merenju ugljen-dioksida, koji tim razaranjem nastaje. Hemijska reakcija razaranja kalcijum karbonata pomoću HCl je sledeća [12]:



CaCO_3 se kvalitativno određuje nanošenjem 10% hlorovodonične kiseline iz pipete na zemljište. Pojava mehurića sa šuštanjem je znak da u zemljištu ima kalcijum karbonata (Slika 8).



Slika 8. Određivanje sadržaja CaCO_3 u zemljištu

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Teksturna klasa analiziranih zemljišta tri Zrenjaninska parka u površinskom sloju zemljišta je bila ilovača, osim u parku 3, gde je utvrđena peskovita ilovača. Tabela 3 prikazuje dobijene rezultate za osnovna hemijska svojstva zemljišta na određenim lokacijama unutar odabranih parkova u gradu Zrenjaninu. Sve hemijske analize su sprovedene u tri ponavljanja, a vrednosti u tabeli predstavljaju srednje vrednosti.

Tabela 3. Hemijski sastav zemljišta u parkovima Zrenjanina

Ime parka		Dobijene vrednosti testiranih parametara							
		pH	CaCO ₃ [%]	Azot [mg/L]	Fosfor [mg/L]	Magnezijum [mg/L]	Kalijum [mg/L]	Kalcijum [mg/L]	Električna provodljivost [μS]
1.	Karadordev park	8,82	4	5	40	175	35	1500	69,2
2.	Plankov park	8,74	3	25	30	175	20	2000	69,3
3.	Šećeranski park	8,19	10	25	50	100	40	1500	382

pH vrednost zemljišta je važna u određivanju dostupnosti biljnih hranljivih materija. Ispitivanja površinskih slojeva zemljišta Zrenjaninskih parkova pokazala su da je reakcija zemljišta slabo alkalna i da u proseku iznosi 8,58, da se sadržaj lako pristupačnog oblika fosfora u površinskim slojevima kreće u rasponu od 30-50 mg/l, a sadržaj lako pristupačnog oblika kalijuma u rasponu od 20-40 mg/l. Slični rezultati su dobijeni kada su u pitanju zemljišta u parkovima urbanih i industrijskih centara u Srbiji (Beograd, Pančevo, Smederevo, Obrenovac, Novi Sad), utvrđeno je da preovlađuju alkalna zemljišta u kojima se pH vrednosti kreću u uskom rasponu (8,30-8,60) [13], i da je sadržaj lako pristupačnog oblika fosfora u površinskim slojevima u rasponu od 4-30 mg/kg, a sadržaj lako pristupačnog oblika kalijuma u rasponu od 9-40 mg/kg [3,8]. Provodljivost zemljišta u uzorcima prikupljenim iz gradskih parkova Zrenjanina kreće se od 38,2 do 69,2 mS na 25,2°C, što ukazuje na to da zemljišta nisu zaslanjena.

Zemljišta Zrenjaninskih parkova su slabo alkalna i dobro obezbeđena azotom (5-25 mg/L), magnezijumom (100-175 mg/L) i kalcijumom (1500-2000 mg/L), što je u saglasnosti sa rezultatima [1]. Sadržaj karbonata u parkovima grada Zrenjanina se kretao od 3-10%, slične rezultate su dobili [3] (4,55-14,91%).

4. ZAKLJUČAK

Može se zaključiti da površinski slojevi zemljišta parkova, prema sadržaju fosfora i kalijuma pripadaju klasi visoko obezbeđenih zemljišta ovim elementima. Utvrđene su korelacije za pH, nitrate, fosfate, kalijum i magnezijum. Palintest metode analize zemljišta u poređenju sa standardnim laboratorijskim metodama ispitivanja zemljišta dale su slične rezultate.

Pet glavnih elemenata koje biljke apsorbuju iz zemljišta su azot (N), fosfor (P), kalijum (K), kalcijum (Ca) i magnezijum (Mg), klasifikuju se kao makronutrijenti zbog njihove značajne uloge u rastu biljaka. Uređaj za analizu zemljišta Palintest SK 300

je opravdao očekivanja u pogledu tačnosti i brzine merenja najvažnijih hemijskih svojstava zemljišta u odnosu na standardne metode. Stoga se preporučuje za brze procene kvaliteta poljoprivrednog i nepoljoprivrednog zemljišta.

Takođe, pokazano je da merenje hemijskih osobina zemljišta je moguće na jednostavan način a samim tim i proverava kvaliteta analiziranih uzoraka zemljišta, što je vrlo značajno.

5. LITERATURA

- [1] Kleiber, T., Krzyżaniak M., Świerk D., Haenel A., Galecka S., How does the content of nutrients in soil affect the health status of trees in city parks?, PLOS ONE, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221514>, September 11, 2019.
- [2] Effland, W. R., Pouyat, R., The genesis, classification and mapping of soils in a urban areas, Urban Ecosystems, vol 1. pp. 217-228, 1997.
- [3] Galić, Z., Pilipović, A., Orlović, S., Klašnja, B., Ivanišević, P., Kebert, M., Karakteristike zemljišta parkova u Novom Sadu i njihova opterećenost teškim metalima, Topola, No.181/182, pp. 11-20, 2008.
- [4] Djurdjev, B., Gradsko stanovništvo i mreža gradova, Stanovništvo i domaćinstva Srbije prema popisu 2002. godine., Republički zavod za statistiku Srbije, Institut društvenih nauka, Centar za demografska istraživanja pp.47-53, 2006.
- [5] Škorić, A., Filipovski, G., Ćirić, M., Klasifikacija zemljišta Jugoslavije, Akademija nauke i umjetnosti Bosne i Hercegovine, Sarajevo. 66 str., 1985.
- [6] Pickett, A.T.S., Cadenasso, M., Altered resources, disturbance and heterogeneity: A framework for comparing urban and non-urban soils., Urban Ecosystems, Vol. 12, pp. 23-44, 2009.
- [7] Pekeč, S., Marković, M., Kebert, M., Karaklić, V., Osobine zemljišta na

- području Futoškog parka u Novom Sadu, Šumarstvo, pp. 111-118, 2020.
- [8] Eremija, S., Miletić, Z., Mitrović S., Češljarić, Z., Ekološko-proizvodne karakteristike zemljišta u parkovima grada Beograda, Šumarstvo, No. 3-4, pp. 91-104, 2019.
- [9] Howard, J., *Anthropogenic Soils*, Springer International Publishing AG. <https://publikacije.stat.gov.rs/G1950/Pdf/G19502001.pdf> .,2017.
- [10] Grad Zrenjanin, <https://www.zrenjanin.rs/> , (Pristupljeno:12.06.2026.)
- [11] Palintest®SK 300, Soil Managment Kit, Operation Manuel, www.palintest.com
- [12] Belić, M., Nešić, Lj., Ćirić, V.,Praktikum iz pedologije, Novi Sad, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, 2014.
- [13] Pavlović, M., Pavlović D., Kostić, O., Jarić, S., Čakmak, D., Pavlović, P., Mitrović M. (2017b): Evaluation of urban contamination with trace elements in city parks in Serbia using pine (*Pinus nigra* Arnold) needles, bark and urban topsoil, *International Journal of Environmental Research*, Vol. 11(5-6), pp. 625-639, 2017b.
-
- 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: Septembar 2026.
Rad prihvaćen: Septembar 2026.



ЂОРЂЕ СТАНОЈЕВИЋ (1858 – 1921)

Велики борац
за електрификацију Србије и
електрично осветљавање многих градова.
Пројектант и градитељ првих
хидроелектрана у Србији.
Професор физике, декан и ректор
Београдског Универзитета.
Један од најобразованијих и најученијих
људи свог времена.

НЕСТАНДАРДНИ НАЧИН ПОСТАВЉАЊА ТОРАЊСКИХ ДИЗАЛИЦА

NON-STANDARD WAY OF INSTALLING TOWER CRANES

ГРУЈИЦА ЉУБИСАВЉЕВИЋ¹

¹Научно стручно друштво Крушевац

РЕЗИМЕ

Много пута се дешава да се постављање торањских дизалица на тло, односно њихова монтажа обави на нестандартни начин у зависности од присутних услова који то изискују и дозвољавају. Брза градња у урбаним срединама са врло мало простора је један од тих захтеваних чиниоца који изискују таква решења. За таква решења потребно је веома добро познавање не само торањских дизалица које се постављају већ и огромно искуство и веома добро сагледавање места постављања. Потребно је познавање носивости тла на томе месту, конфигурацију објекта који се гради, начина постављања, торањске дизалице, прилаза за монтажу и демонтажу као и могућност везивања торањске дизалице приликом подизања. Многе фирме при постављању торањских дизалица, неке од наведених захтева не сагледају довољно те се појављују грешке у току експлоатације које је тешко исправити.

Неке од идеја за монтажу торањских дизалица нестандартним начином које су примењене, реализоване и доказане у пракси су постали шаблони за даље коришћење.

Кључне речи: нестандартни начин, постављање, торањске дизалице

ABSTRACT

It often happens that the installation of tower cranes on the ground, or their assembly, is carried out in a non-standard way depending on the existing conditions that require and allow it. Rapid construction in urban areas with very little space is one of those required factors that require such solutions. Such solutions require very good knowledge not only of the tower cranes that are being installed, but also a lot of experience and a very good understanding of the installation site. It is necessary to know the bearing capacity of the soil at that location, the configuration of the building being built, the method of installation, the tower crane, the access for assembly and disassembly, as well as the possibility of tying down the tower crane during lifting. Many companies, when installing tower cranes, do not take into account some of the stated requirements, and mistakes appear in exploitation that are difficult to correct.

Key words: non-standard, installing, tower cranes

1. УВОД

Од брзине принесеног начина и извођења монтаже торањских дизалица,

односно њиховог постављање на тло зависи брзина напредовања објекта који се гради. Нормално при томе се мора водити рачуна о радном подручју

торањске дизалице односно покривању објекта у целини, ради дотура материјала и опреме потребне за градњу. Истовремено и безбедности људи у радијусу њенога рада као и ближеј околини. Из тих разлога, за изналажење места за постављање торањских дизалица учествују екипе стручњака састављених од: пројектаната архитекта, статичара објекта, геодета и стручњака за рад торањске дизалице. При томе се детаљно сагледавају могућности монтаже и демонтаже и евентуално подизање са везивањем за објекат. Нормално да све ово подразумева поштовање препорука из техничке документације торањских дизалица добијених од стране произвођача и техничких прописа за рад и одржавање торањских дизалица. Сваки неправилан приступ уз искључење некога од тих лица или наведених препорука може довести до успорења градње, угрожавања безбедности људства на градњи и околини а у крајњем случају и до хаварије или пада торањске дизалице. Много пута се због израде дужих објекта, ради покривања градње објекта прибегава постављању торањске дизалице на шински коловоз ради њене покретности и већега опсега обслуживања са напоменом да су висине дизања у томе случају ограничене произвођачем тога типа торањских дизалица. Оваквим начином постављања на подлогу торањских дизалица се покрива већи простор захваљујући њеном кретању по шинском колосеку (без демонтаже и монтаже исте). Овде у овој раду је приказано пар разних примера торањских дизалица монтираних на шински колосек.

2. ИСПРАВЉАЊЕ ТОРАЊСКЕ ДИЗАЛИЦЕ НА ШИНСКОМ КОЛОВОЗУ

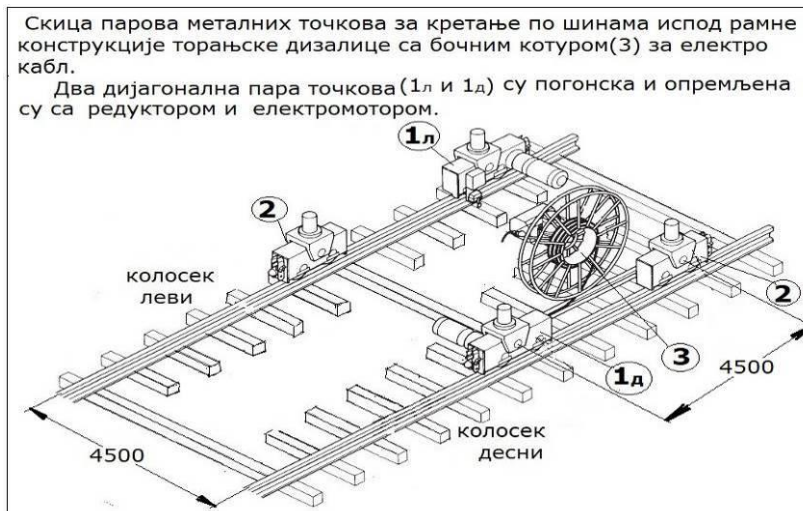
Услед непостојања пројекта монтаже или неучешћа свих техничких лица у приношењу решења, непоштовању и несагледавања у потпуности, препорука и начина монтаже од произвођача долази

врло брзо у току експлоатације до врло тешких ситуација или хаварија. Овде је наведен један од примера из праксе који дословце указује на пропусте настале у монтажи торањске дизалице на шински колосек. Реч иде о торањској дизалици Richier BPR монтираној на градњи објекта „Њефтегазснаб“ унутар територије „Института космичких истраживања“ у Москви.

Торањска дизалица „Richier BPR“ са висином торња дизалице од 45 метара и дужином радне стреле 45 метара је постављена са својом челичном возном платформом а према приказаној скици на слици² на железничком шинском колосеку ширине 4,5 метара и дужине 6 метара (мање за 6 метара од Техничких услова и правилника за монтажу торањских дизалица на колосеку Русије у којима је наглашено да дужина колосека мора бити најмање 12 метара)

Због брзине градње је било тако урађено мада је терен на коме се монтирао шински колосек дозвољавао уградњу дугачкога шинскога колосека до 20 метара. Било је предвиђено да због дужине објекта торањска дизалица у другој фази градње шета по шинама дужине 12 метара, дуж објекта. Возна платформа торањске дизалице са доње стране, је имала четири пара челичних точкова (поз 1д, 2, 1л и 2 на слици¹). Два дијагонална пара металних точкова су погонска (1л и 1д на слици 1) и имала су независан електрични погон са електромотором и пужним редуктором. Осно растојање центра металних точкова по дужини и ширини износило је 4,5 метара. Сваки од тих парова је са вертикалном осовином везан за платформу чиме је омогућено савлађивање и кривина дозвољених произвођачем торањских дизалица.

На возној платформи са горње стране су се око монтираног решеткастог металног торња (висине 45 метара) налазили централни армирано бетонски тегови као основни носиоци стабилности торањске дизалице у раду и ван њега.



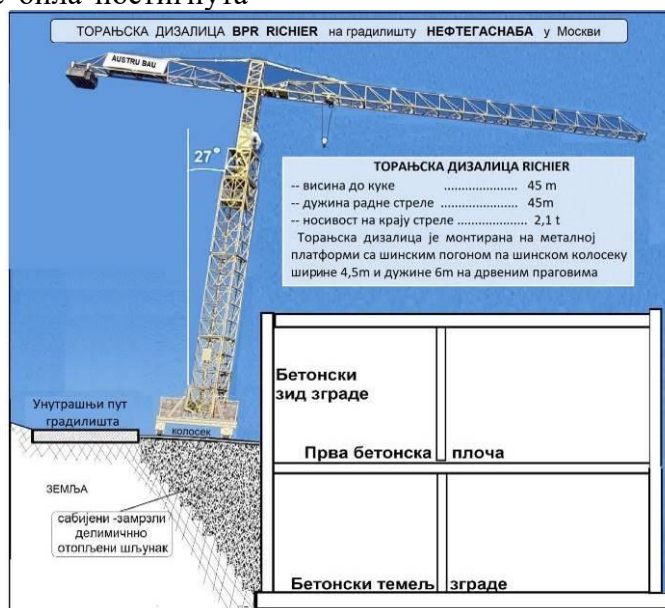
Сл.1 Скица групе дуплих металних точкова покретне челичне возне платформе

Већ при самој изради подлоге и припреми терена за монтажу железничког шинског колосека, због брзине градње и нестручнога прилаза, се одступило од техничких прописа за такав вид монтаже у Русији и то се огледало у следећим елементима::

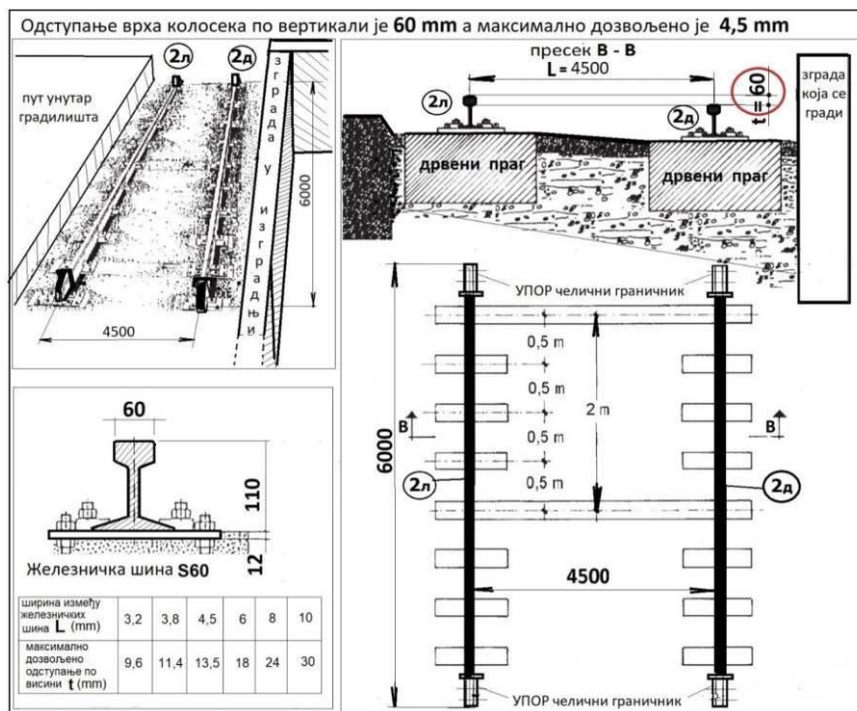
- Подлога за шински колосек је урађена унутар територије градилишта између унутрашњег пута и објекта који се гради у усеку (сл.1 и 2) у тек ископаној земљи са уградњом делимично замрзнутога шљунка у новембру месецу. Приликом сабијања тога материјала, није била постигнута

довољна збијеност уз бетонски зид објекта због одређеног безбедног растојања радом моторног ваљка

- Није проверена сабијеност шљунчаног насипа испод шинског колосека
- Дужина уграђенога шинског колосека је износила 6 метара (слици 1, 2 и 3) а према Техничким правилима и прописина за монтажу и рад торањских дизалица у Русији најмања дужина шинског колосека је 12 метара.



Сл.2 Скица положаја торањске дизалице склоне паду ка објекту који се гради



Сл.3 Приказ колосека за кретање торањске дизалице и начина причвршћивања колосечне металне шине са мерама постављенога колосека

Услед грејања подрумских просторија због ниских спољњих температура од -15 до -20 степени у зимском периоду дошло је до слегања сабијене подлоге од уграђеног полузамрзнутога шљунка испод шинскога колосека до објекта. Слегање је вероватно наступило услед загревања бетонскога зида и преноса топлоте преко њега на замрзнути шљунак у усеку при чему је на најнижој тачки дошло је до отапања делимичнога леда. То слегање терена је изазвало пропадање колосека до објекта - десне железничке шине уграђеног колосека уз објекат и то за 60 mm у односу на другу леву железничку шину. Ово је проузроковало нагињање торањске дизалице ка објекту за 27 степени (слици 1 и 3). Са оволиким одступањем од вертикале торња торањске дизалице, било кавим радом, или окретањем радне стреле могло је доћи до њеног пада на објекат и територију градилишта.

Исправљање тако нагнуте торањске дизалице је веома опасан и ризикантан посао а поготово што до тада у пракси то нико није извео. То значи да није постојао

начин, ни технологија а ни систем њеног враћања у првобитни положај. Ни једна наша грађевинска фирма, нити механизација које су тада радиле у Москви, а ни руске компаније у тој сфери нису хтели да се прихвате исправљања тако нагнуте торањске дизалице. Због тако настале ситуације а истовремено и стајања градилишта су мене као стручњака упутили из Србије да решим тај проблем.



Сл.4 Попречни пресек-наставка старог и новог челичнога колосека Заварени коси прелазни уздужни челични клин на десној страни колосека и наставак са новом шином

Решење проблема односно исправљање торањске дизалице је захтевало нестандартни прилаз у насталој ситуацији, идејни неконвекционални који до тада није био примењиван у пракси. Начин који је био ризикант али изводљив и без много улагања. Овакву методу и начин исправљања су у неверици прихватили и сагласили се. Другога излаза није било, јер градња је већ дуже време стајала а рокови по уговору се нису променили. Пришло се извођењу и реализацији таквога нестандартнога решења које се сагледавало у следећем:

- Продужити шински колосек за кретање торањске дизалице за још шест метара а према потреби градње и пројекту, који није био испоштован у целости.
- Сабити постељицу по дужини објекта за продужетак колосека, још једном уз додавање материјала на месту улегнућа и на њој поставити нови шински колосек
- Поставити нови колосек у дужини од 6 метара и спојити међусобно са старим колосеком.
- Изравнати га по висини у хоризонталу (могуће је само лева шина колосека где су газне површине шина у истој равни)
- На десној шини колосека на месту везе услед висинске разлике у газној површини шина старог и новог колосека (слици 3 и 4) додати челични материјал 60 мм на стари колосек у што је одговарало висинској разлици газне површине шина.
- Нови додати челични материјал на старој шини деснога колосека урадити у облику дугачкога правоуглог троугла.
- Превући опасно нагнуту торањску дизалицу склону паду са старог на тај нови колосек са посебном пажњом јер је то најопаснији и

најризикантнији посао овога начина исправљања

- Демонтирати десну упалу шину старог колосека, допунити шљунчани материјал, сабити га и наново монтирати десну железничку шину колосека водећи рачуна о равности целог колосека

Многи су се сагласили са тим јер је то и одговарало руским прописима за монтажу торањских дизалица на шинском колосеку а и пројекту монтаже који није био отпоштован у целости. Цела операција исправљања торањске дизалице је подељена у две фазе:

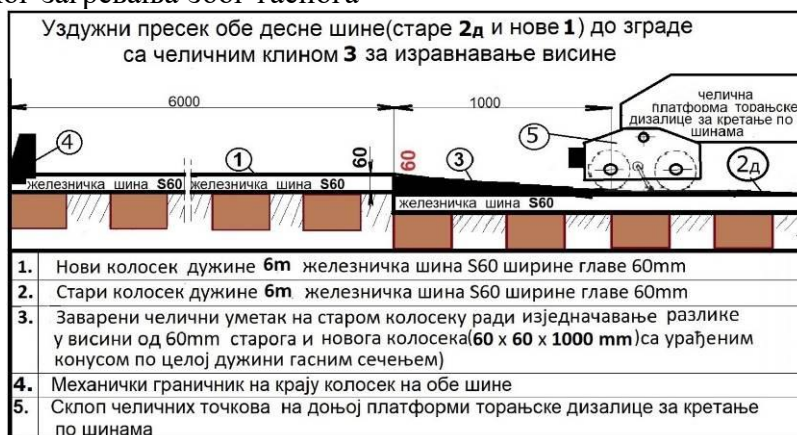
2.1 ПРВА ФАЗА ИСПРАВЉАЊА ТОРАЊСКЕ ДИЗАЛИЦЕ

Напред наведене операције потребне за исправљање торањске дизалице у потпуности су испоштоване. Довучено је још шљунчаног материјала као допуна постојећег ван уграђеног колосека. ради подизања нивоа следећег новог колосека уз сабијање колико је то било могуће без вибрација моторним ваљком (вибрације се нису смеле укључивати због близине нагнуте торањске дизалице на истој подлози). После сабијања и дотеривања висине постављен је нови колосек дужине 6 метара (висина ја дотерана тако да газна површина левог колосека слици 4 поз.2 се висински поклопила са газном површином старог левог колосека слици 4 поз.1). Извршено је одмах спајање везним прибором за колосечне шине обе леве шине. Нови колосек је постављен у правцу улазне капије градилишта.

Одмах по монтажи се увидело да је десни део новог колосека(поз.1 слици 4 и 5) одступао по висини за 60 mm од старог деснога дела колосека(поз.2д на слици 4 и 5). Тај проблем је био решен на следећи начин. Челични квадратним пуни комад 60x60x1000 милиметара је заварен на спољној газној површини старог деснога колосека (слика 4 и 5) плотно пријањајући челичној шини новог

колосека и са тим се у потпуности поравнао са газном површином нове шине на десном колосеку. Ради преласка металних точкова торањске дизалице са старог на нови колосек тај заварени челични комад по целој дужини почев од новог колосека је аутогеним апаратом исечен је под углом стварајући при томе троугласто правоугли дугачки челични клин (поз.3 на слици 4 и 5). Са стране новог колосека он је био висине 60 милиметара а на другоме крају његова висина је била практично сведена на нулу “0”. Услед великог загревања због гаснога

сечења а и дебљине материјала (60 мм) по целој косој дужини клина дошло је до делимичног каљења материјала што није дозвољавало обраду те површине брусилицом. Та газна површина је остала неравна по целој косој дужини клина. После овога изједначења висине извршено је спајање оба десна колосека (поз.1 и 3 на слици 4 и 5). Са овим радовима је била завршена прва фаза исправљања нагнуте торањске дизалице и омогућен прелазак са старог на нови раван део колосека



Сл.5 Уздужни пресек десне обе шине (старе и нове) настављене са завареним челичним дугачки правоуглим троугластим клином ради исправљања висине

2.2 ДРУГА ФАЗА ИСПРАВЉАЊА ТОРАЊСКЕ ДИЗАЛИЦЕ

Ова фаза рада је била најопаснији део подухвата исправљања опасно нагнуте торањске дизалице са много недоумица везаних за премештање торањске дизалице са стари на нови колосек. Требало је при томе савладати и успон по допунскоме металноме клину између два дела деснога колосека за шта сопствена вуча, односно снага погонских електро механичких група (поз. 1д и 1л на слици 3) за кретање торањске дизалице по шинском колосеку није била довољна. То је захтевало и обезбеђење спољне допунске вуче торањске дизалице са грађевинском утоварном лопатом већег капацитета носивости.

Поред тога, важно је било: Одредити правац стреле и контра стреле са

бетонским противтеговима у односу на колосек, односно правац за премештање нагнуте торањске дизалице ради исправљања због евентуалне сигурности при кретању и заносу при савлађивању висинске разлике од 60 милиметата.

У циљу изласка из ових проблема извршена је била следећа припрема за вучу:

- После неуспешне консултације за положај горњег покретног дела торањске дизалице, односно правца стреле и контра стреле, са: представницима произвођача торањских дизалица, фирмама за продају и изнајмљивања, принето је следеће. Да се контра стрела са бетонским противтеговима окрене у смеру вуче, јер смо сматрали да је тако најбезбедније, због њене

веће масе и мање дужине стреле. Уз веома обзриво и пажљиво окретање контра стреле која ја била окренута нормално на колосек и налазила се изнад пута (сл.1) са кабловском командом са тла успели смо да је поставимо у жељени правац. Био је то први од опасних захвата јер због нагнутости торањске дизалице је могло доћи и до пада.

- Као помоћ електро вучи уграђеној на платформи торањске дизалице (слици 3) искористили смо велику машинску утоварну лопату са кашиком запремине 3м³ напуњену са шљунком. Тиме смо повећали масу машине и добили и већу вучну силу. На задњем делу утоварне лопате закачили смо челично уже Ø20, дужине 55м. Ова дужина је одређена је и делимично дужином пута који нам ја био на располагању за вучу била је истовремено и евентуална сигурност заштите утоварне лопате. Други део челичнога ужета је причвршћен за челичну платформу торањске дизалице.

Након извршене ове припреме за премештање нагнуте торањске дизалице ради исправљања пришло се главној и последњој фази најопаснијег дела исправљања. А она је текла следећим редоследом:

«По давању команде пиштаљком руковаоцу утоварне лопате уз истовремено и команде за рад електромотора односно електро вуче торањска дизалица с почела лагано кретати. Прво уз савлађивање успона по грубој површини металнога клина. То је био и најопаснији део друга фазе а истовремено и исправљања при чему је могло доћи и до неочекиваног претурања јер је доња платформа крута за које су везани парови точкова. Кретањем металних точкова по необрађеној површини челичнога клина а по успону - услед вибрација стварала се страшна бука

– звоњење и крчкање метала. Вибрације су се преносило на сву металну конструкцију торањске дизалице а чуло се и ударање и бетонских противтегова на контра стрели.

Прво су прошли пар првих погонских точкова у смеру премештања а затим и други пар (растојање између њих је 4,5 м слика 3) чијим наиласком на успон се звук још силније појачао и бивао јачи од црквених раштелованих звонаа а и торањ дизалице се као и сви елементи на њему се дрмао и тресао. То је трајало пар минута мада за нас који смо ту били, читаву вечност. Облио нас је зној, иако је спољна температура износила -12 степени.

Након пар минута бука и крчкање је престало а торањска дизалица се у потпуности исправила јер се већ налазила на новом колосеку дужине 6 метара. Рад на градилишту се могао наставити са њом.»

То је био један од најнезахвалнијих и најопаснијих подухвата из огромне праксе са торањским дизалицама.

3. МОНТАЖА ТОРАЊСКИХ ДИЗАЛИЦА НА ШИНСКОМ КОЛОВОЗУ У АРМИРАНО БЕТОНСКИМ КОРУБАМА

Иновацијом нашега истакнутога, инжињера, конструктора и пројектанта Бранка Жежеља и института ИМС урађен је јако безбедан и брзи начин постављања односно монтаже торањских дизалица на железничким шинама монтираним на армирано бетонским гредама које су се постављале прекоситнога песка у армирано бетонским каналима –корубама (слика 6 и 7)

Као пионир у пројектовању префабрикованих и преднапрегнутих бетонских елемената Бранко Жежељ је у међувремену испројектовао, усагласио и дао грађевинским фирммама да запусте у производњу ове армирано бетонске елементе. Такав вид монтаже торањских дизалица на шински колосек, користећи

«корубасте – канале» армирано бетонске елементе и греде је опште прихваћен од стране грађевинара јер је убрзало градње и било далеко сигурније и поузданије. Захтевало је и мање припреме носеће

подлоге за монтажу и постављање армирано бетонских коруба на њих. Предпоставља се да је коришћење овога система монтаже почело у периоду велике градње 1960-1970 године



Сл.6 Фотографија и скица армирано бетонске корубе и армирано бетонске греде са железничком шином

Ово специфично инжињерско решење монтаже торањских дизалица на железничке шине, монтиране на армирано бетонским гредама и са њима постаљене у армирано бетонским каналима корубама (слика 6 и 7) је омогућавало:

- Брзу монтажу и демонтажу са вишеструким коришћењем тога система
- Фабричку серијску производњу армирано бетонских коруба и армирано бетонских греда
- Високу стабилност и носивост уз минимално заузеће површине испод себе
- Мање слегање терена испод коруба због мањег површинскога притиска и повећане ширине налегања корубе
- Могућност бочног померања железничких шина - померањем АБ коруба.
- Прецизно подешавање висине односно нивелисање шинскога колосека добављањем песка испод армирано бетонских греда, односно између њих и

унутрашњости армирано бетонских коруба

- Прецизно постављање попречнога растојања железничких шина односно шинскога колосека – паралелност њиховог постављања (нормално уз осигурање металним цевима тога растојања на одређеном међусобном растојању)
- Монтажу на слабијим носивим површинама уз предходну сагласност геодезиста и оптерећења од постављене торањске дизалице
- Трајност и прецизност колосека
- Могућност постављања у урбаним срединама
- Могућност исправљања уздужног нагиба колосека

Са оваквим решењем постављања торањских дизалица смањује се притисак на тло а и ако се појави пропадање корубе слегањем терена могуће је то врло брзо елиминисати. Прво се торањска дизалица делимично издигне помоћу јаких хидрауличних преса заједно са армирано бетонском гредом. Затим се врши додавање песка у корубама испод

и између армирано бетонске греде и унутрашњег дела корубе чиме се аутоматски врши регулација висине са исправљањем торањске дизалице. Овако решење монтаже торањске дизалице на

шинском колосеку је нашло веома велику примену у пракси због брзог и безбедног постављања и мањих површинских притисака на тло.



Сл.7 Торањска дизалица постављена на железничким шинама монтираним на армирано бетонским гредама уложених у армирано бетонским корубама

4. ПОСТАВЉАЊЕ ТОРАЊСКЕ ДИЗАЛИЦЕ НА ШИНСКОМ КОЛОВОЗУ СА БЕТОНСКИМ ГРЕДАМА НА ЧЕЛИЧНИМ ШИПОВИМА

На изградњи објекта банке на Сољанки у Москви због слабог тла услед близине реке Јауза морали су да се због већег оптерећења од торањске дизалице побију у сраслом тлу метални цевни шипови као носећи елементи торањске дизалице. На њих је преко армирано бетонских греда и челичних ИШ профила са широким стопама са завареним железничким шинама монтирана торањска дизалица ROTAİN 646 G (слика 8). Торањска дизалица је са челичном погонском платформом са 4 пара шинских точкова постављена на шински колосек. Челични I профили су били међусобно чврсто повезани по попречном растојању а на својим крајевима по дужини на шинском

колосеку су имали уграђене металне граничнике.

На првој фази изградње, зграде банке (први део зграде банке) ка улици Сољанка , торањска дизалица ROTAİN 646 G се кретала по шинском колосеку дужине од 12 метара постављеном на металне широкоугаоне ИШ металне профиле монтиране на армирано бетонским гредама које су ослоњене на претходно побијеним металним шиповима.

У другој фази изградње банке (други део зграде у дворишту) скраћен је шински колосек на приближно 6 метара и премештени су и метални граничници на шинском колосеку адекватно томе скраћењу. Ради сигурности, откачен је електро погон за кретање торањске дизалице по колосеку (слика 8) Торањска дизалица ROTAİN 646 G је сада радила као стабилна торањска дизалица, али на возној платформи на шинском колосеку са откаченим електро погоном кретања.

Због велике дубине ископа темељне јаме за овај други објект банке, извршено је накнадно осигурање челичних шипова по висини јер су исте са ископом огољене по целој висини ископа. Осигурање је урађено (слика 8) са армирано бетонским гредама, хоризонтално постављеним на две трећине висине огољених шипова, која је додатно осигурана са металним дебелозидним цевима косо постављеним и повезаних са бетонским темељом будуће зграде.



Сл. 8 Торањска дизалица ROTAIN 646 G на железничким шинама монтираних за металне широке I профиле ослоњене преко бетонских греда на металне шипове

Након тога је испод торањске дизалице а између металних шипова, извршен ископ земље ради израде затворене топле везе (тунела) и спајања оба објекта банке.

Из ових наведених разлога овакав начин ослањања торањске дизалице на железнички колосек са искоришћењем простора испод ње за израду тунелске везе два објекта представља неуобичајно, нестандарно и смело решење.

5. ЗАКЉУЧАК

Ово је само мали број примера из богате праксе, остварених монтажа торањских дизалица у зависности од ситуације и простора на градилиштима, на железничкоме колосеку и подлогама испод ње. За остваривање оваквих нестандардних начина постављања-монтаже торањских дизалица је потребно је велико познавање и искуство рада са торањским дизалицама, уз поштовање техничке документације од стране произвођача торањских дизалица, сарадња са другим стручним људима везаним за геологију тла на коме се монтира, геодезистима, грађевинским инжењерима и усклађивање са техничким прописима земље у којој се изводе радови и пројектима објекта које се граде.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Љубисављевић Грујица, „Торањске дизалице“, Монографија, ДИТ Друштво инжењера из Зрењанина, Зрењанин, 2024.
- [2] Куркић Зденка, Препоруке „Монтажа темеља стопа-коруба и утицај на тло КМГ Трудбеника Београд за монтажу торањске дизалице METALNA LHC 120 на градилишта у Србији“
- [3] Љубисављевић Грујица, „Избор начина ослањања торањске дизалице са зглобном рамном X шасијом“, Часопис ДИТ, бр. 42, Друштво инжењера из Зрењанина, Зрењанин, 2024.
- [4] Љубисављевић Грујица, Скице, цртежи и фотографије са градилишта у Русији

Адреса аутора: Грујица Љубисављевић,
дипл.маш. инг., Научно стручно друштво Крушевац
е-маил: grujica48@gmail.com
Рад примљен: Септембар 2026.
Рад прихваћен: Септембар 2026.



Друштво Истраживање Технологије

Научно-стручни часопис
Scientific-profesional journal

Година XXXII, Број 46, септембар 2026. год.
Year XXXII, Issue 46, September 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

DRŽAVA I NEOLIBERALNI MODEL TRŽIŠNOG KAPITALIZMA

THE STATE AND THE NEOLIBERAL MODEL OF MARKET CAPITALISM

EDI DARUŠI¹

¹Zrenjaninska gimnazija, Zrenjanin

REZIME

Vladajuća ekonomska teorija tvrdi da je uzdizanje ogromnog broja ljudi iz siromaštva jedno od postignuća globalnog neoliberalnog kapitalizma. Zapravo su posledice dominacije slobodnotržišnog kapitalizma propast lokalnih industrija i nacionalnih ekonomija, erozija društvene povezanosti i veća društvena izolovanost, stres među radnicima izazvan gubitkom posla, slabljenje obrazovanja, veće društvene podele. Suprotno minimalizaciji uloge države danas nam je neophodna liberalno-demokratska i preduzetnička država. Rešavanje globalnih kriza dogodiće se samo ako preoblikujemo vlade, jer jedino one imaju kapacitet da sprovedu transformacije potrebnih razmera. To je preduslov za restrukturiranje kapitalizma na način koji je inkluzivan, održiv i pokrenut inovacijama.

Ključne reči: slobodno tržište, neoliberalizam, kapitalizam katastrofe, minimalna država, preduzetnička država

ABSTRACT

The dominant economic theory maintains that lifting vast numbers of people out of poverty stands as one of the major achievements of global neoliberal capitalism. In reality, however, the predominance of free-market capitalism has also produced a range of adverse consequences, including the collapse of local industries and national economies, the erosion of social cohesion and increasing social isolation, heightened stress among workers resulting from job insecurity and unemployment, the weakening of educational systems, and deepening social divisions. Contrary to the notion that the role of the state should be minimized, contemporary circumstances call for a liberal-democratic and entrepreneurial state. Addressing global crises will be possible only through the transformation of governments, as they alone possess the institutional capacity to implement changes on the scale required. Such transformation constitutes a prerequisite for restructuring capitalism in a manner that is inclusive, sustainable, and driven by innovation.

Key words: free market, neoliberalism, disaster capitalism, minimal state, entrepreneurial state

1. UVOD

„Ne očekujemo ručak od naklonosti mesara, pivara ili pekara, već od toga što oni čuvaju vlastiti interes: ne obraćamo se njihovoj čovečnosti već njihovoj sebičnosti.“

Adam Smit

„Verovanje u prednosti slobodne trgovine zauzima centralnu ulogu u neoliberalnoj teorijskoj konstrukciji, tako da je to suštinski kriterijum koji definiše ko se može smatrati neoliberalnim ekonomistom.“

Ha-Joon Chang [7]

Globalno čovečanstvo suočeno je dugi niz godina sa sve većim brojem izazova od kojih su dva čisto ekonomska: finansijska kriza i eksponencijalni rast siromaštva, kao i ekonomsko/tehnološka kriza: energetska kriza i ekološka kriza. Između ostalih uzroka ovih kriza, zapravo je zajednički uzrok vladajuća ekonomska teorija koja je tokom više decenija postajala sve apstraktnija [8] (udaljenija od realnosti) predstavljajući tržište kao mehanizam koji stvara ravnotežu. Fridrih fon Hajek (Friedrich August von Hayek) tvrdio je da će bez političkih uplitanja u tržišta ona uspostaviti spontani red sam od sebe. Prema Hajeku kada jednom odbranimo ideju da se politički postupci mogu rangirati shodno nekom ukupnom opštem dobru, onda bi trebalo shvatiti kako vlada ima ulogu da pomogne pojedincima da ostvare svoje različite interese, a to se, prema Hajeku, može postići samo slobodnim razvojem tržišta bez uplitanja države [18]. Tako nastalo slobodno tržište Hajek opisuje kao “katalaktičku igru” u kojoj se stvara bogatstvo i u kojoj svako u principu može da dobije, kombinujući veštinu i sreću i svako ima povoljniju mogućnost da dobije nego u demokratijama sa intervencionističkim državama. Da uloga države treba da bude minimalna, slaže se i Robert Nozik (Robert Nozick). On tvrdi da je: “...minimalna

država podsticajna koliko i ispravna.” [29]

Državni intervencionizam u spontani ekonomski poredak je loš jer izaziva nepredvidive posledice, a to znači da je za neoliberalne neutemeljen stav po kojem država opravdano interveniše da bi ispravila posledice delovanja tržišnih mehanizama. **“Dokaz da je tržište nesavršeno ne predstavlja dovoljan argument za državnu akciju koja može biti još nesavršenija.”**, tvrdi Milton Fridman (Milton Friedman) [28]. Odnosno prema tvrdnji Renata Ruđera (Renato Ruggiero) prvog generalnog direktora Svetske trgovinske organizacije, nakon što je liberalizacija i u spoljnoj politici označena kao politika međunarodnih institucija: **“...mi sada imamo potencijal da izbrisemo svetsko siromaštvo na početku sledećeg XXI veka, što je pre nekoliko decenija bilo utopijsko sanjarenje a danas je realna izvodljivost.” [4]**

Dakle neoliberalizam se zalaže za dominaciju ekonomije nad politikom, odnosno potpunu privatizaciju vlasništva, otvaranje domaće privrede bez zaštitnih carina, oslobođenje intenziviranih tržišnih tokova robe, usluge, kapitala, znanja od državne regulacije, usmerenost na sebične interese pojedinaca, ali i pre svega slabljenje socijalne uloge države. Hajek u tom smislu i piše: **“Saglasnost većine oko toga kako da podeli plen koji može otetiti od manjine koja misli drugačije, teško može dobiti bilo kakvo moralno opravdanje - čak i kada za odbranu invocira izmišljotinu socijalne pravde.” [28]**. Odnosno kako je to Milton Fridman u pismu diktatoru Pinočeu napisao: **“Pogrešno je pokušavati činiti dobro novcem drugih ljudi.” [19]**. A Robert Nozik u svom magnus opus naglašava **“...država ne sme da upotrebi svoj aparat prinude u svrhu primoravanja nekih građana da pomognu drugima.”**, odnosno “šira država” nije opravdana jer narušava pravo osoba da ne budu prisiljavane na činjenje izvesnih stvari. [29]

Model reformi odnosno strukturnog prilagođavanja u zemljama koje su krenule ka izgradnji tržišne privrede proklamuje da će uspostavljanjem slobodno konkurentnog tržišta, posle kratkotrajnog kriznog perioda, doći do privredne obnove i ekonomskog rasta. Liberalizacija spoljne trgovine, minimalizacija uloge države i prepuštanje tržištu preporuke su međunarodnih institucija. Međutim stvarnost uopšte ne govori u prilog neoliberalnom narativu. Prema Džordžu Sorošu (George Soros) današnje slobodno tržište: **“...zapravo je ogromna imperija kapitala koja kao i svaka imperija ima svoj centar i periferiju, gdje centar profitira na račun periferije.”** [32]. Slomom projekta državnog socijalizma zemlje u razvoju, odnosno osiromašene tranzicione zemlje, u odsustvu alternativnih ekonomskih modela, bile su prinuđene finansijskim pritiscima da se povinuju dominantnom američkom neoliberalnom modelu koji je primorao te zemlje da otvore svoje granice i izlože svoju privredu snažnoj globalnoj konkurenciji, pri čemu zemlje u razvoju uslovljavaju stranom bilateralnom pomoći i zajmovima međunarodnih finansijskih institucija koje upravo te bogate zemlje kontrolišu, ali i ideološkim uticajem koju sprovode bogate države zahvaljujući intelektualnoj dominaciji svojih “trustova mozгова” i domaćoj kompradorskoj eliti. Tako i Rajko M. Bukvić ističe da sprovedene reforme nisu obezbedile proklamovane rezultate u proizvodnoj sferi: **“Osnovni rezultati koji su u ovom segmentu postignuti nedvosmisleno ukazuju na neuspeh: umesto obećanog prosperiteta, većina tranzicionih zemalja zabeležila je veliki i dugotrajni pad BDP-a, industrijske proizvodnje i životnog standarda.”** [4]. Odnosno, kako to primećuje Mišel Čosudovski (Michel Chossudovsky), nametnuti paket mera privredne stabilizacije otklonio je mogućnost svakog privrednog razvoja koji bi počinjao unutar tranzicionih država i odvijao se pod kontrolom nacionalnih političara. [9]

Ovome treba dodati i da je istorija savremenog slobodnotržišnog kapitalizma ispisana nekim od najozloglašnijih kršenja ljudskih prava u poslednjih četrdeset godina počinjene s namerom uvođenja radikalnih reformi slobodnog tržišta, o čemu je pisala Naomi Klajn (Naomi Klein) u svojoj knjizi Doktrina šoka. Zapravo nas to opominje i na utopijsko jezgro neoliberalne političke ekonomije, iako se neoliberalizam predstavlja kao simbol nove epohe čovečanstva koji je uspeo da prevaziđe utopijske odgovore za totalitarne užase XX veka. Međutim, ističe Slavoj Žižek: **“...iskustvo poslednjih decenija jasno pokazuje da tržište nije dobroćudni mehanizam koji najbolje funkcioniše kada se ostavi da funkcioniše sam od sebe. Da bi se stvorili uslovi za njegovo funkcionisanje potrebno je mnogo vantržišnog nasilja. Način na koji vantržišni fundamentalisti reaguju na destruktivne rezultate implementacije svojih recepata tipičan je za utopističke totalitarce, koji za neuspeh krive kompromise onih što su sprovodili njihove vizije...”** [38]

2. NEKAKAV ODBEGLI SVET

“Faktor koji je omogućio da se SARS-Cov-2 iz Kine raširi na sve strane sveta jeste globalni transportni sistem...iz toga sledi da je rana moderna istorija infektivnih bolesti ispisana mastilom trgovinskog kapitala, čija je specijalnost kupovina jeftinih dobara u udaljenim lokacijama i putovanja širom zemaljske kugle kako bi se ta dobra prodala po višim cenama.”

Andreas Malm [24]

Vizionarski anticipirajući naše savremeno doba, odnosno tehnologijom posredovanu povezanost čitavog sveta, kanadski sociolog Maršal Makluhan (Marshall McLuhan) u svojoj studiji iz 1969. godine “Rat i mir u globalnom selu”, umreženost čitave planete opisao je terminom globalno selo. Simbolički poredak

globalnog sela u potpunosti menja naša razmišljanja o političkim, ekonomskim i društvenim uticajima. Međutim Makluhan je već tada nagovestio da globalni horizonti ljudske komunikacije iako pomažu zbližavanju ljudi i diverzitetu razvoja, imaju za posledicu tribalizam, odnosno opasnu tenenciju da čitavo čovečanstvo postane psihološki ekvivalent nazadnog plemena.

Dakle zajedno sa pozitivnim mogućnostima koje globalizacija i tehnološki razvoj, informacione tehnologije i digitalizacija pružaju nameću se i brojni rizici čije su posledice globalne: **“...tehnologija 21. veka suočiće nas s novim globalnim pretnjama koje proističu iz bio-kiber-nauke o životnoj sredini, kao i iz fizike.”** [3]. Pojedinačno ali i kolektivno ljudi su stekli toliku moć eksponencijalnim rastom tehnologije da je čovečanstvo prema različitim projektima ili nenamernim posledicama sposobno da izazove nepovratne globalne promene. Danas se prema sociologu Entoni Gidensu (Anthony Giddens) suočavamo sa dominacijom proizvedenih rizika koji su direktna posledica uticaja čovekovog znanja, tehnologije i privrednog razvoja oslonjenog na fosilna goriva. Odnosno kako to ističe Miroslav Pečujlić: **“Gigantske razmere savremenog rizika izvire iz njegove osobne prirode. Rizici ne predstavljaju nešto spoljašnje, poput prirodnih katastrofa, biblijskih pojava ili zemljotresa već su ljudsko delo, plod ograničene kontrole nad vlastitim akcijama, njihovim posledicama. Rizici ne predstavljaju slučajne ili uzgredne posledice i odstupanja, već upravo logične posledice vladajućeg tipa tehnološko-ekonomskog razvoja. Oni nisu rezultat nedostatka tehnologije; njenim razvitkom oni, stoga ne nestaju već se drastično uvećavaju.”** [30]. Globalne klimatske promene i opasnosti koje dolaze od njih predstavljaju katastrofalne posledice delovanja neoliberalne globalizacije: efekat staklene bašte, oskudica vode za piće, zoonotska prelivanja. Prema Gidensu neki od proizvedenih rizika zaista imaju

katastrofalne razmere kao što su globalni ekološki rizici, širenje nuklearne tehnologije ili krah svetske ekonomije. Rizik, koji je danas zadobio zastrašujuće razmere, savremeni svet pretvara u društvo rizika van naše kontrole: **“...nekakav odbegli svet...”**. [16]

3. DRUŠTVO RIZIKA

„U jednom pogledu pak nema sumnje da je kapitalizam postao globalan, a to je u pogledu eliminisanja alternativnih sistema.“

James Fulcher [14]

Američki društveni analitičar Frensis Fukujama (Francis Fukuyama) u svojoj knjizi Kraj istorije i poslednji čovek proglašava pobedu liberalne političke demokratije i tržišne ekonomije nad totalitarnim režimima ali i pre svega konceptom države blagostanja. Globalno uspostavljena dominacija kapitalističkog ekonomskog obrasca svedoči prema Fukujami o kraju evolucije ljudske misli o primarnim načelima, odnosno da je: **„liberalizam pre svega pobedio u carstvu ideja...”**, te da je bilo kakva mogućnost daljeg istorijskog usavršavanja uma i slobode principijelno iscrpljena: **„...liberalna demokratija može da konstituiše kraj ideološke evolucije čovečanstva i krajnji oblik vladavine i kao takva kraj istorije. To će reći, dok su ranije oblike vladavine karakterisali ozbiljni nedostaci i iracionalnosti koji su dovodili do njihovog eventualnog sloma, liberalna demokratija je oslobođena takvih fundamentalnih unutrašnjih protivrečnosti.”** [13]. Pozivajući se na Hegela (Georg Wilhelm Friedrich Hegel) i Marksa (Karl Marx), koji su verovali da evolucija ljudskih društava nije beskrajna nego da će se završiti onda kada čovečanstvo: **„...postigne oblik društva koje zadovoljava njegove najdublje i najfundamentalnije težnje. Otuda i njihova stanovišta o „kraju istorije“... To je pre svega značilo da neće biti daljeg**

progresu u razvoju temeljnih principa i institucija zato što su sva stvarna velika pitanja rešena.“ [13], za Fukujamu dominantni kapitalistički model nije imao alternativu.

Iako je Fukujama tvrdio da je liberalna demokratija oslobođena:

“...fundamentalnih unutrašnjih protivrečnosti.“ [13] nesagledive razmere današnjih katastrofa inherentne su posledice dominantnog neoliberalnog modela ekonomskog razvoja, čijim se napretkom globalni rizici uvećavaju.

Tako se socijalni rizici uvećavaju nekontrolisanom dehumanizovanom neoliberalnom globalizacijom. Prema Gidensu događaji od 11. septembra 2001. ukazali su nam na rizike velikih međunarodnih terorističkih akcija. Alen Badju (Alain Badiou) krvoproliće počinjeno 13. novembra 2015. godine u Parizu takođe tretira kao: **“...jedan od brojnih trenutnih simptoma ozbiljne bolesti savremenog sveta.”** [1]. Sve širi jaz između malog broja bogatih i većine siromašnih i obespravljenih izaziva resantiman i očajanje koji su imali udeo u pokretanju terorističkih napada. Prema Bodrijaru (Jean Baudrillard) na teror globalizacije odgovara se terorom. Sve intenzivnija globalizacija predstavlja i kontekst i sredstvo koje je učinilo mogućim terorističke napade. Čitava akcija osmišljena je imajući u vidu globalni medijski auditorijum i dramatičan televizijski prenos u kojem je, dakle, zahvaljujući informacionim tehnologijama, zarivanje drugog aviona u Južnu kulu Svetskog trgovinskog centra gledalo oko milijardu ljudi.

Zapravo, prema Bodrijaru, može se govoriti o Četvrtom svetskom ratu u kojem je uloga sama globalizacija: **„Četvrti svetski rat opседа čitav svetski poredak, svaku hegemonijsku dominaciju, svaki jedinstveni svetski poredak.“** [2]. Prisvajajući oružje dominantne sile: novac i berzanske špekulacije, informatičke i aeronautičke tehnologije, dimenziju spektakla i globalne medijske mreže, ali i uvodeći i sopstvenu smrt kao

visokosimboličko oružje razmene, teroristi su iskoristili realno vreme slika, njihovo trenutno širenje svetom protiv SAD. Prisvajajući širenje globalizacije: berzanske špekulacije, vazdušni saobraćaj, elektronske informacije, dakle globalizacijske tekovine okrenuli su protiv globalizacije.

4. KAZINO EKONOMIJA

“Postoji niz različitih modela kapitalizma, a mi imamo pogrešan.”

Mariana Mazzucato [23]

Socijalno-ekonomski rizici produbljuju se i nastankom kazino ekonomija. Naime pod okriljem globalnih finansijskih tržišta, u kojima je hazard način za ostvarenje enormnog profita u: **„...globalizovanoj privredi povezanoj tehnologijom koja omogućava trenutno prebacivanje nezamislivih iznosa po čitavom svetu na zahtev špekulanata, a koja je imuna na bilo kakve propise, katastrofe će se dešavati daleko češće.“** [5]. Istorija deregulacija finansijskog sektora prepuna je skandala i finansijskih nesmotrenosti za koje su milioni klijenata i poreskih obveznika platili previsoku cenu. Svedoci smo globalne finansijske krize iz 2008. godine koja je svet gurnula u recesiju nalik onoj iz dvadesetih godina prošlog veka. Tržišta, kako je na to upozoravao Hajman Minski (Hyman Minsky), ne mogu neograničeno da rastu. Istovremeno s rastom tržišta, zaduženosti tržišnih učesnika i njihovog neosnovanog optimizma raste budući slom sistema. Finansiranje, piše Minski: **„...se često zasniva na pretpostavci da će se trenutno stanje prolongirati neograničeno u budućnosti ali naravno ova pretpostavka je pogrešna. Tokom buma trenutno stanje je bum kojeg prate kapitalni dobici i revaluacija vrednosti aktive. Tokom deflacije dugova i stagnirajuće recesije ista konvencionalna pretpostavka da će sadašnje stanje večno trajati je na snazi; vladajuća mudrost je da dugove treba izbeći jer dugovi vode u propast... Ali istina je da ni bum, ni deflacija dugova, ni stagnacija, a sigurno ne oporavak ili rast**

u uslovima pune zaposlenosti ne mogu potrajati večno. Svako stanje hrani sile koje vode njegovom uništenju.“ [27]. Odnosno krize kapitalizma nisu vanredni događaji, već odeđujući deo načina funkcionisanja kapitalističkog društva: **„...istorija kapitalizma prepuna je kriza. Razdoblja stabinog ekonomskog rasta jesu izuzetak, ne pravilo.“ [14].** Janus Varufakis (Yanis Varoufakis) nas podseća na to da su globalne finansije prvi put doživele imploziju 1929. godine i još jednom 2008. godine. S obzirom na to da su 1929. godine banke Vol strita upale: **„...u crnu rupu koju su same iskopale...neposredno zatim, u Evropi smo završili pod vlašću nacista i raznoraznih fašista.“ [37].** Ono što Varufakisa brine jeste to da iako se za integritet i dušu Evrope vodi titanska bitka, sile razuma i humanizma gube za sada pred: **„...rastućom iracionalnošću, autoritarizmom i zlobom.“** S obzirom na to da je Evropa u poslednjih sto godina: **„...povukla planetu u užasno blato. Može to ponovo da učini.“ [37]**

5. POTROŠNI LJUDI

“Da je život stvar koja se može kupiti, bogati bi živeli a siromašni mogli da umru.”

Narodna pesma regiona Gornje Temze

Još jedan krizni problem nastao kao rezultat globalizovane i finansijalizovane prirode kapitalizma jeste sve veća proizvodnja potrošnih ljudi. Zbog uvođenja novih tehnologija, automatizacije radnih mesta, ulaganja u sektor usluga, izmeštanja industrija u siromašne države, zbog prevage finansijskog nad privrednim kapitalom ljudi nisu više potrebni kao radnici niti kao potrošači.. Oni postaju deo: **„...globalne rezerve armije radne snage. Oni služe nekim svrhama, jedna je pojačati pritisak na smanjenje nadnica. Druga je disciplinovati radnu snagu. I ako znate da negde tamo gomila ljudi čeka vaše radno mesto, verovatnije je da ćete biti**

pokorni.“ [10]. Kako navodi Alen Badju danas u svetu postoji oko dve milijarde ljudi koji su beznačajni za kapitalistički sistem jer nisu ni potrošači ni radna snaga: **“Sa stanovišta opšte logike sveta, imperijalne i ohole kapitalističke globalizacije, oni kao da ne postoje.” [1].** Naravno nacionalne države više ne mogu obezbeđivati ekonomsku dobrobit za svoje građane i tako prelaze sa države blagostanja na državu garnizona. Sada države svoj legitimitet zasnivaju na zaštiti od “opasnih drugih”: potrebno je da se održava klima straha što je opravdanje za hegemonističko upravljanje, potrebni su beskrajni neprijatelji na međunarodnom planu: **“...terorizam, imigranti, izbeglice...Na domaćoj sceni obojeni ljudi, mladi, stari, LGBTQ zajednica, ljudi s drugačijim sposobnostima...”,** potreban je militarizovani odgovor. Zbog toga je, smatra Čomski (Noam Chomsky), kapitalistički sistem postao neuračunljiv. Prema njemu postoji jedan uobičajen problem, a taj je da gomila nije presrećna zbog potkopavanja funkcionisanja demokratije i ljudskih prava: **“Širom sveta sve vodi besu, nezadovoljstvu i ogorčenju.” [10]**

6. MINIMALNA DRŽAVA

“Ekonomski sistem koji vlada poslednjih četrdeset godina bio je naročito destruktivan. Ošteti je većinu stanovništva, rezultirao ogromnim rastom nejednakosti i štetom po demokratiju i prirodnu sredinu.”

Noam Chomsky [11]

Prema nobelovcu Džozefu Stiglicu (Joseph Stiglitz) nacionalne vlade moraju da preuzmu rešavanje globalnih problema: klimatske promene, socijalne nejednakosti, nezaposlenost i drugo, jer neoliberalna globalizacija, i sa njom povezana tehnokonomska paradigma, danas nije u interesu većine čovečanstva. Kao glavni ekonomista Svetske banke (1997-2000.) video je posledice neoliberalnog sistema koje su

radikalno promenile njegov stav o dominantnom ekonomskom razvoju zasnovanom na eksploataciji čoveka i Prirode: **“Video sam iz prve ruke pustošće efekte koje globalizacija može imati na zemlje u razvoju i posebno na siromašne u tim zemljama.”** [33]. Slavoj Žižek podseća na, kako piše, mučnu sudbinu država sa prokletstvom resursa, odnosno, tužnu istinu s kojom se suočavaju mnoge zemlje u razvoju: **“...prirodni resursi mogu da budu izvor nasilja i siromaštva, koliko i podrška miru i prosperitetu.”** Tako Demokratska Republika Kongo nosi prokletstvo rezervi kritičnih minerala, dijamanta i zlata. Naime, ispod površine “primitivnih” etničkih strasti: **“...koje eksplodiraju u afričkom “srcu tame” nepogrešivo se naziru konture globalnog kapitalizma.”** Multinacionalne korporacije eksploatišu resurse, a gospodari rata dobijaju novac za kupovinu oružja za masovne pokolje: **“Mnogi od minerala završice u našim laptopovima, mobilnim telefonima i drugim proizvodima visoke tehnologije. Problem nisu divljački običaji lokalnog stanovništva, već strane kompanije i bogati potrošači koji kupuju njihove proizvode. Uklonite ih iz te jednačine i čitavo zdanje etničkih sukoba će se raspasti.”** [39]. Upravo nas ova činjenica podseća na to koliko su kapitalizam i multinacionalne korporacije rešene da obezbede stabilno snabdevanje jeftinim sirovinama: **“Nužnost imperijalnih intervencija ostaje neodložna s obzirom na dimenziju kapitalističkih interesa koji su u igri: uranijum, nafta, dijamanti, dragocene šume, retki metali, kakao, kafa, banane, zlato, ugalj, aluminijum, gas.”** – tvrdi Alen Badju. [1]

Ako kapitalizam neprestano mora da traga po svetu za mestima koje još nije okupirao suočavamo se s problemom “akumulacije otimačinom” kako to identifikuje Voterston (Marv Waterstone), što dovodi do toga da proizvođači, radnici i seljaci lišeni sredstava za proizvodnju naseljavaju sirotinjske četvrti u svetu izazivajući nove krize: **“Kako kapital**

preuzima resurse, zemljišne ili druge, ljudi bivaju raseljavani i postaju deo reke izbeglica koje vidimo uz sukobe i ratove.” [10]

I globalno produkovan i nametnut samorazumljiv strah zapravo je napad na građanska prava i slobode: **“Menjali smo slobodu za bezbednost”** [10]. Međutim, sveprisutan strah koristi se za opravdanje vojnih intervencija širom sveta koji su često samo paravan za gangsterski kapitalizam (nastao nakon finansijskog kraha iz 2008.), otimačinu resursa i otvaranje novih tržišta.

7. KAPITALIZAM KATASTROFE

„Nalazimo se na pragu masovnog istrebljenja, a vi samo govorite o novcu i pričate nam bajke o večnom ekonomskom rastu.“

Greta Thunberg [15]

Krize da li prirodne ili veštački stvorene predstavljaju prema Miltonu Fridmanu, guruu slobodnotržišnog kapitalizma, odlične momente za plasiranje neoliberalnih ideja, tačnije krize stvaraju ogromne mogućnosti. Odnosno kako o tome otvoreno svedoči i Džon Vilijamson (John Williamson): **“Ova strašna vremena pružaju najbolje prilike onima koji razumeju potrebu za fundamentalnim ekonomskim promenama.”** [19]

Orkestrirani pohodi na javnu sferu posle katastrofalnih događaja, udružene s tretmanom katastrofa kao uzbudljivih tržišnih mogućnosti, Naomi Klajn naziva **“kapitalizam katastrofe”** [19]. Dakle, današnjem kapitalizmu katastrofe, odnosno prema Naomi Klajn arhitektama rata i korporativnim političarima, ratovi, teroristički napadi, prirodne katastrofe i ekonomski kolapsi država, jednom rečju krize raznih obima, oblika i intenziteta, po sebi su izvori ogromnih profita. Kao fundamentalistički oblik kapitalizma, neoliberalni kapitalizam katastrofe zapravo je model eksploatacija kriza i katastrofa koje su im potrebne da bi mogao da napreduje i ostvaruje enormni profit.

Ekonomski modeli nametnuti državama-kreirani u Beloj kući, Međunarodnom monetarnom fondu i Svetskoj banci: **“...koji svi služe ciljevima multinacionalnih korporacija...”** [22], donošene dakle zbog ideologija koje su u službi interesa pojedinaca i multinacionalnih korporacija povezanih: **“...u jednu umreženu globalnu hijerarhiju moći koja teži da stvori jedan celoviti postdržavni međunarodni poredak.”** [12], uništavali su planetu Zemlju dovodeći do ratova, genocida, izbegličkih kampova, masovnih migracija u gradska središta, beznađenih poslova u eksploatacijskim fabrikama... spisak je dugačak. U slučaju da odlučimo da klimatsku i druge krize shvatimo ozbiljno, gotovo svaki aspekt naše ekonomije morao bi da se promeni, ali postoje mnogi moćni interesi kojima odgovara da ovo globalno stanje “odbeglog sveta” ostane takvo kakvo jeste. To se naročito. **“...odnosi na korporacije koje ekstrahuju fosilna goriva i decenijama finansiraju kampanju dezinformacija, zamagljivanja i plasiranja direktnih laži u vezi za stvarnošću globalnog zagrevanja.”** [20]

8. NEKOLONIJALNA PODELA RADA

“Svim crncima će biti zabranjeno da tkaju lan i vunu, da predu ili drndaju vunu i da proizvode bilo šta od gvožđa osim da ga liju. Takođe će im biti zabranjeno da proizvode šešire, čarape i kožu bilo koje vrste. Ako osnuju sopstvenu industrijsku proizvodnju, a vlada kasnije bude imala potrebu da zaustavi njihov napredak, ne možemo očekivati da će to biti tako lako kao danas.”

Joshua Gee, London 1729.

Tipičan za viševjekovnu kolonijalnu ekonomsku politiku ovaj citat dovoljno svedoči o nameri dominantne ekonomske dogme da siromašne kolonije zadrže isključivo u sferi proizvodnje sirovina, a ne industrijske robe. Ukoliko bi kolonije

shvatile povezanost između sopstvenog siromaštva i zabrane industrijalizacije trebalo im je omogućiti da samo izvoze poljoprivredne sirovine:

“Zbog toga što će ljudi u kolonijama, ako ih primami slobodno tržište za sve njihove sirovine u celoj Evropi, učiniti sve što mogu da proizvedu sirovine kojima će zadovoljiti veliku potražnju koju slobodna trgovina može da obezbedi, misliće im potpuno otići od ideje da se industrijalizuju, što je jedina tačka po kojoj se naši interesi razlikuju od interesa kolonija.”

Mathew Decker, 1744.

Kolonijalizam je ekonomski model koji su utemeljivači slobodnotržišnog kapitalizma moralno opravdali. I Dejvid Rikardo (David Ricardo) potvrdio je ovu ekonomsku teoriju na kojoj globalni ekonomski poredak počiva. Prema Rikardu države će postati bogatije ako se svaka specijalizuje za delatnosti u kojima je najefikasnija i koje (delatnosti) imaju komparativnu prednost. Rikardova ekonomska teorija usmerena na sistematizaciju i razmenu ne posmatra tehnologiju i ostvareni nivo znanja kao inpute koji stvaraju bogatstvo, odnosno nema nikakve veze sa kvalitativnom teorijom ekonomskog rasta zasnovanoj na znanju i inovacijama, pronalascima i proizvodnji. Takođe će i Adam Smit (Adam Smith) stvoriti ekonomsku teoriju koja će kolonijalizam učiniti moralno opravdanim. Svodeći i proizvodnju i trgovinu na rad, Adam Smit je navodio argumente u prilog teze da takav rad ima prirodno istu cenu, ali i da je razmena svojstvena čoveku: **“Podela rada nastaje zbog čovekove sklonosti da se trampi, razmenjuje i trguje nešto što je zajedničko svim ljudima i što ne postoji ni kod jedne druge životinje...Niko nikada nije video psa kako svesno i sa nekom namerom razmenjuje kost za nešto drugo.”** Suprotno Adamu Smitu, Abraham Linkoln (Abraham Lincoln) nudi drugi pogled na čoveka iz kojeg proističe i druga ekonomska teorija koja se fokusira na

proizvodnju i inovacije: **“Dabrovi grade kuće, ali ne grade ih išta drugačije ili bolje nego što su to činili pre 5000 godina. Čovek nije jedina životinja koja radi ali je jedina životinja koja poboljšava ono što stvara. Do ovih poboljšanja čovek dolazi kroz pronalaskе i nova dostignuća.”**

Adam Smit i ostali teoretičari slobodnog tržišta tvrdili su da ostatak Evrope i SAD ne treba da se industrijalizuju jer će nastati globalna ekonomska harmonija samo ako bi se uvela slobodna trgovina, odnosno Engleska bude uvozila sirovine iz ostatka sveta a izvozila gotove proizvode. Naravno tadašnje evropske države nisu sledile savete Adama Smita, ali današnji neoliberalni globalisti vrlo uspešno nameću model slobodne trgovine zemljama u razvoju. Politika slobodnog tržišta: **“...dovela je do sporijeg rasta, rastuće nejednakosti i pojačane nestabilnosti u većini zemalja.”** [7]. Erik Rejnert (Erik Reinert) posmatrajući dominantnu ekonomsku teoriju i piše: **“Ekonomija je stvorila metafore koristeći fiziku iz osamdesetih godina XIX veka zasnovanu na ravnoteži.”** [31]. Dominantna ekonomska teorija zanemaruje ekonomiju zasnovanu na empirijskom znanju stečenom proučavanjem istorije.

Specijalizacija država u razvoju u onim oblastima u kojima imaju komparativnu prednost zapravo samo vraća države u predindustrijsko doba sa čestom ekonomskom i ekološkom katastrofom, uz zanemarivanje činioca “opadajućih prinosa”. Pitanje opadajućih prinosa prema Džonu Stjuartu Milu (John Stuart Mill): **“...bitnije i suštinskije od bilo kog drugog, ovo je srž celokupnog razumevanja siromaštva.”**

9. DOBICI SE INDIVIDUALIZUJU, A GUBICI SOCIJALIZUJU

“...engleski i nemački radnici morali bi da se naviknu na nizak životni standard indijskih “kulija” kako bi ostali konkurentni.”

Ludvig fon Mizes [26]

Neoklasična ekonomska teorija vezana za nasleđe Adama Smita i Dejvida Rikarda može matematički da dokaže da će svaki čovek na svetu koji prima platu, kako pripadnik plemena u amazonskim prašumama, tako i preduzetnik iz Silicijumske doline, postati jednako bogati samo ako ispune uslov da trguju što je moguće više i to robom koja nudi komparativnu prednost. Adam Smit u svom delu Bogatstvo naroda poručio je tadašnjim Amerikancima da ne razvijaju industrijsku proizvodnju. Tvrdio je da će: **“...pokušaj zabrane uvoza evropskih proizvoda omesti, umesto poboljšati razvoj njihove zemlje ka pravom bogatstvu i moći.”** [6]. Današnji svetski ekonomski poredak upravo se, kako to primećuje Erik Rejnert u svojoj knjizi Spontani kaos, zasniva na najjednostavnijoj verziji te teorije: **“...to jest da svetska trgovina ima sposobnost da izjednači ekonomsku nejednakost između bogatih i siromašnih zemalja.”** [31]. Međutim svet u kojem živimo potpuno demantuje ove ekonomske modele svetskog ekonomskog poretka, odnosno osnove politika SAD prema nerazvijenim zemljama. Države koje su ostale siromašne jesu upravo one kojima je nametnut ovaj tip ekonomske teorije. Ovaj oblik koristi od svetske trgovine krajnje je minimalan. Iako nas vladajuće neoliberalno mišljenje ubeđuje u suprotno: **“Zapamtite, jednostrana liberalizacija nije usluga, niti žrtva za koju treba tražiti protiv uslugu. Ona je čin prosvetljenog shvatanja vlastitih interesa. Recipročna trgovinska liberalizacija uvećava dobitke od trgovine, ali nije neophodna da bi dobitaka bilo-cela ekonomska teorija sažeta je samo u toj mudrosti”**,- tvrdi Vilem Bojter. [4]

Smitova “kapajuća ekonomija” ocrta neoliberalni diskurs u kojem je intervencija države uvek loša jer je tržište superiorno. Jedino bi društva koja se oslanjaju na tržišta dostigla sveukupni nivo bogatstva koji bi sredstva za izdržavanje svih članova zajednice podigao na viši nivo. “Ekonomija kapanja/prelivanja”, naklonjena bogatima, ipak nije uspela da ubrza globalni rast tokom

poslednje četiri decenije. Stanovište po kome će bogatstvo koje je nastalo na vrhu kapijem stići do siromašne svetske populacije takođe ne stoji, i kapljice su toliko sićušne da se njihov uticaj i ne oseti ako je sve prepušteno slobodnom tržištu. Menadžerska i korporativna klasa poseduju toliku ekonomsku i političku moć da mogu da manipulišu globalnim tržištem, prenoseći na druge ljude negativne posledice svojih postupaka. Gotfrid Haberler (Gottfried Haberler) je još 1933. godine smatrao da se nadnice u posleratnoj Austriji moraju smanjiti da bi se obnovila konkurentnost privrede. On se tako i pita kako ekonomija koja je u bezmalo svakom pogledu slabo opremljena, može izdržati konkurenciju industrije i poljoprivrede koje rade u boljim proizvodnim uslovima a da se ne štite visokim carinskim kvotama? Njegov odgovor je jednostavan: **“...slaba ekonomija može se takmičiti s bogatom kada su nadnice i drugi oblici primanja odgovoarajuće manji. Kada smo suočeni s nužnim posledicama, kada životni standard dovoljno padne kada primanja dovoljno padnu, tada ekonomija može napredovati, normalno poslovati... kada kvalifikovani radnici u izvoznoj industriji budu prešli u radničke jame, možda u poljoprivredu, a takođe i druge sektore čiji se proizvodi mogu bolje razmeniti za odabranu izvoznu robu, a ostatak radnika, koliko god je to moguće, bude emigrirao, tada će možda svi ponovo biti zaposleni, pod uslovom da je životni standard viši.”** [21]

Neoliberalna dogma obećavala je nadolazak plime koja podiže sve brodove, bogatstvo koje će curiti i nadole. Analitičari Svetske banke tvrde da je uzdizanje ogromnog broja ljudi iz siromaštva jedno od postignuća globalnog neoliberalnog kapitalizma. Ali stvarnost je potpuno drugačija. Kako naglašava Marv Voterston zapravo su posledice slobodnotržišnog kapitalizma propast industrije i lokalne ekonomije, erozija društvene povezanosti i veća društvena izolovanost, stres među radnicima izazvan gubitkom posla, slabljenje

obrazovanja, veće društvene podele, primanja srednje klase stagniraju, oni kojima je potrebno imaju manji pristup socijalnim službama i prevenciji i lečenju društvenih bolesti i bolesti zavisnosti. Komercijalizacija svega, uključujući privatizaciju svih oblika zajedničkih dobara, intelektualne svojine, patenata i autorskih prava, komercijalizacije uprave i politike: **“Sve su to oblici akumulacije ili akumulacije otimačinom...”** [10].

Dakle dramatičan porast siromaštva i bede, duboka polarizacija društva, iskorenjavanje moralnih standards, kako na nacionalnom planu tako i u čitavom svetu, nužno nameće pitanje koliko još vremena treba da prođe dok se ne izađe iz **“doline suza”** i koje će sve žrtve biti za to potrebne: **“koliko marginalizovanih sudbina”**, pita se Jirgen Habermas (Jurgen Habermas), **“će ostati da leži pored ivice puta, koliko neobnovivih civilizacijskih dostignuća će pasti kao žrtve tog stvaralačkog razaranja.”** [17].

Otuda Noam Čomski i piše: **“Neoliberalizam postoji, ali samo za siromašne. Slobodno tržište važi samo za njih. To je istorija kapitalizma... Principi slobodnog tržišta odlično se primenjuju na siromašne, ali vrlo bogati su zaštićeni. Ovde se stanovništvu kaže da je država problem i smanjuje se njeno područje delovanja. I šta se događa. Prostor države je okupiran privatnom moći a tiranija velikih entiteta raste.”** [10]

10. ULOGA DRŽAVE U NEOLIBERALNOM KLJUČU

“Držite na umu apsolutnu zavisnost neoliberalnog modela od neprekidnih intervencija države.”

Marv Waterstone [10]

Kada je reč o odnosu države i tržišnog kapitalizma Džejsms Felčer (James Fulcher) ukazuje na nekoliko faza u razvoju kapitalizma i to od svojih početaka u Britaniji XVI-og veka.

U prvoj fazi državna mašinerija pokrenuta u XVI-om veku bila je obustavljena do 1815. godine, zbog interesa industrijalaca koji su želeli da budu slobodni od mešanja državne kontrole u razvijanju svojih delatnosti. Industrijalci su smatrali da sada tržište, a ne država, treba da ustanovi visinu osnovne zarade: **“...želeli su i slobodnu trgovinu, delom da bi pomogli izvozu, ali i zato što bi im uvoz jeftinije hrane omogućio da isplaćuju niže plate.”** [14]. U drugoj polovini XIX-og veka počinje naredna faza kapitalizma koja svoj vrhunac dostiže sedamdesetih godina XX-og veka. Konkurencija i tržište otpadaju a vlade nastoje da: **“... zaštite nacionalne ekonomije od sve veće međunarodne konkurencije.”** [14]. Međutim, sedamdesetih godina XX-og veka planirani kapitalizam propada: **“...a osamdesetih se novo praznoverje, zasnovano na oživljavanju tržišnih sila usadilo u politiku vlade.”** [14]. Poslednja faza ponovnog uvođenja trišnog kapitalizma obeležena je ogromnim povećanjem državne regulative: **“...koji je u nekim oblastima postala veća nego što je ikada bilo tokom razdoblja planiranog kapitalizma.”** [14]. Nacionalne države igraju glavnu ulogu u aktivnostima nadnacionalnih korporacija, iako preovladava utisak da se korporacije s prezirom odnose prema ideji nacionalne države.

Kvin Slobodijan (Quinn Slobodian) ističe da neoliberali nisu imali utopijsko shvatanje u tržišta koja funkcionišu nezavisno od državne intervencije. [21]. Sam Hajek odbacivao je ideju da se zalaže za minimalnu državu. S obzirom na to da je Hajek tvrdio da savršena tržišta ne postoje u stvarnosti, jer ni savršeno znanje nije moguće, neoliberali su ukazivali na izvanekonomske uslove koje treba ostvariti zarad slobodnog ekonomskog sistema. Središte nemačkog ordoliberalizma i austrijskih ekonomista, kako to naglašava Kvin Slobodijan, nije na: **“...ekonomiji kao takvoj već na institucijama koje stvaraju prostor za ekonomiju.”** [21]. Stvarni smisao neoliberalne mantre nije bila na

tržištu kao takvom već na zaštiti tržišta preoblikovanjem država odnosno prava, zakona i političkih institucija. Dakle sama tržišta su politički konstrukt jer sva imovinska i druga prava koja ih podupiru imaju političko poreklo. Ha Džun Čang (Ha-Joon Chang) u tom smislu i piše : **“...slobodno tržište je samo iluzija.”** i dodaje da ako neko tržište deluje slobodno to je samo tako jer mi prihvatamo: **“...propise koji ta tržišta podupiru, da sami ti propisi postaju nevidljivi.”** [23]. Ekonomija tako nije nauka poput drugih nauka ona je političko pregnuće, i ukoliko ekonomisti koji su zagovornici slobodnog tržišta kažu da neke propise ne treba uvesti zato što bi se tako ograničila sloboda tržišta, oni samo izražavaju svoj politički stav kojim odbacuju ona prava koja predloženi zakon treba da odbrani: **“...raskid sa iluzijom objektivnosti tržišta samo je prvi korak na putu ka razumevanju kapitalizma.”** [23]. Odnosno neoliberalno učenje je filozofsko razmišljanje kakav svet treba da bude. Uloga države prema ovom filozofskom narativu bi i bila stvaranje institucionalnog okvira koji je primeren praksi slobodnotržišnog kapitalizma: **“...tržište mora biti stvoreno državnom intervencijom.”** [10]. Ovo nas dovodi do Marksovih predviđanja da će “racionalan” planski pristup kapitalističkih preduzeća na kraju biti superiorniji od rastrošne anarhije tržišta, da bi upravo taj princip državnom intervencijom i bio proširen na celu privredu.

Srž neoliberalne ideologije u XX-om veku sadržava ono što su neoliberalni teoretičari nazivali metaekonomskim ili izvan ekonomskim uslovima za zaštitu kapitalizma na nivou celog sveta. Tako Ludvig Fon Mizes (Ludwig von Mises) još 1927. godine piše da: **“...za liberale, svet se ne završava na granicama države...Njegovo političko razmišljanje obuhvata celo čovečanstvo.”** [21]. Ženevska škola neoliberala premestila je ordoliberalnu ideju “ekonomskog ustava” sa nivoa nacija na nivo koji prevazilazi nacije. Ekonomski ustav za ceo svet. Potpuna

zaštita privatnog kapitala te sposobnost nadnacionalnog zakonodavstva poput Evropskog suda pravde i Svetske trgovinske organizacije da nadvlada državne zakone koji bi mogli ugroziti prava kapitala.

Dakle normativni neoliberalni svet nije tržište bez granica i bez država: **“...već podvojeni svet koji čuvari ekonomskog ustrojstva štite od masovnih zahteva za društvenom pravdom i redistributivnom jednakošću.”** [7]

11. ZAKLJUČAK – POTREBNA NAM JE PREDUZETNIČKA DRŽAVA

„Akumulirajte, akumulirajte! U tome su sav Mojsije i proroci...Akumulacija radi akumulacije. Proizvodnja radi proizvodnje!“

Karl Marx [25]

Duboko zabrinut nad sve većim nejednakostima u društvu Klaus Švab (Klaus Schwab), osnivač i direktor Svetskog ekonomskog foruma u Davosu, smatra da Četvrta industrijska revolucija u jednakoj meri stvara i ogromne koristi i ogromne izazove poput rastućeg jaza: **“...u bogatstvu između onih koji žive od rezultata sopstvenog rada i onih koji poseduju kapital.”** [36]. Da bi se onemogućila koncentracija vrednosti i moći u rukama ograničenog broja ljudi neophodno je obezbediti otvorenost za kolektivne tehnološke inovacije. Upravo zahvaljujući tehnološkim prodorima fundamentalne promene desiće se u ekonomskim, političkim i društvenim sistemima, smatra Švab. Sa ovim uvidima donekle se slaže i Erik Rejnert koji tvrdi da su: **“...inovacije i novo znanje suštinske pokretačke sile u istoriji ekonomskog razvoja.”** [31]. Rejnert takođe naglašava da promena tehno-ekonomske paradigme menja vrednosne sisteme u svim sferama ekonomije, države i društva. Ovaj evolutivni proces ekonomista Jozef Šumpeter (Joseph Schumpeter) nazvao je kreativna destrukcija u kojoj stare vrednosti, znanje i kapital bivaju uništeni a samo ona znanja koja se povežu sa inovacijama uspeće

da prežive i povećaju svoju vrednost. [35]. U tom smislu Rejnert i piše: **“Preduzetništvo, nova tehnologija i jaka država. To su ključni pojmovi za novi održiv rast.”** [31]

Međutim ono što Rejnert ističe nasuprot tehnološkom optimizmu Klausa Švaba i drugih jeste to da su inovacije i tehnološki razvoj, iako bi trebalo da budu dostupni svim zemljama, neravnomerne raspodeljene među državama u svetu. Globalnu ekonomiju Rejnert posmatra kao neku vrstu piramide hijerarhije znanja u kojoj oni koji stalno inoviraju ostaju na vrhu, dok su na dnu hijerarhije oni kojima je nametnuta neoliberalna ideologija. Problemi upravljanja naučno-tehnološkim progresom u službi održivog razvoja su dakle mnogo dublji. Pozicije koju zauzimaju bogate zemlje, poput SAD, odražavaju finansijske i korporativne interese multinacionalnih korporacija i finansijskih institucija iz velikih razvijenih zemalja.

“Potrebna nam je država. To je ono po čemu se razlikujemo od anarhista.”

Lenjin

Potreban je novi portfolio, misija poput misije Apolo 11 koja mora pokrenuti transfer finansiranja i “prelivanje” tehnologije u dosad neviđenoj razmeri. Tehnologija mora da odgovori na zahteve stvarnosti u svim zemljama radi rešavanja nagomilanih problema i istovremeno podizanja kvaliteta života ljudi. I prema Džozefu Stiglicu neophodno je upravljanje tehnološkim inovacijama u službi održivog razvoja: **“Inovacije na svim nivoima su od suštinskog značaja kada se razmatra prelazak na održivije forme proizvodnje... i kvalitetno upravljanje.”** [34]. Kvalitetno upravljanje podrazumeva i nacionalnu institucionalizaciju kako bi naučno tehnološki progres bio u službi održivog razvoja.

Potrebna je preduzetnička država! Naravno kada je reč o politikama u vezi s ekonomskim promenama uloga države ne znači povratak na centralno upravljanje kao što apostrofira i Slavoj Žižek: **“Kažem da je najveći problem da li nekako možemo da povratimo kontrolu nad finansijskim**

kapitalom, a da ponovo ne upadnemo u totalitarnu zamku.” [40]. I Noam Čomski naglašava da alternative kasnoj fazi kapitalizma: **“...nije planska ekonomija kojom bi upravljala autoritarna država.” [10].** Dakle kada je reč o ulozi države odbacuje se zalaganje za povratak na dirigovano upravljanje jer treba sačuvati prednosti koje regulisano tržište obezbeđuje.

Rešavanje globalnih kriza dogodiće se samo ako preoblikujemo vlade, jer jedino one imaju kapacitet da sprovedu transformacije potrebnih razmera: **“ To je preduslov za restruktuiranje kapitalizma na način koji je inkluzivan, održiv i pokrenut inovacijama.” [23]**

12. LITERATURA

- [1] Badju, A., Naša nevolja dolazi izdaleka – naše zlo dopire nadaleko, Novi Sad: Akademska knjiga, 2016.
- [2] Bodrijar, Ž., Duh terorizma, NSPM vol. VII, no. 3-4.
- [3] Bostrom, N. i Čirković, M., M., Rizici globalnih katastrofa, Smederevo: Heliks, 2011.
- [4] Bukvić, M., R., “Drugi kanon i Maršalov plan kao model ekonomske politike”, <https://mpira.ub.uni-muenchen.de/id/eprint/94648>, pristupljeno 12.04.2026.
- [5] Barnet R. & Kavana Dž., “Elektronski novac i kazino ekonomija”, u Globalizacija: argumenti za i protiv, priredili Džeri Mander i Edvard Goldsmit, Beograd: Clio, 2002.
- [6] Čang, H., Dž., 23 stvari koje vam ne kažu o kapitalizmu, Beograd: Mali vrt, 2013.
- [7] Čang, Dž., H., Loši Samarićani, Beograd: Mali vrt, 2016.
- [8] Čang, Dž., H., Ekonomija uputstvo za upotrebu, Beograd: Mali vrt, 2019.
- [9] Čosudovski, M., Globalizacija siromaštva i novi svetski poredak, Beograd: ART IST, 2010.
- [10] Čomski, N., i Voterston, M., Posledice kapitalizma, Novi Sad: Akademska knjiga, 2022.
- [11] Čomski, N., “Pre nego što bude prekasno”, <https://pescanik.net/pre-nego-sto-bude-prekasno/>, pristupljeno 01. 04. 2026.
- [12] Despotović Lj. I Gajić A., “Perspektive moderne države u postvestfalskom poretku”, Kultura polisa, 14(23).
- [13] Fukujama, F., Kraj istorije i poslednji čovek, Podgorica: CID, 2002.
- [14] Falčer, Dž., Kapitalizam, Beograd: Laguna, 2017.
- [15] Gessen, M., “Greta Tunberg kao anti-Tramp”, <https://pescanik-net.webpkgcache.com/doc/-/s/pescanik.net/greta-tunberg-kao-anti-tramp/>, pristupljeno 25. 04. 2026.
- [16] Gidens, E., Odbegli svet, Beograd: Stubovi kulture, 2005.
- [17] Habermas, J., “Evropska nacionalna država pod pritiskom globalizacije”, NSPM vol VII, no. 3-4
- [18] Kaningem, F., Teorije demokratije, Beograd: Filip Višnjić, 2003.
- [19] Klajn, N., Doktrina šoka, Beograd: SamizdatB92, 2009.
- [20] Klajn, N., Svet u plamenu, Beograd: FMK, 2022.
- [21] Kvin, S., Globalisti, Novi Sad: Akademska knjiga, 2022.
- [22] Mander, Dž., “Pravila korporacijskog ponašanja”, u: Globalizacija- argumenti za i protiv, priredili Džeri Mander i Edvard Goldsmit, Beograd: Clio, 2002.
- [23] Macukato, M., Ekonomija sa misijom, Novi Sad: Akademska knjiga, 2022.
- [24] Malm, A., Korona, klima, kapitalizam, Beograd: FMK, 2022.
- [25] Marks, K., Kapital, u Karl Marks Fridrih Engels Dela, 21. Tom, Beograd: Prosveta, 1978.
- [26] Mason, J. W., “Tržišna policija”, <https://pescanik.net/trzisna-policija/>, pristupljeno 13. 03. 2026.
- [27] Minsky, H., John Maynard Keynes, New York: The McGraw-Hill, 1975.
- [28] Nedović, S., Država blagostanja, Beograd: CUPS i CeSID, 2005.
- [29] Nozik, R., Anarhija, država i utopija, Beograd: Miba books, 2015.

- [30] Pečujlić, M., Globalizacija dva lika sveta, Beograd: Gutenbergova galaksija, 2005.
- [31] Rejnert, E., Spontani haos, Beograd: Čigoja štampa, 2010.
- [32] Soroš, Dž., Kriza globalnog kapitalizma, Sarajevo: Rabić, 1999.
- [33] Stiglic, Dž., Protivrečnosti globalizacije, Beograd: SBM-x, 2002.
- [34] Stiglic, Dž., Globalizacija i njene protivrečnosti: antiglobalizacija u Trampovoj eri, Beograd: Mibabooks, 2014.
- [35] Šumpeter, J., Kapitalizam, socijalizam i demokratija, Beograd: Kultura, 1960.
- [36] Švab, K., Četvrta industrijska revolucija, <https://www.scribd.com/document/639347083/Klus-%C5%A0vab-%C4%8Cetvrta-industrijska-revolucija>, pristupljeno 10.04. 2026.
- [37] Varufakis, J., A slabi trpe ono što moraju, Beograd: Laguna, 2017.
- [38] Žižek, S., U odbranu izgubljenih stvari, Novi Sad: Akademska knjiga, 2011.
- [39] Žižek, S., “Globalni kapitalizam i trajni rat”, <https://pescanik.net/globalni-kapitalizam-i-trajni-rat/>, pristupljeno 22. 04. 2026.
- [40] Žižek, S., “Alternativa kapitalizmu”, <https://pescanik.net/alternativa-kapitalizmu/>, pristupljeno 12. 22. 2026.

Adresa autora: Daruši Edi, profesor filozofije,
Zrenjaninska gimnazija, Zrenjanin, Gimnazijska 2
e-mail: edidarusi@gmail.com
Rad primljen: Avgust 2026.
Rad prihvaćen: Septembar 2026.

”

УПРАВЉАЊЕ ВРЕДНОШЋУ И ИСПЛАТИВОШЋУ ПРОЈЕКТА – АНАЛИЗА КОРИСТИ, ПОВРАЋАЈ УЛАГАЊА (ROI) И ФИНАНСИЈСКА ОПРАВДАНОСТ

PROJECT VALUE AND PROFITABILITY MANAGEMENT – ANALYSIS OF BENEFITS, RETURN ON INVESTMENT (ROI) AND FINANCIAL FEASIBILITY

DEJAN IGOV¹
SANJA STANISAVLJEV²
IVANA DENČIĆ²

¹Faculty of Project and Innovation Management, Belgrade, Serbia

²Technical Faculty „Mihajlo Pupin”, Zrenjanin

РЕЗИМЕ

Управљање вредношћу и исплативошћу пројекта представља један од кључних аспеката савременог управљања пројектима, јер успешност пројекта није могуће оценити искључиво на основу поштовања планираног рока, обима и буџета. Коначна оцена треба да обухвати остварене користи, економске ефекте и однос између уложених ресурса и створене вредности. У раду се анализирају основни принципи управљања вредношћу пројекта, идентификација и вредновање користи, као и најзначајнији показатељи финансијске оправданости инвестиционих одлука. Посебна пажња посвећена је показатељу повраћаја улагања (ROI), анализи нето садашње вредности (NPV), интерне стопе приноса (IRR) и периода повраћаја. Приказана је и илустративна анализа пројекта на основу новчаних токова, са циљем да се покаже како се појединачни финансијски показатељи могу користити за доношење одлука. Закључује се да ROI представља користан, али недовољан самостални критеријум, те да финансијску

оправданост треба процењивати комбиновањем више показатеља, уз разматрање ризика, времена настанка користи и стратешког доприноса пројекта.

Кључне речи: управљање пројектом, вредност пројекта, користи, ROI, NPV, IRR, инвестиције, финансијска оправданост

ABSTRACT

Project value and profitability management is an important dimension of contemporary project management because project success cannot be assessed only by compliance with scope, schedule and budget. A comprehensive assessment should include realized benefits, economic effects and the relationship between invested resources and created value. This paper analyses the principles of project value management, identification and valuation of benefits, and the main indicators used to assess financial feasibility. Particular attention is given to Return on Investment (ROI), Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and payback period. An illustrative project case based on projected cash flows is

presented in order to demonstrate how these indicators can support investment decisions. The analysis shows that ROI is useful but insufficient as a stand-alone criterion and that financial feasibility should be assessed by

combining several indicators with risk, timing of benefits and strategic contribution.

Key words: project management, project value, benefits, ROI, NPV, IRR, investment, financial feasibility

1. УВОД

Савремени пројекти све се мање посматрају као изоловани подухвати чији је основни циљ испорука планираног резултата у оквиру одобреног буџета и рока. Од пројекта се очекује да допринесе ширим организационим циљевима, побољша пословне резултате, смањи трошкове, повећа приходе, унапреди квалитет услуга или створи друге мерљиве и немерљиве користи. Због тога се питање вредности пројекта поставља не само на почетку, приликом избора инвестиције, већ и током реализације и након завршетка пројекта.

Међународни приступи управљању пројектима све више наглашавају везу између резултата, исхода, користи и организационе вредности. ISO 21502 даје смернице за управљање пројектима и обухвата различите типове пројеката, док приступ PMI-ја у систему испоруке вредности наглашава повезаност пројектних резултата са исходима и вредношћу за организацију. Овакво схватање помера фокус са питања „да ли је пројекат завршен?“ на питање „да ли је пројекат створио очекивану вредност?“ [1–3].

Финансијска анализа је посебно значајна код инвестиционих, дигитализационих, производних, инфраструктурних и организационих пројеката, где се значајна средства улажу пре него што користи почну да се остварују. Одлука о прихватању пројекта зато мора да узме у обзир висину почетног улагања, структуру будућих прихода и уштеда, време настанка новчаних токова, остатну вредност, трошкове одржавања и неизвесност. Само поређење укупних користи и укупних трошкова често није довољно, јер новчана корист која настаје за

пет година нема исту економску вредност као иста корист остварена данас.

Циљ овог рада је да систематизује основне елементе управљања вредношћу и исплативошћу пројекта и да прикаже примену кључних показатеља инвестиционе анализе. Посебно се анализира ROI, али се указује и на његова ограничења у односу на NPV, IRR и период повраћаја. Рад је концептуалног и аналитичког карактера, а у практичном делу користи се илустративни пример са хипотетичким новчаним токовима, без претензије да представља анализу конкретне организације.

2. УПРАВЉАЊЕ ВРЕДНОШЋУ ПРОЈЕКТА

2.1. ПОЈАМ ВРЕДНОСТИ У ПРОЈЕКТНОМ УПРАВЉАЊУ

Вредност пројекта може се дефинисати као укупни допринос који пројекат ствара за организацију и њене заинтересоване стране у односу на ресурсе који су за његову реализацију употребљени. У најједноставнијем облику вредност се може повезати са финансијским резултатом, али је њено значење шире. Пројекат може створити вредност кроз повећање прихода и профита, смањење трошкова, смањење ризика, повећање продуктивности, побољшање квалитета, усклађеност са прописима, развој нових компетенција или побољшање корисничког искуства.

Управљање вредношћу подразумева да се очекивана корист дефинише пре улагања, да се током пројекта прати напредак ка планираним исходима и да се након имплементације проверава да ли су користи заиста реализоване. На тај начин се успоставља веза између пословног циља, пројектног резултата и мерљивог ефекта.

2.2. РЕЗУЛТАТИ, ИСХОДИ И КОРИСТИ

За правилно управљање вредношћу неопходно је разликовати резултат пројекта од исхода и користи. Резултат представља непосредну испоруку пројекта, као што су нови информациони систем, изграђени објекат, нова производна линија или обучени запослени. Исход се односи на промену која настаје употребом резултата, док корист представља мерљив позитиван ефекат те промене. На пример, увођење

новог информационог система је резултат, скраћење времена обраде захтева је исход, а смањење оперативних трошкова представља корист.

Ова разлика је важна зато што пројекат може бити формално успешан са становишта обима, рока и буџета, а да ипак не произведе очекиване користи. Због тога план реализације треба да буде повезан са планом реализације користи, који садржи показатеље, циљне вредности, носиоце одговорности и рокове за мерење ефеката.

Табела 1. Резултати, исходи, користи и вредност пројекта

Елемент	Основно питање	Пример	Могући показатељ
Резултат	Шта је пројекат испоручио?	Нови софтвер	Број имплементираних функција
Исход	Шта се променило?	Бржа обрада захтева	Време обраде
Корист	Који позитиван ефекат је остварен?	Мањи оперативни трошкови	Уштеда у RSD/год.
Вредност	Какав је укупан допринос?	Бољи финансијски и стратешки резултат	NPV, ROI и нефинансијски KPI

Табела приказује логички ланац вредности пројекта – од онога што је испоручено, преко промена које су настале, до конкретних користи и укупне вредности за организацију. На тај начин се омогућава да се успех пројекта не мери само испоруком, већ и стварним пословним ефектом.

3. АНАЛИЗА КОРИСТИ ПРОЈЕКТА

3.1. ИДЕНТИФИКАЦИЈА И КЛАСИФИКАЦИЈА КОРИСТИ

Анализа користи почиње идентификацијом свих очекиваних ефеката који могу настати као последица реализације пројекта. Користи треба повезати са конкретним пословним циљевима и, где год је могуће, изразити преко мерљивих индикатора. Финансијске користи обухватају повећање прихода, смањење трошкова, избегнуте трошкове, повећање искоришћености ресурса и ослобађање капитала. Нефинансијске користи могу бити побољшање квалитета, безбедности, репутације, задовољства

корисника или усаглашености са прописима.

Посебну категорију чине избегнути губици и смањени ризици. Ако пројекат смањује вероватноћу настанка негативног догађаја, очекивана корист може се проценити као разлика између очекиваног губитка пре и после примене пројекта. На пример, ако је очекивани годишњи губитак услед застоја 2 милиона RSD, а пројекат смањује тај ризик за 40%, очекивана годишња корист од смањења ризика може се проценити на 800.000 RSD, уз услов да су претпоставке о вероватноћи и последицама поуздане.

3.2. МОНЕТАРИЗАЦИЈА КОРИСТИ

Када је то могуће, користи се превode у новчане износе како би се омогућило поређење са трошковима. При томе је неопходно избегавати двоструко рачунање истог ефекта. На пример, повећање продуктивности може довести до већег производног обима и истовремено до смањења трошка по јединици производа. Ако се оба ефекта укључе као независне

користи, потребно је проверити да ли је један већ садржан у другом.

За немонетарне користи могу се користити бодовање, пондерисање и вишекритеријумска анализа. Такав приступ је посебно користан када се одлука не може свести на један финансијски критеријум. На пример, пројекат може имати умерен ROI, али веома висок стратешки значај јер омогућава испуњење регулаторних захтева или отвара ново тржиште. Због тога се финансијска анализа треба посматрати као један, иако веома важан, део ширег оквира процене вредности.

4. ПОВРАЋАЈ УЛАГАЊА – ROI

4.1. ПОЈАМ И ФОРМУЛА ROI

Повраћај улагања (Return on Investment – ROI) представља релативни показатељ који повезује нето корист, односно добит остварену у односу на улагање, са износом почетне инвестиције. Његова предност је једноставност и лако разумевање, због чега се често користи за брзу процену атрактивности инвестиције и за поређење различитих иницијатива.

$$ROI = (\text{нето корист} / \text{укупно улагање}) \times 100\% \quad (1)$$

У практичној анализи важно је прецизно дефинисати шта се подразумева под нето користи и укупним улагањем. У зависности од методологије организације, нето корист може представљати разлику између укупних новчаних користи и свих релевантних трошкова током анализираног периода. Због тога различити начини израчунавања могу дати различите ROI вредности, па се претпоставке морају јасно документовати.

4.2. ИЛУСТРАТИВНИ ПРИМЕР ROI

Претпоставимо да пројекат дигитализације захтева почетно улагање од 10.000.000 RSD. Током периода посматрања остварене су укупне новчане користи од 14.000.000 RSD, док су додатни оперативни трошкови повезани са пројектом износили 2.000.000 RSD. Нето

корист износи 12.000.000 RSD. На основу поједностављене дефиниције ROI, добија се:

$$ROI = (12.000.000 / 10.000.000) \times 100\% = 120\% \quad (2)$$

Добијени ROI од 120% значи да је у односу на посматрано улагање остварена нето корист у износу од 120% почетне инвестиције. Међутим, овај резултат сам по себи не показује када су користи настале. Ако је један пројекат остварио ROI од 120% за две године, а други исти ROI за седам година, њихова економска атрактивност није иста. Управо је то једно од основних ограничења једноставног ROI показатеља.

5. ФИНАНСИЈСКА ОПРАВДАНOST ПРОЈЕКТА

5.1. ВРЕМЕНСКА ВРЕДНОСТ НОВЦА И NPV

Финансијска оправданост инвестиционог пројекта захтева узимање у обзир временске вредности новца. Новчани износ који се добија у будућности има мању садашњу вредност од истог износа који је расположив данас, јер се средства могу инвестирати, а будући новчани токови су изложени ризику. Због тога се будући новчани токови дисконтовањем свде на садашњи тренутак.

$$NPV = \sum [CF_t / (1 + r)^t] - I_0 \quad (3)$$

У формули CF_t представља нето новчани ток у периоду t , r је дисконтна стопа, t је редни број периода, а I_0 почетно улагање. Позитиван NPV указује да пројекат, при изабраној дисконтној стопи, ствара вредност изнад захтеваног приноса. Негативан NPV указује да пројектовани токови нису довољни да надокнаде почетно улагање и захтевани принос.

5.2. ИНТЕРНА СТОПА ПРИНОСА – IRR

IRR (Internal Rate of Return) је дисконтна стопа при којој је NPV пројекта једнак нули. Показатељ омогућава

поређење очекиваног приноса пројекта са минималном прихватљивом стопом приноса или трошком капитала. Уколико је IRR виши од захтеване стопе приноса, пројекат се, под претпоставкама коришћеног модела, може сматрати финансијски прихватљивим.

$$0 = \sum [CF_t / (1 + IRR)^t] - I_0 \quad (4)$$

IRR је користан за комуникацију са доносиоцима одлука јер се исказује у процентима, али није увек погодан као једини критеријум. Код нестандартних новчаних токова може постојати више IRR вредности, а код међусобно искључивих пројеката пројекат са већим IRR не мора имати и већи NPV. Због тога се у

инвестиционој анализи NPV и IRR најчешће посматрају заједно.

5.3. ПЕРИОД ПОВРАЋАЈА ИНВЕСТИЦИЈЕ

Период повраћаја (Payback Period) показује колико је времена потребно да кумулативни новчани токови достигну почетно улагање. Његова предност је једноставност и могућност брзе оцене ликвидносног ризика. Недостатак је што класични период повраћаја занемарује новчане токове након повраћаја и, ако се не користи дисконтовани период повраћаја, не узима у обзир временску вредност новца.

Табела 2. Упоредни приказ показатеља финансијске оправданости пројекта

Показатељ	Основна сврха	Предност	Ограничење
ROI	Мери релативни принос у односу на улагање	Једноставан и разумљив	Не узима директно у обзир време
NPV	Мери створену садашњу вредност	Уважава временску вредност новца	Зависи од дисконтне стопе
IRR	Мери интерну стопу приноса	Лако се пореди у процентима	Може бити проблематичан код нестандартних токова
Payback	Мери брзину поврата улагања	Једноставан показатељ ликвидности	Класични метод занемарује токове после поврата

6. ИНТЕГРИСАНА АНАЛИЗА ИСПЛАТИВОСТИ ПРОЈЕКТА

6.1. ПРЕТПОСТАВКЕ ПРОЈЕКТА

За потребе илустрације претпоставља се инвестициони пројекат увођења аутоматизованог система за обраду пословних процеса. Почетно улагање износи 10.000.000 RSD. Пројекат има економски живот од пет година. Очекује се да ће систем генерисати новчане користи кроз смањење трошкова рада, мањи број грешака, краће време обраде и боље

коришћење ресурса. Истовремено постоје годишњи трошкови одржавања и подршке.

У циљу поједностављења, претпостављају се следећи нето новчани токови након свих релевантних оперативних трошкова: 2.500.000 RSD у првој години, 3.000.000 RSD у другој, 3.200.000 RSD у трећој, 3.400.000 RSD у четвртој и 3.600.000 RSD у петој години. Дисконтна стопа је постављена на 10%. Анализа је хипотетичка и служи искључиво за демонстрацију поступка.

Табела 3. Новчани токови и дисконтоване вредности илустративног пројекта

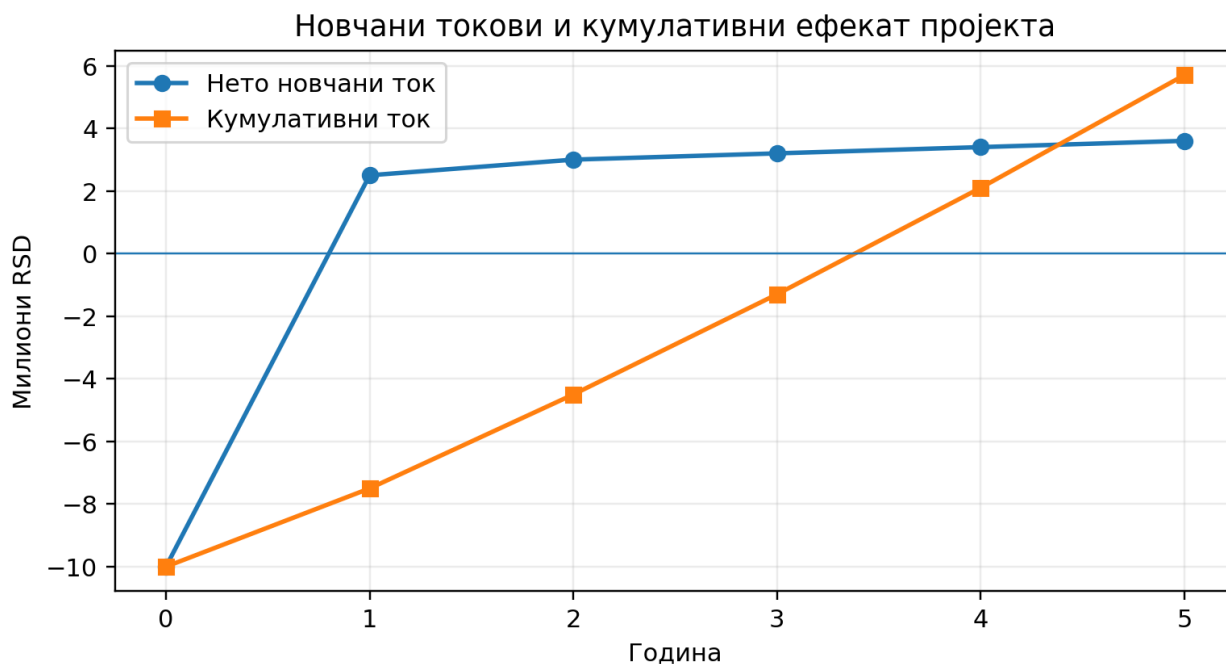
Година	Нето ток (RSD)	Дисконтни фактор (10%)	Садашња вредност (RSD)	Кумулативни ток (RSD)
0	-10.000.000	1,0000	-10.000.000	-10.000.000
1	2.500.000	0,9091	2.272.727	-7.500.000
2	3.000.000	0,8264	2.479.339	-4.500.000
3	3.200.000	0,7513	2.404.207	-1.300.000
4	3.400.000	0,6830	2.322.822	2.100.000
5	3.600.000	0,6209	2.235.988	5.700.000

На основу приказаних токова може се израчунати NPV као збир дисконтованих будућних токова умањен за почетну инвестицију. Приближна вредност NPV износи 1.715.083 RSD. Пошто је NPV позитиван при дисконтној стопи од 10%, пројекат у овом сценарију ствара позитивну економску вредност изнад захтеваног приноса.

Једноставан период повраћаја налази се између треће и четврте године. На крају треће године остаје неповраћено 1.300.000 RSD, док четврта година доноси 3.400.000 RSD. Линеарном интерполацијом добија се приближно 0,38 године након треће године, односно око 3,4 године до поврата почетног

улагања. Овај показатељ указује на релативно умерен период изложености инвестиционом ризику, али не замењује NPV.

Укупни нето новчани токови током пет година износе 15.700.000 RSD, па је по поједностављеној формули $ROI = (15.700.000 - 10.000.000) / 10.000.000 \times 100\% = 57\%$. Важно је приметити да ROI од 57% и позитиван NPV не дају исту врсту информације: ROI описује кумулативни однос користи и улагања, док NPV показује колико вредности остаје након дисконтовања будућних токова по захтеваних 10%. Због тога се показатељи допуњују, а не замењују.



Слика 1. Нето и кумулативни новчани токови илустративног пројекта

За дати илустративни низ новчаних токова интерна стопа приноса износи приближно 15,9%. Пошто је ова вредност виша од претпостављене дисконтне стопе од 10%, резултат је у складу са позитивним NPV и додатно потврђује финансијску прихватљивост пројекта у основном сценарију.

7. РИЗИК, ОСЕТЉИВОСТ И СЦЕНАРИЈСКА АНАЛИЗА

Финансијска оправданост пројекта увек почива на претпоставкама. Промене продајне цене, обима производње, оперативних трошкова, каматних стопа, инфлације, курса, рокова реализације или

очекиваног века употребе могу значајно променити резултат. Због тога се поред основног сценарија препоручује анализа осетљивости и сценаријска анализа.

Анализа осетљивости испитује како се NPV, ROI или други показатељ мења када се једна кључна претпоставка промени, док остале остају непромењене. На пример, може се испитати ефекат смањења очекиваних користи за 10%, 20% и 30%. Сценаријска анализа истовремено мења више претпоставки и може обухватити оптимистички, реалистички и песимистички сценарио.

Табела 4. Сценаријска анализа пројекта

Сценарио	Кључна претпоставка	Очекивани ефекат	Одлука
Оптимистички	Користи +15%, трошкови -5%	Виши NPV и ROI	Прихватити, уз контролу ризика
Реалистички	Планирани токови	Позитиван NPV	Прихватити
Песимистички	Користи -20%, трошкови +10%	Значајно нижи NPV	Поновити анализу/размотрити мере

8. УПРАВЉАЊЕ ВРЕДНОШЋУ ТОКОМ ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА ПРОЈЕКТА

Управљање вредношћу не сме бити ограничено на фазу иницијалне инвестиционе одлуке. Током планирања потребно је дефинисати базну вредност, очекиване користи, показатеље и претпоставке. Током реализације треба пратити да ли се ресурси користе на начин који води остварењу очекиваних исхода. Након имплементације потребно је измерити стварне ефекте и упоредити их са пословним случајем.

У том смислу могу се користити финансијски KPI, оперативни KPI и показатељи реализације користи. Финансијски KPI обухватају приход, уштеде, маржу, ROI и NPV; оперативни KPI могу обухватити време циклуса, продуктивност, број грешака и степен искоришћености ресурса; показатељи

користи повезују пројектни резултат са пословним ефектом.

За успешну примену потребно је јасно доделити одговорност. Пројектни менаџер је одговоран за реализацију пројекта, али власник користи треба да буде одговоран за то да организација заиста усвоји резултат пројекта и оствари очекивани пословни ефекат. Ова подела смањује ризик да се пројекат прогласи успешним само зато што је испоручен у оквиру планираног буџета.

9. ПРЕПОРУКЕ ЗА УНАПРЕЂЕЊЕ ПРОЦЕНЕ ИСПЛАТИВОСТИ

- Дефинисати очекиване користи пре одобравања пројекта и повезати их са мерљивим индикаторима.
- У финансијски модел укључити све релевантне инвестиционе,

оперативне и трошкове одржавања.

- ROI користити као допунски, а не као једини критеријум инвестиционе одлуке.
- Код пројеката са вишегодишњим токовима обавезно анализирати временску вредност новца кроз NPV и, када је прикладно, IRR.
- Спроводити анализу осетљивости и сценаријску анализу за кључне ризичне претпоставке.
- Укључити нефинансијске и стратешке користи када се њихов значај не може адекватно изразити новцем.
- Након завршетка пројекта мерити стварно остварене користи и упоређивати их са иницијалним пословним случајем.
- Документовати све претпоставке модела како би се омогућила каснија контрола и анализа одступања.

10. ЗАКЉУЧАК

Управљање вредношћу и исплативошћу пројекта представља шири приступ од класичног праћења трошкова, рокова и обима. Основни циљ није само да се планирани резултат испоручи, већ да резултат доведе до очекиваних исхода и користи које оправдавају ангажовање ресурса. Због тога је неопходно да се економски и стратешки ефекти пројекта разматрају током целог животног циклуса, од иницијалне процене до постпројектне евалуације.

ROI је један од најједноставнијих и најразумљивијих показатеља, јер изражава однос нето користи и уложених средстава. Ипак, његова ограничења су значајна: не приказује директно временску вредност новца и може занемарити разлике у распореду новчаних токова. Зато се финансијска оправданост пројекта не би требало да заснива искључиво на ROI.

NPV омогућава да се будући новчани токови сведу на садашњу вредност и представља један од најзначајнијих критеријума за оцену стварања економске вредности. IRR даје стопу приноса која се може упоредити са захтеваним приносом, док период повраћаја пружа информацију о брзини поврата уложених средстава. Комбиновањем ових показатеља са анализом користи, ризика и стратешког доприноса добија се поузданија основа за доношење инвестиционих одлука.

Илустративни пример показује да пројекат може истовремено имати позитиван NPV, прихватљив период повраћаја и позитиван ROI, али да коначна одлука и даље зависи од квалитета претпоставки и ризика. Стога се као добра пракса препоручује континуирано праћење остварених користи, периодично ажурирање финансијског модела и коришћење сценаријске анализе. На тај начин управљање вредношћу постаје инструмент за рационалније коришћење ограничених ресурса и повећање вероватноће да пројекти заиста створе очекивану организациону вредност.

Напомена о методологији: нумерички пример је хипотетички и служи за илустрацију примене показатеља ROI, NPV, IRR и периода повраћаја; вредности нису преузете из конкретног предузећа.

11. ЛИТЕРАТУРА

- [1] ISO, ISO 21502:2020, Project, programme and portfolio management — Guidance on project management, International Organization for Standardization, Geneva, 2020.
- [2] PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Seventh Edition and The Standard for Project Management, Project Management Institute, Newtown Square, PA, 2021.
- [3] PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, Benefits Realization

- Management: A Practice Guide, Project Management Institute, Newtown Square, PA, 2019.
- [4] BREALEY, R. A., MYERS, S. C., ALLEN, F., Principles of Corporate Finance, 13th Edition, McGraw-Hill Education, New York, 2020.
- [5] GITMAN, L. J., ZUTTER, C. J., Principles of Managerial Finance, 14th Edition, Pearson, Harlow, 2018.
- [6] KERZNER, H., Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling, 13th

Edition, John Wiley & Sons, Hoboken, 2022.

- [7] OECD, Cost-Benefit Analysis and the Environment: Recent Developments, OECD Publishing, Paris, 2006.
- [8] OECD, Recommendation of the Council on Budgetary Governance, OECD, Paris, 2015.

Адреса аутора: Игов Дејан, доцент, Факултет за пројектни и иновациони менаџмент проф. др Петар Јовановић, Београд, Ул. Боже Јанковића бр.14.

е-маил: dejan.igov@pmc.edu.rs

Рад примљен: Септембар 2026.

Рад прихваћен: Септембар 2026.



ЂОРЂЕ СТАНОЈЕВИЋ (1858 – 1921)

Велики борац
за електрификацију Србије и
електрично осветљавање многих градова.
Пројектант и градитељ првих
хидроелектрана у Србији.
Професор физике, декан и ректор
Београдског Универзитета.
Један од најобразованијих и најученијих
људи свог времена.

КЉУЧНИ ФАКТОРИ ИЗБОРА ПРИМАРНЕ ПРОДАВНИЦЕ ИЗ ПЕРСПЕКТИВЕ КУПАЦА

KEY FACTORS IN CHOOSING A PRIMARY GROCERY STORE FROM THE CUSTOMER PERSPECTIVE

МИЛА КАВАЛИЋ¹
СНЕЖАНА МИРКОВИЋ²
БЕРИЦА ГЛУВАКОВ ТОПАЛОВ³

¹ University of Novi Sad, Technical faculty „Mihajlo Pupin“ Zrenjanin, Serbia

² BB Trade doo, Zrenjanin, Serbia,

³ University of Novi Sad, Technical faculty „Mihajlo Pupin“ Zrenjanin, Serbia

РЕЗИМЕ

Истраживање очекивања и мотива купаца при одабиру малопродајног објекта омогућава компанијама да креирају одговарајуће стратегије, које ће им омогућити задржавање постојеће и стварање нове базе купаца, а потом и дугорочну профитабилност. Ово истраживање користи податке из анкете спроведене у августу 2025. године, како би се утврдили фактори и мотиви купаца приликом одабира примарне прехранбене продавнице. Коришћене методе истраживања укључују анализу релевантне литературе и анкетирање купаца. Прикупљени подаци пружају основу за доношење важних одлука о политикама и стратгијама у малопродаји.

Истражени су фактори који доприносе задовољству купаца, укључујући квалитет производа и услуге, цену, асортиман, промотивне активности, хигијену и уредност продавнице, однос продавца према купцу и искуство куповине. Циљ рада је да се испитају детерминанте, које имају највећи утицај на формирање целокупног задовољства купца, како би се малопродајним ланцима дале смернице за

формирање конкурентнијих стратегија. Резултати указују на позитиван однос између наведених фактора и задовољства и лојалности купаца. Ово истраживање доприноси бољем разумевању фактора који утичу на избор малопродајног објекта од стране купца.

Кључне речи: задовољство купаца, лојалност купаца, малопродаја, понашање потрошача, избор малопродајног објекта.

ABSTRACT

Understanding customers' expectations and motives when choosing a retail store enables companies to develop appropriate strategies to retain existing customers, attract new ones, and achieve long-term profitability. This study uses data from a survey conducted in August 2025 to identify the factors and motives that influence customers when choosing their primary grocery store. The research methods include a review of relevant literature and a customer survey. The collected data provide a basis for making important decisions regarding retail policies and strategies.

The study examines factors that contribute to customer satisfaction, including product and service quality, price, product assortment, promotional activities, store hygiene and cleanliness, the attitude of sales staff toward customers, and the overall shopping experience. The aim of the study is to identify the determinants that have the greatest influence on overall customer satisfaction and to provide retail chains with guidelines for

developing more competitive strategies. The results indicate a positive relationship between these factors and customer satisfaction and loyalty. This study contributes to a better understanding of the factors that influence customers' choice of retail store.

Key words: customer satisfaction, customer loyalty, retail, consumer behavior, retail store selection.

1. УВОД

Тржиште малопродаје је веома распрострањено и чини један од основних сектора услужне делатности. Сектор малопродаје је један од највећих бизниса и већи део економије свих земаља [1]. Главни носиоци у овом сектору су продавци и купци, чија су понашања, интеракције и односи кључни за опстанак и развој бизниса. Разумевање навика купаца приликом куповине и квалитет услуге, који пружа продавац купцу, су теме које су од великог значаја за трговинске ланце. Трговци морају да разумеју купца и баве се унапређењем његовог искуства куповине, како би опстали и напредовали у веома конкурентном окружењу [2]. Тржиште трговине је изложено, поред велике конкуренције, константној трансформацији и дигитализацији, при чему је лојалност потрошача један од највреднијих ресурса које малопродајни ланци могу изградити и одржати.

Последњих година, компаније се сусрећу и са променом навика потрошача и генерацијским јазом, а миленијалци, генерација Зед и генерација Алфа постају највећи купци на дигиталним каналима [3]. Долази до промена у пословању и примећује се знатно повећање активности између традиционалне и онлајн куповине [4]. Купци су све више окренути дигиталним каналима, јер траже персонализовано, практично и смислено искуство [5]. Да би се задржало добро искуство куповине купца у модерној трговини, која подразумева и онлајн трговину, неопходна је и изврсна

ефикасност запослених у секторима испоруке, како би купац био задовољан целокупном куповином [6]. Све више је присутна и услуга кућне доставе у прехрамбеној индустрији, која мора бити благовремена и омогућити добро руковање производима који су кварљиви, како би се испунила очекивања купаца [7]. Све те промене захтевају одређену трансформацију у малопродаји. Поред тога, за разлику од ранијих година, приметно је да скоро све компаније своје брендове агресивно промовишу на веб и продајним страницама и профилима на друштвеним мрежама [8]. Веома је битно да ове продајне странице буду функционалне и механички употребљивог интерфејса, како би се повећало задовољство купаца [9]. Квалитет веб странице, продаја робе, посвећеност и задовољство имају позитиван утицај на лојалност купаца [10].

Разлози зашто потрошачи бирају одређени малопродајни објекат су различити, почев од цене, асортимана, љубазности, доступности, близине, до њихових искустава и вредности које доживљавају приликом обављања куповине. Трговци на мало веома воде рачуна о задовољству купца као стратешкој одлуци, а потом и о нето профиту [11]. Зато је посебно важно анализирати све ове факторе, јер они обликују задовољство купца и утичу на дугорочну лојалност, а потом и на сам резултат компаније. Због свега наведеног, фокус овог истраживања је на откривању примарних фактора при одобиру малопродајног објекта у ком ће се обавити куповина.

2. МЕТОДОЛОГИЈА

2.1. ПРОБЛЕМ ИСТРАЖИВАЊА

Тржиште малопродаје у данашњем времену веома је разуђено и конкурентно. Трговци на мало користе различите механизме, како би привукли и задржали купце. С друге стране, купци показују различите обрасце понашања бирајући продавнице у којима обављају куповину. Одређени купци остају лојални продавницама, док други доносе одлуке о куповини наспрам асортимана, цене, акције или квалитета услуге. Проблем истраживања огледа се у недовољном разумевању фактора који највише утичу на одлуку потрошача да изабере одређену продавницу и буду лојални малопродајном ланцу. Уколико трговински ланци не располажу са поузданим подацима о овим детерминантама не могу исправно да формирају стратегије, које би привукле и задржале потрошаче и омогућиле им да успешно управљају пословањем.

2.2. ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА

Предмет истраживања су детерминанте одлуке купаца приликом одабира продавнице у којој ће обавити куповину са фокусом на очекивања и задовољство купаца. Истражују се и фактори лојалности потрошача од цене, квалитета производа, услуге, асортимана, промоције и акције, хигијене и уредности малопродајног објекта до целокупног искуства куповине.

2.3. ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

Основни циљ истраживања је утврдити који фактори утичу на одлуку купца да обави куповину у одређеној продавници. Посебан акценат се ставља на искуство куповине које има купац и на факторе који утичу на његову лојалност. Истраживање такође има за циљ да испита које детерминанте имају највећи утицај на формирање целокупног задовољства купца, те да се на основу добијених налаза

предложе мере за привлачење и задржавање купаца у малопродајном сектору.

2.4. ХИПОТЕЗЕ

Ово истраживање је базирано на основној хипотези из које су изведене помоћне хипотезе, које ће бити испитане:

H₀: Избор прехранбене продавнице од стране купца зависи од остварености скупа кључних фактора.

H₁: Цене у малопродајном објекту имају значајан утицај на избор примарне продавнице.

H₂: Акцијска понуда и промоције значајно доприноси избору места куповине.

H₃: Лојалност потрошача је већа у продавницама које нуде шири асортиман и виши квалитет производа.

H₄: Купци од продавца очекују брзу услугу, препоруке и поуздане информације о производима.

H₅: Стандарди малопродајног објекта, хигијена и уредност имају позитиван утицај на искуство куповине.

H₆: Задовољство услугом и искуством куповине позитивно утиче на лојалност потрошача према одређеној продавници.

2.5. УЗОРАК

Истраживање је спроведено у августу 2025. године на узорку од 207 испитаника, који обављају куповину у продавницама различитих малопродајних ланаца на територији Војводине и Београда.

Од укупно анкетираних 207 испитаника, 57% је мушка популација, а 43% су жене.

Најмлађи испитаник укључен у анкету има 18 година, а најстарији испитаник има преко 65 година. 20,3% испитаника је старости од 18–24 године, 18,4% старости од 25–35 година, 20,3% испитаника има 35–44 године, 16,9% испитаника има 45–54 године, 8,7% испитаника има од 55–64 године, док преко 65 година има 15,5% испитаника.

Стручна спрема и радни статус испитаника се разликује. Завршена четири

разреда основне школе има 9,7% испитаника, 8,2% испитаника има завршену основну школу, 18,8% испитаника има завршену средњу школу, вишу школу је завршило 19,3% испитаника, а факултет 13%, док мастер студије има 21,2%, а докторске 2,9% испитаника.

61,8% испитаника је запослено, 12,1% незапослено, 18,4% су пензионери, а 7,7% студенти. Брачни статус, као и број чланова у домаћинству је различит. У браку је 44,4% испитаника, 10,6% разведених, 31,4% су неудати и неожењени, 10,1% су удовци и удовице, 2,9% живи у ванбрачној заједници, док је сингл 0,5% испитаника.

12,1% испитаника живи у домаћинству које има 5 чланова, 28% испитаника има 4 члана, 27,1% су трочлане породице, 19,3% су двочлане породице, а 13,5% живи само.

42% испитаника није желело да одговори на питање о висини новчаних примања, 12,1% њих има примања до 45.000 динара, 18,8% између 45.000–85.000 динара, а 27,1% преко 85.000 динара.

Све ове категорије су веома значајне за што прецизније профилисање купаца који су учествовали у истраживању.

2.6. МЕТОДЕ, ТЕХНИКЕ И ИНСТРУМЕНТИ ИСТРАЖИВАЊА

За прикупљање података коришћена је теренска анкета путем интервјуа лицем у лице, док су за обраду и тумачење

резултата примењене одговарајуће статистичке методе (дескриптивна статистика), с циљем тестирања постављених хипотеза. Подаци су прикупљени анонимно и добровољно.

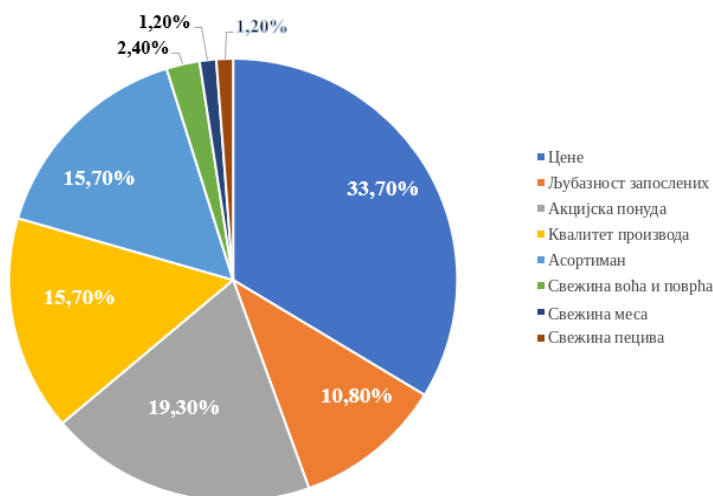
Питања у анкети су подељена на 4 димензије, које се односе на: факторе одабира продавнице, однос продавца и купца, искуство куповине и уређеност продајног простора. Поред тога, додата су питања која се односе на основне информације о испитанику (старост, пол, запослење, образовање, брачни статус, број чланова у домаћинству и висину примања). Анкета се састоји од отворених питања, на које су испитаници одговарали.

Ова студија користи добијене информације из анкета као примарне истраживачке податк

3. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

У наставку рада приказани су резултати истраживања, који дају практичне увиде у то како купци вреднују различите аспекте приликом одабира продавнице. Налази су посебно значајни за трговинске ланце, јер указују на сегменте којима треба посветити посебну пажњу у циљу унапређења и јачања лојалности са купцима.

На слици 1. су приказани фактори који утичу на купца приликом његовог одабира примарне продавнице у којој ће обавити куповину.



Слика 1. Фактори који утичу на купца приликом избора примарне продавнице

Купац приликом избора примарне продавнице посебно обраћа пажњу на цену, што указује на то да су ценовна политика и конкурентност цена изузетно важне у малопродаји. Од укупног броја испитаника, 33,7% одговорило је да им је цена на првом месту приликом одабира малопродајног објекта, што јасно указује на то да купци приликом доношења одлуке о месту куповине користе економске критеријуме и воде рачуна о својим трошковима. Цена је један од фактора на који су купци најосетљивији и, уколико је конкурентна, ствара осећај поверења код купца.

На цену се надовезује акцијска понуда, која је код 19,3% купаца кључна приликом избора продавнице. Малопродајни маркети улажу значајне напоре како би дефинисали одговарајућу акцијску понуду за купце. Купци одвајају време како би прегледали акције и промоције које малопродајни ланци организују у одређеној недељи и, на основу избора производа који се налазе на акцији, донели одлуку о месту куповине. О акцијама се купци информишу у самом објекту, путем лифлета и плаката, затим путем ТВ и радио реклама, друштвених медија и онлајн каталога. Купци цене могућност избора и прилику да остваре уштеде. Редовне акције и добра комбинација производа могу привући нове купце.

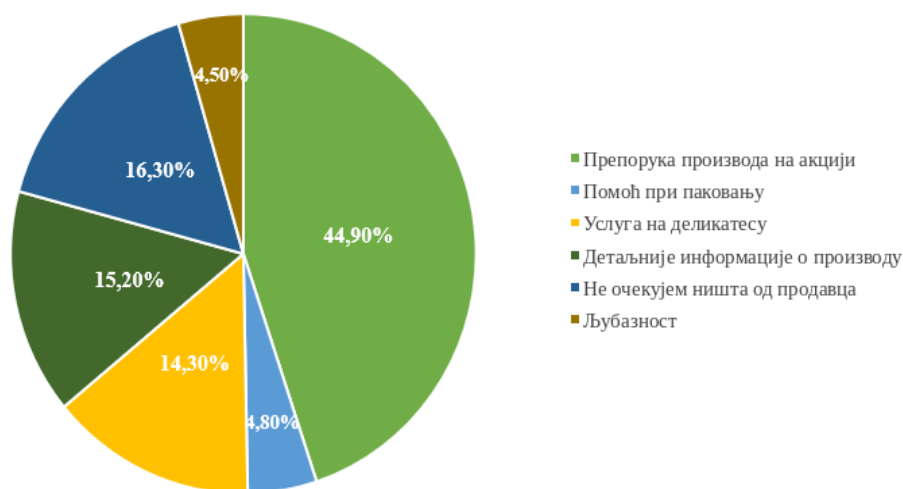
За потрошаче је изузетно важно да постоје ширина и дубина асортимана и да све потребне производе могу пронаћи у једној продавници. У савременом начину живота време је изузетно важно, па је могућност обављања куповине на једном месту један од одлучујућих фактора приликом избора продавнице. Да би то било могуће, потребно је да малопродајни ланци имају широк асортиман и да се на њиховим полицама налазе сви потребни производи. На основу ширине и дубине асортимана, 15,7% купаца одлучује се за примарну продавницу. Богат асортиман представља стратешку предност малопродајног ланца у односу на конкуренцију.

Исто толико испитаника (15,7%) бира примарну продавницу на основу квалитета производа. Производи са важећим роком трајања и технички исправни производи од изузетне су важности у процесу стварања поверења и сигурности приликом куповине. Свежина и квалитет производа изузетно су важни када је реч о категоријама свежих намирница, као што су воће и поврће, месо и сухомеснати производи, млечни производи, хлеб и пецива. Управо су се ове категорије, са уделом од 1,2% до 2,4%, издвојиле као један од фактора за одабир примарне продавнице. Резултати показују да су свежина и здраве намирнице од изузетне важности за купце и да их они доживљавају као показатељ квалитета и професионализма трговинског ланца. Обезбеђивање сталне понуде свежих категорија производа не само да утиче на задовољство купаца већ и на њихово поверење у доследност и стандарде продавнице.

Поред цене и квалитета производа, значајну улогу има и љубазност запослених, што наглашава важност квалитета услуге и односа продаваца према купцима у процесу изградње лојалности. Овај фактор наглашава значај интерперсоналне комуникације у малопродаји, где понашање запослених може обликовати целокупно искуство куповине. Љубазност продаваца ствара осећај пријатности и поверења, чиме се директно утиче на задовољство купаца и њихову спремност да остану лојални одређеној продавници.

Резултати истраживања указују на значај економских фактора приликом одабира продавнице, као што су цена и акцијска понуда, али и интерперсоналних и безбедносних фактора, као што су љубазност продаваца и квалитет производа.

На слици 2. приказана су очекивања купаца од запослених у малопродајном објекту приликом обављања куповине.



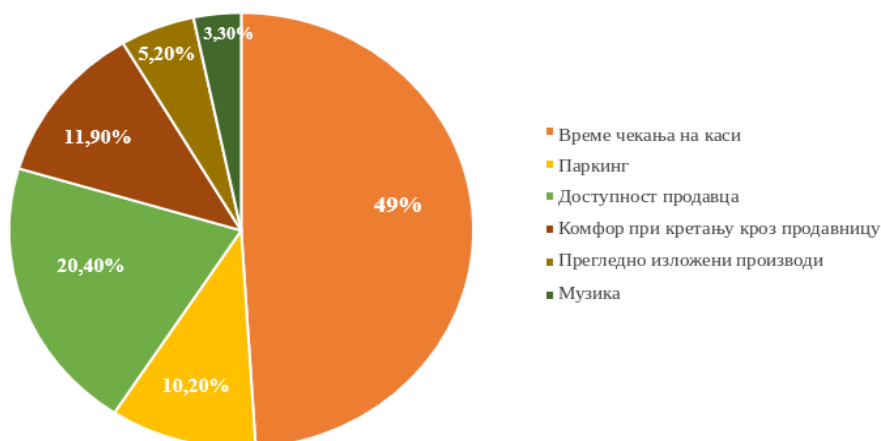
Слика 2. Очекивања купаца од продавца у малопродајном објекту

На основу добијених резултата може се уочити да купци имају различита очекивања од запослених у малопродајном објекту. Највећи проценат испитаника (44,90%) очекује од продавца препоруку производа на акцији. Услугу на одељењу деликатеса, која укључује мерење, сечење и паковање производа по жељи потрошача, очекује 14,30% испитаника. Иако су данас информације лако доступне на интернету, 15,20% испитаника очекује да од продавца добије детаљније информације о квалитету, пореклу и намени производа. Пријатељски однос од продавца очекује 4,50%

испитаника, док 4,80% очекује помоћ при паковању. Са друге стране, 16,30% испитаника доживљава куповину као самосталну активност и не очекује ништа од запослених у малопродајном објекту.

Резултати указују на то да продавци, пре свега, треба да буду добро информисани о производима, актуелним понудама и акцијама, као и да буду услужни на одељењима свежих категорија производа.

Поред услуге продавца, купци обликују искуство куповине и на основу аспеката који су приказани на слици 3.



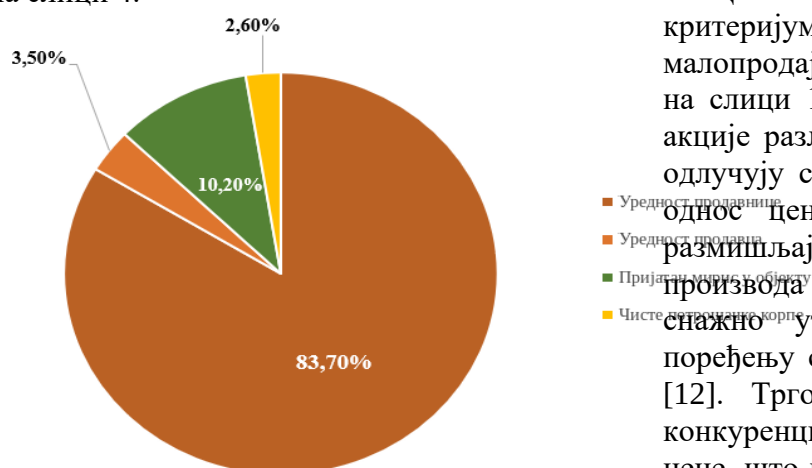
Слика 3. Фактори који утичу на искуство купаца приликом куповине

Резултати истраживања показују да 49% испитаника наводи да им је време чекања на каси најважнији фактор приликом обављања куповине. Доступност продавца и њихову подршку када им је потребна

истиче 20,40% испитаника. Овај резултат указује на значај продавца у процесу куповине и обликовању целокупног искуства купаца.

Значај адекватног паркинг простора, који олакшава приступ малопродајном објекту, истиче 10,20% испитаника. Комфор у продавници и довољно простора између рафова важни су за 11,90% испитаника, док 5,20% истиче значај прегледне изложености производа, која омогућава лакше сналажење у малопродајном објекту и брже обављање куповине. Ови резултати указују на значај планограма и стандарда излагања производа у малопродаји. На крају, 3,30% испитаника истиче значај музике у продајном простору, која може допринети пријатнијој атмосфери и бољем доживљају куповине.

Резултати показују да купци приликом куповине вреднују различите аспекте који се односе и на сам малопродајни објекат, што је приказано на слици 4.



Слика 4. Преференције потрошача у вези са уређењем продајног простора

Резултати истраживања показују да 83,70% испитаника издваја уредност

објекта као кључни фактор приликом обављања куповине, што јасно указује на то да су чистоћа, хигијена и визуелни изглед продајног простора веома важни за позитивно искуство куповине. Пријатан мирис у објекту као важан фактор издваја 10,20% испитаника, док 3,50% истиче значај уредности продавца. Чистоћу потрошачких корпи као важан фактор издваја 2,60% испитаника, што може указивати на то да потрошачи хигијену овог сегмента подразумевају или је не доживљавају као пресудан фактор у процесу куповине.

Свеукупно посматрано, резултати потврђују да стандарди уређења и одржавања малопродајног објекта имају значајан утицај на перцепцију квалитета малопродајног окружења.

4. ДИСКУСИЈА

Добијени резултати истраживања подржавају постављене хипотезе и указују на сложеност фактора, очекивања и преференција купаца у малопродајном окружењу. Резултати истраживања о купцима и њиховим навикама и преференцијама су високо значајни за трговинске ланце због велике конкуренције у којој послују.

Цена представља један од основних критеријума приликом избора малопродајног објекта, што је приказано на слици 1. Купци често пореде цене и акције различитих трговинских ланаца и одлучују се за оне који нуде повољнији однос цене и квалитета. Када купци размишљају о куповини одређеног производа и избору продавнице, цена снажно утиче на њихову одлуку у поређењу са другим могућим факторима [12]. Трговински ланци услед велике конкуренције воде рачуна о формирању цене, што потрошачима одговара како би купили производ по нижим ценама. Резултати указују да је хипотеза H_1 : *Цене у малопродајном објекту имају значајан утицај на избор примарне продавнице* потврђена.

Поред цене, за купце су веома битне акције и промоције, што су резултати на слици 1. показали и потврдили хипотезу *H₂: Акцијска понуда и промоције значајно доприносе избору места куповине*. Промотивна акцијска понуда и попусти на производима значајно утичу на перцепцију цена и одлуку о куповини и избору продавнице [13]. Акције могу бити добар начин за привлачење купаца који не посећују одређену продавницу свакодневно, јер их конкретна промотивна понуда може мотивисати да посете објекат. То је веома значајно за малопродајне ланце приликом развоја стратегија за привлачење купаца кроз атрактивне промотивне активности.

Како би задржали постојеће купце и учинили нове купце лојалним, потребно је да малопродајни објекти имају одговарајући асортиман и квалитет производа. Резултати приказани на слици 1. показују да је потврђена хипотеза *H₃: Лојалност потрошача је већа у продавницама које нуде шири асортиман и виши квалитет производа*. Ширина асортимана и разноврсност производа имају значајан позитиван утицај на куповину и просечну вредност корпе [14]. Због тога је важно да трговински ланци пажљиво планирају асортиман и истовремено воде рачуна о квалитету понуђених производа, како би одговорили на потребе купаца и повећали њихово задовољство и лојалност.

Поред квалитета производа, велику улогу у избору продавнице има и квалитетна услуга од стране продавца. Резултати истраживања који приказују очекивања купаца од продавца на сликама 1–3 потврдили су хипотезу *H₄: Купци од продавца очекују брзу услугу, препоруке и поуздане информације о производима*. Купци наглашавају значај информисаности продавца о акцијама и производима, као и брзину услуге и помоћ на одељењима деликатеса. Постоји значајна веза између професионалног опхођења запослених, лојалности купца и односа продавца и купца који ствара

осећај поверења [15]. Такође, купци изражавају висока очекивања у погледу малопродајног окружења. Најзначајнији аспекти односе се на време чекања на каси, прегледну изложеност производа и комфор при кретању кроз објекат. Ови налази потврђују значај квалитета услуге и организације продајног простора за целокупно искуство купца.

Анализом ставова потрошача о хигијени и уредности продајног простора потврђена је хипотеза *H₅: Стандарди малопродајног објекта, хигијена и уредност имају позитиван утицај на искуство куповине*. Резултати приказани на слици 4. указују да је 83,7% купаца нагласило да им уредност објекта представља кључни елемент приликом куповине, док су пријатан мирис, уредност продаваца и чистоћа потрошачких корпи ранжирани ниже. Продавнице које одржавају високе стандарде у погледу чистоће, организације и презентације производа остављају професионалан и поуздан утисак. Хигијена продајног простора значајно утиче на искуство куповине [16]. Због тога одржавање високог нивоа хигијене и уредности представља важан елемент у креирању позитивног искуства купаца.

Искуство куповине представља значајан елемент у формирању задовољства и лојалности потрошача. Квалитет услуге и искуство купаца значајно позитивно утичу на задовољство [17]. Уколико је купац задовољан, већа је вероватноћа појаве намере за поновном куповином и препоруком продавнице другима. Позитивно искуство куповине повећава перцепцију вредности и поверење купаца, а емоционални аспект искуства може допринети стварању дугорочне лојалности продавници. Резултати истраживања приказани на слици 1. потврдили су хипотезу *H₆: Задовољство услугом и искуством куповине позитивно утиче на лојалност потрошача према одређеној продавници*. Резултати сугеришу да трговци треба да

улажу у креирање свеобухватног и позитивног искуства куповине, чиме могу директно допринети стварању лојалне базе купаца.

Анализа резултата показује да избор прехранбене продавнице од стране купца зависи од различитих фактора као што су цена, акцијска понуда, асортиман, квалитет производа, квалитет услуге и уредност продавнице, што показују резултати истраживања на сликама 1–4. На основу обједињених резултата потврђује се нулта хипотеза H_0 : *Избор прехранбене продавнице од стране купца зависи од остварености скупа кључних фактора.*

5. ЗАКЉУЧАК

Задржавање и привлачење купаца у малопродаји прехранбене робе је веома изазовно због велике конкуренције која је изражена у сектору малопродаје. Трговачке компаније константно истражују које су потребе купаца и прилагођавају стратегије да би исте задовољиле, како би одржале и повећале број потрошача и вредност потрошачке корпе. Квалитет услуге и квалитет производа, искуство куповине, цена и асортиман производа, акцијска понуда, као и хигијена и уредност продавнице у комбинацији са доступношћу паркинга и брзом услугом на каси показали су се као одлучујући фактори при одабиру прехранбене продавнице. Резултати истраживања указују на комплексност одлуке купца приликом одабира малопродајног објекта.

Задовољство услугом и искуством куповине позитивно утиче на лојалност потрошача према продавници. Улагање у квалитет услуге и креирање позитивног искуства куповине је од суштинског значаја за одржавање конкурентске предности и лојалне базе купаца.

Трговачки ланци треба да имају холистички приступ у управљању малопродајом и да комбинују квалитет производа и услуге са конкурентном

ценом, оптимизованим асортиманом и ефикасним промотивним стратегијама, како би задржали конкурентску предност.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Dekimpe, M. G. (2020). Retailing and retailing research in the age of big data analytics. *International Journal of Research in Marketing*, 37(1), 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.ijresmar.2019.09.001>
- [2] Grewal, D., & Roggeveen, A. L. (2020). Understanding retail experiences and customer journey management. *Journal of Retailing*, 96(1), 3–8. <https://doi.org/10.1016/j.jretai.2020.02.002>
- [3] Holmqvist, J., Wirtz, J., & Fritze, M. P. (2020). Luxury in the digital age: A multi-actor service encounter perspective. *Journal of Business Research*, 121, 747–756. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.05.038>
- [4] Dias, F. F., Lavieri, P. S., Sharda, S., & Bhat, C. R. (2020). A comparison of online and in-person activity engagement: The case of shopping and eating meals. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 114, 643–656. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.02.023>
- [5] Das, S., Sanyal, S. N., & Mazumder, R. (2023). What characterizes digital luxury experience (DLX) for customers? A cross-cultural qualitative exposition. *Journal of International Consumer Marketing*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/08961530.2023.2275027>
- [6] Kim, J. (2021). Platform quality factors influencing content providers' loyalty. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 60, 102510. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2021.102510>
- [7] Brewer, P., & Sebby, A. G. (2021). The effect of online restaurant menus on consumers' purchase intentions during

- the COVID-19 pandemic. *International Journal of Hospitality Management*, 94, 102777. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2020.102777>
- [8] Appel, G., Grewal, L., Hadi, R., & Stephen, A. T. (2020). The future of social media in marketing. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 48(3), 79–95. <https://doi.org/10.1007/s11747-019-00695-1>
- [9] Dağaşaner, S., & Karaatmaca, A. G. (2025). The Role of Online Banking Service Clues in Enhancing Individual and Corporate Customers' Satisfaction: The Mediating Role of Customer Experience as a Corporate Social Responsibility. *Sustainability*, 17(8), 3457. <https://doi.org/10.3390/su17083457>
- [10] Mujianto, M., Hartoyo, H., Nurmawati, R., & Yusuf, E. Z. (2023). The Unraveling Loyalty Model of Traditional Retail to Suppliers for Business Sustainability in the Digital Transformation Era: Insight from MSMEs in Indonesia. *Sustainability*, 15(3), Article 2827. <https://doi.org/10.3390/su15032827>
- [11] Alsubhi, M., Blake, M. R., Livingstone, A., Moodie, M., & Ananthapavan, J. (2024). How supermarket retailers value business outcomes of healthy food retail strategies: A discrete choice experiment. *Frontiers in Public Health*, 12, Article 1450080. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1450080>
- [12] Levrini, G. R. D., & dos Santos, M. J. (2021). The influence of price on purchase intentions: Comparative study between cognitive, sensory, and neurophysiological experiments. *Behavioral Sciences*, 11(2), 16. <https://doi.org/10.3390/bs11020016>
- [13] Büyükdag, N., Soysal, A. N., & Kitapcı, O. (2020). The effect of specific discount pattern in terms of price promotions on perceived price attractiveness and purchase intention: An experimental research. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 55, 102112. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2020.102112>
- [14] Tian, X., Jiang, H., & Zhao, X. (2024). Product assortment and online sales in community group-buying channel: Evidence from a convenience store chain. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 79, 103838. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2024.103838>
- [15] Huo, C., Hameed, J., Sadiq, M. W., Albasher, G., & Alqahtani, W. (2021). Tourism, environment and hotel management: An innovative perspective to address modern trends in contemporary tourism management. *Business Process Management Journal*. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-12-2020-0543>
- [16] Zia, A., & Kalia, P. (2024). COVID-19 pandemic shopping experience in Saudi Arabia: Scale development and validation for Muslim customers. *Journal of Islamic Marketing*, 15(1), 1–21. <https://doi.org/10.1108/JIMA-08-2022-0231>
- [17] Bashir, M. A., Haque, M. A., Salamzadeh, A., & Rahman, M. M. (2023). Customers' satisfaction of e-banking in Bangladesh: Do service quality and customers' experiences matter? *FinTech*, 2(3), 657–667. <https://doi.org/10.3390/fintech2030036>

Адреса аутора: Верица Глуваков Топалов
е-маил: verica.gluvakov@uns.ac.rs
Рад примљен: Септембар 2026.
Рад прихваћен: Септембар 2026.

УЛОГА ДУАЛНОГ ОБРАЗОВАЊА У РАЗВОЈУ КОМПЕТЕНЦИЈА УЧЕНИКА ЗА ПОТРЕБЕ САВРЕМЕНЕ МАШИНСКЕ ИНДУСТРИЈЕ

THE ROLE OF DUAL EDUCATION IN DEVELOPING STUDENTS' COMPETENCIES FOR THE NEEDS OF THE MODERN MECHANICAL INDUSTRY

БЕСНА КОЊА¹

ЖОЛТ КОЊА¹

¹Средња машинска школа Нови Сад

РЕЗИМЕ

Савремена машинска индустрија, услед развоја нових технологија, аутоматизације и дигитализације, захтева све виши ниво стручних и практичних компетенција запослених. Дуално образовање омогућава повезивање теоријских знања са учењем кроз рад у реалном индустријском окружењу. Циљ рада је сагледавање улоге дуалног образовања у развоју компетенција ученика машинске струке и њиховом оспособљавању за потребе савремене индустрије. Посебна пажња усмерена је на развој практичних вештина, примену стручних знања и сарадњу школа и компанија. Резултати истраживања у ком су учествовали ученици Средње машинске школе из Новог Сада, наставници практичне наставе и представници компанија, могу допринети унапређењу дуалног образовања и бољем усклађивању компетенција ученика са потребама савремене машинске индустрије.

Кључне речи: дуално образовање, машинство, стручне компетенције

ABSTRACT

The modern mechanical industry, driven by the development of new technologies, automation, and digitalization, requires an increasingly high level of professional and practical competencies among employees. Dual education enables the integration of theoretical knowledge with work-based learning in a real industrial environment. The aim of this paper is to examine the role of dual education in developing the competencies of mechanical engineering students and preparing them for the needs of modern industry. Particular attention is paid to the development of practical skills, the application of professional knowledge, and cooperation between schools and companies. The results of the research, which involved students of the Secondary School of Mechanical Engineering in Novi Sad, practical training teachers, and company representatives, may contribute to the improvement of dual education and to better alignment of students' competencies with the needs of the modern mechanical industry.

Key words: dual education, mechanical engineering, professional competencies

1. УВОД

Савремена машинска индустрија карактерише се убрзаним развојем технологије, аутоматизацијом производних процеса, дигитализацијом и све већом применом савремених машина, уређаја и информационих система. Такве промене утичу и на захтеве који се постављају пред образовни систем, посебно у делу стручног образовања које треба да припреми ученике за непосредно укључивање у свет рада. [1] У концепту рада полази се од значаја повезивања теоријских знања са учењем кроз рад и сарадњом школе и привреде. Циљ истраживања је да се сагледа у којој мери дуално образовање доприноси развоју компетенција ученика машинске струке и њиховој припремљености за потребе савремене машинске индустрије. Посебна пажња усмерена је на практичне, стручне, дигиталне и опште компетенције ученика, као и на значај непосредног контакта са реалним индустријским окружењем. Овакво усмерење одговара основном циљу рада – бољем усклађивању компетенција ученика са потребама савремене машинске индустрије.

2. ДУАЛНО ОБРАЗОВАЊЕ У МАШИНСКОЈ СТРУЦИ

Машинска струка има значајно место у систему дуалног образовања, кроз образовне профиле као што су бравар-заваривач, механичар моторних возила, техничар мехатронике и оператер машинске обраде резањем. За ученике машинске струке нарочито је значајна могућност рада са професионалном опремом, савременим машинама и уређајима, упознавања са организацијом производног процеса и решавања конкретних проблема који се тешко могу у потпуности симулирати у школским условима. [1]

3. КОМПЕТЕНЦИЈЕ ПОТРЕБНЕ ЗА САВРЕМЕНУ МАШИНСКУ ИНДУСТРИЈУ

Савремена машинска индустрија пролази кроз интензивне промене изазване дигитализацијом, аутоматизацијом, развојем вештачке интелигенције и све већом применом информационих технологија у производним процесима. Такве промене не утичу само на технологију производње већ и на структуру компетенција које се очекују од запослених. Према подацима Светског економског форума, технолошка писменост, вештачка интелигенција и велики подаци, као и мреже и сајбер-безбедност, спадају међу вештине чији се значај најбрже повећава у периоду до 2030. године. Истовремено, аналитичко мишљење, креативно мишљење, флексибилност, отпорност и способност континуираног учења остају значајне компетенције запослених. [2]

За Србију су ови трендови посебно значајни, имајући у виду да око две трећине послодаваца обухваћених истраживањем Светског економског форума недостатак одговарајућих вештина препознаје као важну препреку трансформацији пословања. Послодавци у Србији очекују раст значаја технолошке писмености, вештачке интелигенције и великих података, као и других дигиталних компетенција. Промене у захтевима привреде представљају посебан изазов за средње стручно образовање. Образовни систем треба да обезбеди не само усвајање стручних и практичних знања већ и развој способности решавања проблема, самосталности, тимског рада, комуникације и прилагођавања новим технологијама. Због тога је повезивање школе и привреде од посебног значаја, јер омогућава да се део компетенција развија у реалном радном окружењу. [3]

У Србији је дуално образовање законски уређено као модел средњег стручног образовања у коме се теоријска знања стичу у школи, док се део компетенција развија кроз учење кроз рад код послодавца. У реализацији овог процеса учествују наставник практичне

наставе и лиценцирани инструктор у компанији. На тај начин омогућава се непосредније повезивање образовних садржаја са реалним захтевима радног места. Овакво повезивање теорије и праксе одговара и резултатима спроведеног истраживања. У истраживању је висок степен сагласности испитаника забележен управо код тврдњи које се односе на упознавање са проблемима из реалног радног окружења, коришћење професионалних алата и опреме, развој самосталности, тимског рада и комуникације. Истовремено, веома висок ниво сагласности са потребом за даљим развојем дигиталних компетенција указује на то да се захтеви савремене индустрије све више померају ка комбинацији стручних, практичних и дигиталних компетенција. [4]

Због убрзаног технолошког развоја, образовање за машинска занимања не може бити засновано само на усвајању тренутно потребних знања. Потребно је развијати и способност ученика да континуирано уче, прилагођавају се новим технологијама и решавају нове проблеме. У том смислу, сарадња школе и привреде и квалитетно организовано учење кроз рад могу представљати важан механизам за усклађивање компетенција ученика са променљивим захтевима савремене машинске индустрије. [12]

4. САРАДЊА СРЕДЊЕ МАШИНСКЕ ШКОЛЕ НОВИ САД И ПРИВРЕДЕ

Средња машинска школа Нови Сад остварује развијену сарадњу са привредом кроз практичну наставу, дуално образовање и учење кроз рад код послодаваца. Према подацима школе за упис 2026/2027. годину, школа је успоставила сарадњу са више од 140 привредних субјеката, при чему се образовни профили прилагођавају потребама тржишта рада и захтевима привреде. [5]

Модел сарадње кроз дуално образовање подразумева да се теоријска настава и део

практичних вежби реализују у школи, док ученици део образовања проводе у компанијама, где кроз учење кроз рад стичу конкретна стручна знања и вештине под надзором инструктора и ментора. Ученик, школа и послодавац уређују међусобне односе уговорима, док Привредна комора Србије има значајну улогу у повезивању школа и компанија и обезбеђивању услова за реализацију учења кроз рад. [6,7,10,11]

Дуално образовање се у Средњој машинској школи Нови Сад примењује од школске 2017/2018. године, што значи да овај модел у школи постоји око девет година. Према подацима из 2023. године, тада се дуално образовање већ шесту годину заредом реализовало у школи. У почетку је обухватало профил бравар-заваривач, а затим је проширено и на аутомеханичара/механичара моторних возила, оператера машинске обраде резањем и индустријског механичара. У међувремену су се елементи дуалног модела укључивали и у поједине четворогодишње профиле, као што су техничар за компјутерско управљање машинама и машински техничар за компјутерско конструисање. [8,13]

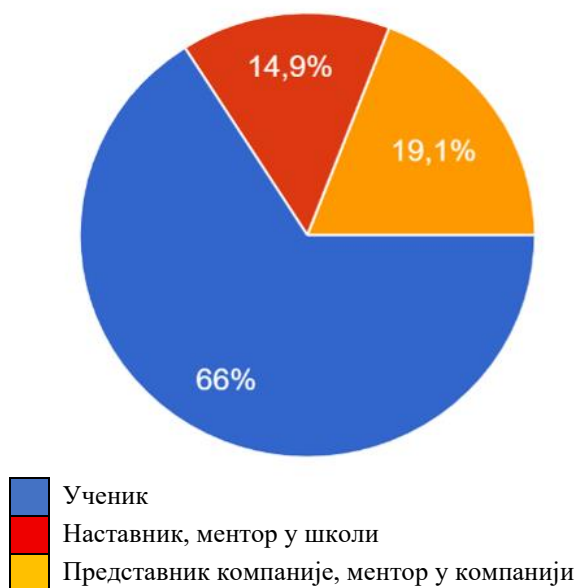
Посебно је значајно што сарадња није ограничена само на реализацију практичне наставе, већ представља везу између образовног система и стварних потреба привреде. Као пример, компанија „МВМ Јужна Бачка“ наводи да више од десет година сарађује са средњим стручним школама и Привредном комором Србије у реализацији дуалног образовања, а међу школама са којима сарађује налази се управо Средња машинска школа Нови Сад. [9,14]

5. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

Узорак и инструмент истраживања

Истраживање је спроведено путем анкетног упитника. Укупно је обухваћено 47 испитаника у питању које се односи на припадност групи, док је код већине

питања евидентирано 48 одговора. У структури узорка највећи удео имају ученици – 66%, затим представници компанија/ментори у компанији са 19,1%, док наставници/ментори у школи чине 14,9% узорка. Структура узорка приказана на Слици број 1. омогућава да се сагледају ставови учесника различитих улога у процесу дуалног образовања: ученика који непосредно учествују у учењу кроз рад, наставника и ментора који прате образовни процес и представника компанија који ученике уводе у реално радно окружење.



Слика 1. Структура испитаника

Упитник је обухватио тврдње које се односе на значај различитих компетенција ученика и на могућности које ученици добијају током учења кроз рад. Одговори су процењивани на петостепеној скали: „У потпуности се слажем“, „Делимично се слажем“, „Нити се слажем, нити се не слажем“, „Делимично се не слажем“ и „Уопште се не слажем“.

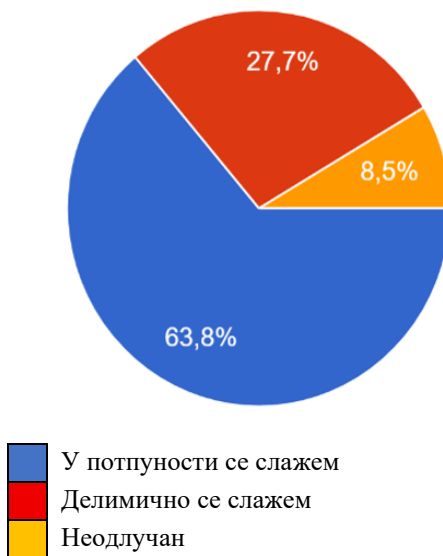
6. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА И АНАЛИЗА

Приказани резултати истраживања показују висок степен сагласности испитаника са већином тврдњи које се односе на значај учења кроз рад и развој компетенција ученика. Посебно се издваја веома висок ниво сагласности са тврдњама

које се односе на самосталност, тимски рад и комуникацију, упознавање савременог индустријског окружења, коришћење професионалне опреме и развој способности решавања проблема.

6.1. РАЗВОЈ ДИГИТАЛНИХ КОМПЕТЕНЦИЈА

На тврдњу да је за успешно укључивање ученика у савремену машинску индустрију потребно додатно развијати њихове дигиталне компетенције одговорило је 47 испитаника, што је приказано на Слици бр. 2. Чак 63,8% испитаника у потпуности се слаже, док се 27,7% делимично слаже. Додатних 8,5% испитаника нема ни позитиван ни негативан став, док негативних одговора нема. То значи да се укупно 91,5% испитаника позитивно изјаснило о потреби даљег развоја дигиталних компетенција ученика. Овај резултат је посебно значајан имајући у виду да савремена машинска индустрија све више укључује дигитално управљане машине, аутоматизоване процесе, дигиталну техничку документацију, софтверска решења и друге технологије које захтевају повезивање традиционалних стручних знања са дигиталним вештинама. [16,17]



Слика 2. Одговори испитаника на тврдњу да је за успешно укључивање ученика у савремену машинску индустрију потребно додатно развијати њихове компетенције

6.2. УПОЗНАВАЊЕ ПРОБЛЕМА КОЈИ СЕ НЕ МОГУ У ПОТПУНОСТИ СИМУЛИРАТИ У ШКОЛИ

На тврдњу да ученици кроз рад у компанији упознају проблеме који се не могу у потпуности симулирати у школским условима, 77,1% испитаника се у потпуности слаже, а 16,7% делимично слаже.

Укупно је, дакле, 93,8% испитаника изразило позитиван став према овој тврдњи, што је приказано на Слици бр. 3.



Слика 3. Одговори испитаника на тврдњу да ученици кроз рад у компанији упознају проблеме који се не могу симулирати у потпуности у школским условима

Овај резултат представља један од значајних налаза истраживања јер директно указује на образовну вредност реалног радног окружења. Школска радионица омогућава развој бројних практичних вештина, али компанијско окружење ученику омогућава да се сусретне са конкретним производним захтевима, роковима, организацијом рада, одговорношћу за извршавање задатака, непредвиђеним ситуацијама и проблемима

који се не могу у потпуности репродуковати у наставном процесу.

6.3. РАД СА САВРЕМЕНИМ И ДИГИТАЛНО УПРАВЉАНИМ МАШИНАМА

На тврдњу да ученици имају прилику да раде са савременим, односно дигитално управљаним машинама и уређајима одговори су нешто хетерогенији. 52,1% испитаника се у потпуности слаже, док се 29,2% делимично слаже. Мањи проценат испитаника заузима неутралан став, док је присутан и одређени проценат негативних одговора, а резултати су сликовито приказани на Слици бр. 4.



Слика 4. Одговори испитаника на тврдњу да ученици имају прилику да раде са савременим/дигитално управљаним машинама и уређајима

Иако већина испитаника потврђује могућност рада са савременом опремом, резултат је мање изражен него код неких других тврдњи. То може бити значајан показатељ за даље унапређење дуалног образовања. Само постојање сарадње са компанијом не значи аутоматски да ће сваки ученик имати једнак ниво приступа савременој опреми. На то могу утицати

врста компаније, технологије које компанија користи, организација рада, број ученика и могућности њиховог непосредног укључивања у производни процес. Због тога би један од циљева будућег унапређивања сарадње требало да буде планско дефинисање компетенција и опреме са којом ученик треба да се упозна током учења кроз рад.

7. ДИСКУСИЈА

Резултати истраживања у целини показују висок ниво сагласности испитаника са значајем компетенција које су релевантне за укључивање ученика у савремену машинску индустрију. Посебно се издвајају четири групе налаза. Прву групу чине компетенције повезане са непосредним искуством рада у компанији. Веома висок ниво сагласности забележен је код тврдњи да ученици упознају савремено индустријско радно окружење и проблеме који се не могу у потпуности симулирати у школи. То потврђује значај учења кроз рад као допуне школском образовању. Другу групу чине стручне и практичне компетенције. Рад са професионалним алатима и опремом, коришћење техничке документације, упознавање дијагностичких и мерних уређаја и развој способности решавања проблема препознати су као важни елементи компетенцијског профила ученика. Трећу групу чине дигиталне и технолошке компетенције. Иако је више од 90% испитаника позитивно оценило потребу за даљим развојем дигиталних компетенција, резултати везани за аутоматизоване процесе и дигитално управљање машине показују нешто већу заступљеност одговора „делимично се слажем“. То може представљати важан сигнал за унапређивање садржаја и организације учења кроз рад. Четврту групу представљају опште професионалне компетенције, пре свега самосталност, тимски рад и комуникација. Висок ниво сагласности показује да се од ученика савремене машинске струке не очекује само техничко знање, већ и способност

одговорног, самосталног и сарадничког рада.

На основу резултата истраживања могуће је предложити неколико праваца за унапређење сарадње Средње машинске школе у Новом Саду и компанија:

- заједничко дефинисање компетенција ученика;
- планска изложеност ученика савременим технологијама;
- постепено повећавање самосталности ученика уз помоћ ментора;
- систематско развијање способности решавања проблема;
- развој дигиталних компетенција;
- континуирана комуникација наставника, ментора и компанија на заједничком планирању, праћењу напретка ученика и евалуацији достигнутих компетенција.

8. ЗАКЉУЧАК

Резултати истраживања указују на значај дуалног образовања у развоју компетенција ученика машинске струке и њиховом постепеном укључивању у реално индустријско окружење. Већина испитаника исказује висок степен сагласности са тврдњама које се односе на значај практичног искуства, коришћење професионалне опреме, упознавање савременог индустријског окружења, развој самосталности, тимског рада, комуникације и решавања проблема. Посебно је изражена потреба за даљим развојем дигиталних компетенција ученика. Истовремено, резултати указују да постоје области, попут аутоматизованих процеса и рада са савременим дигитално управљаним машинама, у којима постоји простор за додатно унапређење непосредног искуства ученика. Значајан налаз представља и висок степен сагласности са потребом за даљим унапређивањем сарадње школе и компанија како би образовање боље пратило развој технологије. То указује на потребу да се дуално образовање развија као динамичан модел у коме се захтеви индустрије и

образовни садржаји континуирано усклађују. У том смислу, квалитет дуалног образовања не зависи само од обима времена које ученик проводи у компанији, већ и од квалитета задатака које обавља, нивоа његове укључености у реалне процесе, доступности савремене опреме, стручног менторства и систематског праћења развоја компетенција.

9. ЛИТЕРАТУРА:

- [1] <https://www.paragraf.rs/propisi/zakon-o-dualnom-obrazovanju.html>
- [2] World Economic Forum (2025). The Future of Jobs Report 2025: Skills Outlook. Geneva: World Economic Forum
- [3] World Economic Forum (2025). The Future of Jobs Report 2025. Geneva: World Economic Forum
- [4] World Economic Forum (2025) – Region, Economy and Industry Insights – Serbia
- [5] www.masinskans.edu.rs/oglasna-tabla/upis
- [6] www.novisad.rs/lat/unapredenje-plana-upisa-za-dualne-obrazovne-profile-u-skolskoj-20212022-godini
- [7] <https://pravno-informacioni-sistem.rs/eli/rep/sgrs/skupstina/zakon/2013/55/2/reg>
- [8] <https://www.paragraf.rs/propisi/zakon-o-dualnom-obrazovanju.html>
- [9] <https://www.entjuba.rs/posao-i-karijera/dualno-obrazovanje/?utm>
- [10] Cedefop (2021). The role of work-based learning in VET and tertiary education. Cedefop Research Paper No 80. Luxembourg: Publications Office of the European Union. DOI: 10.2801/799490.
- [11] OECD (2010). Learning for Jobs: Synthesis Report of the OECD Reviews of Vocational Education and Training. Paris: OECD Publishing. DOI: 10.1787/9789264087460-en.
- [12] Kipper, L. M., Iepsen, S., Dal Forno, A. J., Frozza, R., Furstenau, L., Agnes, J., & Cossul, D. (2021). Scientific mapping to identify competencies required by Industry 4.0. *Technology in Society*, 64, 101454. DOI: 10.1016/j.techsoc.2020.101454.
- [13] Quintero, W. R., & Maldonado, J. E. N. (2024). Competencies of the engineer in Industry 4.0 context: a systematic literature review. *Production*, 34, e20230051. DOI: 10.1590/0103-6513.20230051.
- [14] Nurjanah, I., Ana, A., & Masek, A. (2022). Systematic Literature Review: Work readiness of vocational high school graduates in facing the industrial 4.0 era. *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, 28(2). DOI: 10.21831/jptk.v28i2.48552.
- [15] International Labour Organization (2023). Quality Apprenticeships Recommendation, 2023 (No. 208). Geneva: ILO.
- [16] Marković, J. (2024). When the rubber hits the road: the limits of top-down approaches to the implementation of dual training in Serbia. *Compare: A Journal of Comparative and International Education*. DOI: 10.1080/03057925.2024.2309240.
- [17] European Training Foundation (2024). Serbia 2024. Torino Process 2024–2025. Turin: European Training Foundation.

Адреса аутора: Средња машинска школа Нови Сад, Булевар Краља Петра 38, Нови Сад
е-маил: vesna.konja@gmail.com
Рад примљен: Септембар 2026.
Рад прихваћен: Септембар 2026.

Проф. др Милорад Ранчић

ЂОРЂЕ СТАНОЈЕВИЋ



Ђорђе Станојевић је рођен 7. априла 1858. године у Неготину. Његов отац Милош био је угледни трговац. Као радознало дете Ђорђа су посебно интересовале природне појаве. Основну школу и нижу гимназију завршио је у Неготину. Са шеснаест година одлази у Београд на даље школовање. Уписао се у тада једину српску Гимназију која је касније добила име Прва београдска гимназија. Нашао се у групи београдских гимназијалаца код чувеног професора Косте Вујића. Након завршетка Гимназије 1877. године уписао је Филозофски факултет, одсек природно-математички, на Великој школи у Београду. На студијама се определио за астрофизику и физику сунца као ужу научну област. Дипломирао је 1881. године. С обзиром да је у току студија поред изузетног теоријског знања показао и успешност у извођењу експеримената изабрали су га за асистента на Катедри за физику. Након полагања „професорског испита“, године 1883., почиње да ради као професор физике у својој бившој школи Првој београдској гимназији. Доделом стипендије Министарство војске је одлучило да га пошаље на трогодишње усавршавање у иностранство. Једногодишње истраживање реализовао је у Немачкој на Универзитету у Берлину. Боравио је још и на Астрофизичкој опсерваторији у Потсдаму и Метеоролошкој централни у Хамбургу. Годину 1886. је провео у опсерваторијама у Гриничу, Кембриџу и Пулкову у Русији. У Паризу на Сорбони и Астрономији у Медону са професором Жил Жансеном истраживао је Сунчеве корене. Године 1887. у Сибиру је снимао тотално помрачење Сунца Тих година Француска академија наука објавила му је више радова из области астрофизике Сунца. По позиву Француске владе 1888. године водио је тим стручњака у Сахару где су проучавали појаве на Сунцу. Након повратка у Београд професор Станојевић се активно укључио у решавање проблема електрификације и осветљавања. Био је убеђен да електрична енергија иако тада недовољно позната, има пуно предности у односу на актуелни гас. Успео је да се избори за доношење одлуке да Београд буде електрифициран и добије електрично осветљење. Ову одлуку лично је

потписао председник српске Владе Никола Пашић. Прва јавна електрична централа у Србији почела је да ради у Београду на Дорћолу 1893. године.

Станојевић је био велики познаваоц и поштоваоц рада и открића Николе Тесле. Зато је у термоцентралу на Дорћолу врло брзо била уграђена динамо машина за наизменичну струју. Станојевић је организовао и посету Николе Тесле Београду која је реализована у периоду од 1. до 3. јуна 1892. године а затим га је отпратио до Будимпеште. Тада се са Теслом договорио да припреми и изда књигу у којој би био представљен сав Теслин дотадашњи рад. Године 1894. Ђорђе Станојевић је објавио своју прву књигу на српском језику под називом „Никола Тесла и његова открића“. И до краја свог живота Ђорђе је користио сваку прилику да популарише Теслино огромно дело.

Под утицајем Николе Тесле коме је изложио свој план о електрификацији Србије, Ђорђе је 1901. године почео да ради на прорачунима снаге водених токова у циљу изградње хидроцентрала које би производеле електричну струју. Био је учесник у пројектовању и изградњи прве хидроцентралу у Србији у Ужицу на реци Ћетини која је производила трофазну струју по Теслиним принципима. Било је то само четири године након изградње прве на свету хидроелектране на Нијагариним водопадима у Америци. Централа у Ужицу имала је два генератора од по 32,5 киловата и додатну опрему коју је испоручила фирма „Сименс“. Ђорђе Станојевић је наставио да ради на електрификацији и осветљавању градова у Србији. Ређали су се градови: Чачак, Лесковац, Паланка, Крушевац, Зајечар, Горњи Милановац, Крагујевац... Слично се дешавало и са пројектовањем и изградњом хидроцентрала: на Црном Тимоку, Нишави код Ниша, код Сокобање, на Пеку код Великог Градишта, на Моравици код Ивањице, Власини код Власотинаца, Вучју код Лесковца. Планирао је и изградњу централе на Дунаву, у Ђердапу, али је она реализована тек 60 година касније. Неке од ових хидроцентрала и данас су, после толико година, у функцији. Хидроцентрала Вучје, коју је Ђорђе пројектовао и опремио, била је најрентабилнија електрана за оно време. Са кратким прекидима она и данас ради. Институт за електротехнику и електронику (ИИЕЕ) је 2005. године ову хидроелектрану прогласио за део светске баштине из историје електротехнике. Професор Станојевић је део својих активности усмерио и на индустрију хлађење ради заштите прехрамбених производа и меса и њиховог транспорта у Европу. Захваљујући њему Србија је 1909. године постала један од оснивача Међународног удружење за хлађење са седиштем у Паризу.

Године 1893. Ђорђе Станојевић је изабран за професора физике на Природно математичком факултету Велике школе (Универзитета) у Београду. Од 1909. до 1913. године обављао је дужност декана Факултета а од 1913. до 1921. био је на функцији ректора београдског Универзитета. Основао је и Физички институт и на његовом челу је био до краја живота.

Професор Станојевић је 1899. године први у Србију донео рентген апарат и обавио снимања помоћу рентгенских зрака. Такође је инсталирао и прву радиотелеграфску станицу која је функционисала по Теслином систему двојних предајних и пријемних кола. Ђорђе је имао различита интересовања. Бавио се и фотографијом у боји. Са својих бројних путовања и обилазака обала река и водотокова по Србији донео је пуно фотографија у боји од којих је направио прву фотомонографију у боји „Србија у сликама“. У Историјском музеју у Београду сачуване су стотине фотографија пејсажа и предела у Србији, манастира, градова и места погодна за изградњу хидроелектрана. Уложио је 2000. својих дуката у пројекат „Типизирани сеоске куће у Србији“ са циљем да се побољша живот на селу. На свом имању садио је племените врсте воћа и поврћа. Године 1908. постао је члан Међународног комитета за интернационални језик есперанто. Инсистирао је да српски језик усвоји научну терминологију у области електротехнике и астрономије.

Прву своју књигу „Звездано небо независне Србије“ написао је још као студент. Поред већ поменуте књиге о Николи Тесли објавио је и низ других: „Шетња по облацима“ о балонима и ваздухопловству, „Из науке о светлости“, „Васионска енергија и модерна физика“, „Апсолутно мерење“, „Експериментална физика“, „Електрична индустрија у Србији“, „Србија у сликама“, „Нетачно празновање васкрсења у православној цркви и реформа календара“, „Аероплан и природне непогоде“, „Бомбардовање београдског Универзитета“. Такође треба поменути и више од стотину стручних и научних радова које је објављивао у земљи и иностранству.

Професор Ђорђе Стојановић је био имућан човек. Живео је у својој кући у улици Кнеза Милоша у Београду. Са супругом Станом имао је четворо деце, три ћерке и сина. Био је пријатељ и сарадник многих познатих личности свог доба. Међу њима су били: сликар Паја Јовановић, песник Јован Јовановић, композитор Стеван Мокрањец, научници Јован Цвијић, Миодраг Петровић Алас, политичар Никола Пашић и други. Ђорђе Станојевић је био један од најобразованијих и најученијих људи свог времена у Србији. Био је човек широке културе, образован, послован, динамичан, ентузијаста и велики патриота. Волео је свој народ и све чинио за њега.

Професор Ђорђе Станојевић је преминуо 24. децембра 1921. године на службеном путу у Паризу где је требало да купи авион за метеоролошка осматрања у Србији. Сахрањен је на Новом гробљу у Београду. У његову част подигнуто је више споменика: у Београду испред зграде Електродистрибуције, у Неготину на тргу који носи његово име, спомен соба у родној кући. На Новом Београду једна улица носи његово име. Од 1995. године уведена је Повеља са плакетом „Ђорђе Станојевић“ која се додељује појединцима, привредним организацијама и институцијама као признање за изузетан допринос развоју Електродистрибуције Србије.



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 Марич, научни саветник

Igor Maric

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 ћиричним 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 - tgδ 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



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@gpmpm.rs;
predragmistic@gpmpm.rs

PIB: 111249840

MB: 21449237

Žiro račun: 275-0020222974638-56
Societe Generale Banka

IRON



www.iron.rs



iron@iron.rs

023/531-890 , 023/ 530-511

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.