

ДРУШТВО ИНЖЕЊЕРА ЗРЕЊАНИН ■ ASSOCIATION OF ENGINEERS ZRENJANIN

ISSN 0354-7140

# ДИТ

Друштво  
Истраживање  
Технологије

НАУЧНО  
СТРУЧНИ  
ЧАСОПИС

ГОДИНА XXVIII\*\*\*БРОЈ 38  
Септембар 2022

SCIENTIFIC  
PROFESIONAL  
JOURNAL

YEAR XXVIII \*\*\* ISSUE 38  
September 2022

МАШИНСТВО  
ЕНЕРГЕТИКА  
ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И  
РАЧУНАРСТВО  
ТЕХНОЛОГИЈЕ  
МЕНАѢМЕНТ И ЕКОНОМИЈА  
ВЕЛИКАНИ НАУКЕ



COBISS.SR-ID 105108999



# ДИИТ

Друштво Истраживање Технологије

Научно-стручни часопис  
Scientific-profesional journal

Година XXVIII, Број 38, септембар 2022. год.  
Year XXVIII, Issue 38, September 2022. 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 Лазо Манојловић, 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:

Горан Маринковић, дипл. инж. Културни центар Зрењанин

Никола Адамовић дипл. инж. Друштво инжењера Зрењанин

Проф. др Драгица Радосав, ТФ“Михајло Пупин“, Зрењанин

Проф. др Обрад Спаић, Факултет за производњу и менаџмент, Требиње

Проф. др Миодраг Ковачевић, ВТШСС Зрењанин

Др Здравко Ждрале, Завод за јавно здравље Зрењанин

Душко Радишић, мсц, Град Зењанин

Славиша Влацић, 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,

Тридесет осми број нашег часописа Друштво, Истраживања, Технологије ( ДИТ) и овог пута објавио је научне и стручне радове из области Машинства, Енергетике, Електротехнике и рачунарства, Менаџмента и економије. У прилозима су изложени резултати научних истраживања и стручних радова експерата како из наше земље тако и из иностранства. Теме су актуелне и савремене. Наши аутори пишу о анализи напона код отворених и затворених профила, пнеуматским цревима као елементима управљачких система, нумеричком прорачуну вођица осовинског склопа, примени борирања, примени вештачке интелигенције, анализи енергетских индикатора, квантитативној анализи буџетског финансирања, инвестиционом менаџменту у условима монетарне нестабилности, утицају менаџмента знања, потражњи људских ресурса у индустрији 4.0 и 5.0.

Овај број часописа посвећен је Богдану Маглићу, нашем великом научнику који је у области нуклеарне физике постигао светски вредне резултате.

Наш часопис се налази на националној листи научних часописа и у 2021. години од стране Министарства науке и образовања Републике Србије рангиран је са М53.

Главни уредник  
Др Милорад Ранчић, професор



---

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

Повељу за најбољу



публикацију у Србији у 1996. години.

# САДРЖАЈ

<b>РЕЧ ГЛАВНОГ УРЕДНИКА .....</b>	<b>3</b>
<b>МАШИНСТВО</b>	
Раде Васиљевић:	
УПОРЕДНА НАПОНСКА АНАЛИЗА ОТВОРЕНИХ И ЗАТВОРЕНИХ ТАНКОЗИДНИХ ПРОФИЛА <i>COMPARATIVE STRESS ANALYSIS OF THE OPEN AND CLOSED THIN-WALLED PROFILES</i> .....	9
Драган Шешлија, Валентина Младеновић, Вуле Рељић, Љубица Лазић Вулићевић:	
ПНЕУМАТСКА ЦРЕВА КАО ИНТЕГРАТИВНИ ЕЛЕМЕНТ УПРАВЉАЧКОГ СИСТЕМА <i>PNEUMATIC TUBES AS INTEGRATIVE ELEMENT OF CONTROL SYSTEM</i> .....	21
Бранислав Миленковић, Младен Крстић, Ђорђе Јовановић:	
НУМЕРИЧКИ ПРОРАЧУН ЧВРСТОЋЕ ВОЋИЦЕ ОСОВИНСКОГ СКЛОПА <i>NUMERICAL CALCULATION OF STRENGTH OF GUIDE WHEELSET</i> .....	31
Валентина Младеновић, Душан Јованић:	
АНАЛИЗА РИЗИКА ЕКОСИСТЕМА LFS 3D ШТАМПАЧА <i>RISK ANALYSIS OF LFS 3D PRINTER ECOSYSTEM</i> .....	37
Жељко Стојановић, Сања Станисављевић, Мића Ђурђевић, Спасоје Ерић:	
БОРИРАЊЕ И ЊЕГОВА ПРИМЕНА У ЕКСПЛОАТАЦИЈИ НАФТЕ И ГАСА <i>BORONIZING AND ITS APPLICATION IN OIL AND GAS EXPLOITATION</i> .....	47
<b>ЕНЕРГЕТИКА</b>	
Синиша Дропо:	
АНАЛИЗА ЕНЕРГЕТСКИХ ИНДИКАТОРА ОДРЖИВОГ РАЗВОЈА <i>ANALYSIS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT ENERGY INDICATORS</i> .....	65
<b>ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО</b>	
Miljan Miletić, Milorad Rančić:	
PRIMENA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE U PROCESU PRERADE OTPADNIH VODA <i>APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN WASTEWATER PROCESSING</i> .....	75
<b>МЕНАѢМЕНТ И ЕКОНОМИЈА</b>	
Иван Милојевић, Милош Миљковић:	
КВАНТИТАТИВНА АНАЛИЗА БУѢЕТСКОГ ФИНАНСИРАЊА КУЛТУРЕ У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ <i>QUANTITATIVE ANALYSIS OF THE BUDGET FINANCING OF CULTURE IN THE REPUBLIC OF SERBIA</i> .....	85
Александар Савић, Биљана Иванова:	
ИНВЕСТИЦИОНИ МЕНАѢМЕНТ У УСЛОВИМА МОНЕТАРНЕ НЕСТАБИЛНОСТИ <i>INVESTMENT MANAGEMENT IN CONDITIONS OF MONETARY INSTABILITY</i> .....	93
Александра Ковачевић:	
УТИЦАЈ МЕНАѢМЕНТА ЗНАЊА НА САВРЕМЕНИ КОНЦЕПТ ПРЕДУЗЕТНИШТВА <i>THE INFLUENCE OF KNOWLEDGE MANAGEMENT ON CONTEMPORARY CONCEPT OF ENTREPRENEURSHIP</i> .	99
Dijana Tadić, Edit Terek Stojanović:	
УТИЦАЈ ИНДУСТРИЈЕ 4.0 И 5.0 НА ПОТРАЖЊУ ЗА ЉУДСКИМ РЕСУРСИМА <i>THE IMPACT OF INDUSTRY 4.0 AND 5.0 ON THE DEMAND FOR HUMAN RESOURCES</i> .....	103
<b>БОГДАН МАГЛИЋ .....</b>	<b>110</b>
<b>IN MEMORIAM.....</b>	<b>112</b>
<b>УПУТСТВО ЗА ПИСАЊЕ РАДОВА.....</b>	<b>113</b>



БОГ ДАН МАГ ЛИ Ћ  
(1928 – 2017)

Наш чувени нуклеарни физичар.  
Први открио елементарну честицу  
Омега пи Мезон (честица  $S$ ).  
Аутор великог броја патената у области  
примене нуклеарне енергије у мирнодопске  
сврхе.

Професор америчких универзитета  
у Пенсилванији и Њу Џерсију.  
Члан САНУ.



**ДИТ**

Друштво Истраживање Технологије

Научно-стручни часопис  
Scientific-profesional journal

Година XXVIII, Број 38, септембар 2022. год.  
Year XXVIII, Issue 38, September 2022. year

---

# МАШИНСТВО

---

Одговорни уредник:

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

Редакцијски одбор:

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

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

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

---

Редакција:

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





# УПОРЕДНА НАПОНСКА АНАЛИЗА ОТВОРЕНИХ И ЗАТВОРЕНИХ ТАНКОВИДНИХ ПРОФИЛА

## COMPARATIVE STRESS ANALYSIS OF THE OPEN AND CLOSED THIN- WALLED PROFILES

РАДЕ ВАСИЉЕВИЋ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Висока техничка школа академских студија, Београд

### РЕЗИМЕ

У овом раду је разматрана упоредна напонска анализа отворених и затворених танковидних профила. У првом делу рада је дат кратак осврт на теорију танковидних профила. У другом делу рада је спроведена нумеричка упоредна анализа отворених и затворених танковидних профила. Оба типа профила имају исти облик и димензије. Отворени тип профила има облик кутијастог профила али на средини доњег појаса није спојен и има теоретски карактер. Затворени тип профила је кутијастог облика и има практични карактер. Дефинисани су одговарајући закључци и смернице.

**Кључне речи:** танковидни гредни носач, отворени профил, затворени профил, упоредна анализа.

### ABSTRACT

In this paper, a comparative stress analysis of open and closed thin-walled profiles is considered. The first part of the paper gives a short retrospective view to the theory of thin-walled profiles. In the second part of the paper, a numerical comparative analysis of the open and closed thin-walled profiles was carried out. Both profile types have the same contour and dimension. The open profile type has the contour of a box profile, but is not connected in the middle of the bottom belt and has a theoretical character. The closed profile type is box contour and has a practical character. Corresponding conclusions and guidelines are defined.

**Key words:** Thin-walled profile, Open profile, Closed profile, Comparative analysis.

### 1. УВОД

У савременим машинским конструкцијама или њиховим деловима, веома често се појављују танковидни елементи и имају велики значај. Танковидни елементи имају посебно важну примену у машиноградњи (нпр. код моторних возила, транспортних

средстава, железничких вагона, бродова и сл.) [1]. Такође, у новије време, примена танковидних носача отвореног профила има све већи значај у грађевинарству (нпр. роњача од хладно обликованих отворених профила) [2,3]. Употреба роњача од хладно обликованих профила отвореног попречног пресека има значај

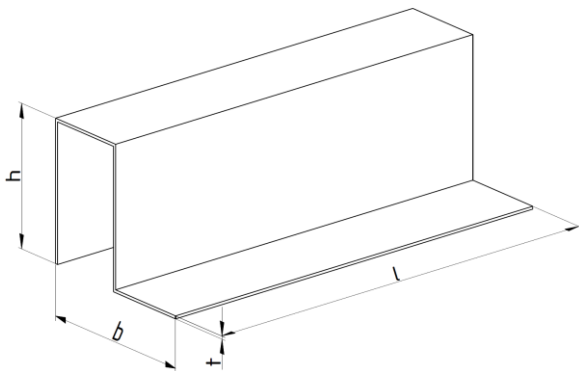
због изузетно мале тежине у односу на друге попречне пресеке.

Теорија отворених и затворених танкозидних профила је обрађена у уџбеничкој литератури (нпр. види [1,4-7]). Такође, проблематика ових профила је разматрана у чланцима. Преглед ових референци указао је на могуће проблеме при употреби ових профила.

У првом делу рада, у краткој форми, изложена је теорија танкозидних гредних носача. У другом делу рада, спроведена је упоредна напонска анализа отворених и затворених танкозидних гредних носача. За нумерички пример је изабрана једногредна мосна дизалица са ексцентричним положајем колица са теретом.

## 2. КРАТАК ОСВРТ НА ТЕОРИЈУ

Дати дефиницију танкозидне конструкције или танкозидног елемента није једноставно. Грубо речено, то је конструкција или њен део који је израђен од танких лимова спојених дуж њихових ивица. Танкозидни елементи могу бити различитих облика и могу имати већу или мању савојну и увојну крутост. Заједничка особина им је мала тежина у поређењу са другим конструктивним облицима. Специфичност прорачуна ових конструкција и њихових елемената формирала је посебан прорачунски модел под називом "танкозидна греда" (слика 1).



Слика 1. Танкозидни греда

Да би конструктивни елемент могао бити назван гредом или штапом потребно

је да однос карактеристичних попречних димензија и дужине буде у границама:

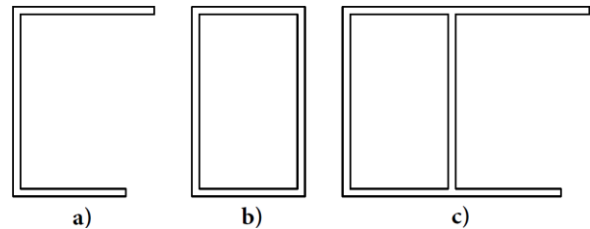
$$\frac{h}{l}, \frac{b}{l} \leq \left( \frac{1}{5} \dots \frac{1}{10} \right). \quad (1)$$

Да би греда дефинисана изразом (1) могла бити названа танкозидном потребно је да јој однос дебљине и карактеристичне димензије попречног пресека буде:

$$\frac{\delta}{b} \leq \frac{1}{10} \cdot \frac{\delta_{\max}}{\delta_{\min}} \leq \frac{1}{10} \quad (2)$$

Танкозидни профили се према облику попречног пресека деле на:

- отворене (слика 2a),
- затворене (слика 2b),
- отворено-затворене (слика 2c).



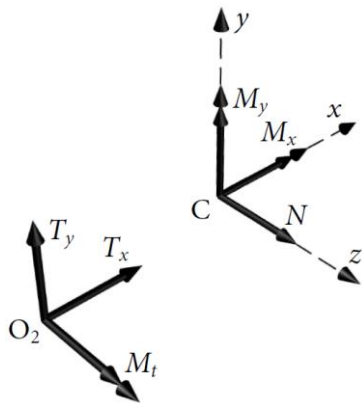
Слика 2. Врсте танкозидних профила

Пошто су ови елементи мале дебљине, за њих се може увести претпоставка о равномемој расподели напона по њиховој дебљини. Другим речима, нормални и тангенцијални напони су константни по дебљини зида  $\delta$ , а мењају се једино дуж средње линије попречног пресека. То значи да се танкозидна греда може довољно тачно приказати њеном спољном површи, а попречни пресек штапа средњом линијом (пресеком средње површи и равни управне на подужну осу штапа). Више детаља о класификацији танкозидних гредних носача дато је у [1,4-7].

Анализа напонског стања у коме се налази нека конструкција или неки њен елемент представља један од основних задатака конструктора. У општем случају просторног стања напона, напонско стање је могуће одредити ако се познају компоненте напона у три међусобно управне равни.

Упоредна напонска анализа отворених и затворених танкозидних профила своди се на анализу стања напона и деформација при увијању.

Овде ће бити дате упоредно коначне формулације напонских стања отворених и затворених танкозидних профила, у општем случају напрезања (слика 3). У том смислу, у раду је стављен акценат на нумерички приказ проблема танкозидних носача.



Слика 3. Општи случај напрезања

### 2.1 Напонско стање отвореног профила

У општем случају напрезања отвореног танкозидног профила изложеног ограниченом увијању, у поречном пресеку ће постојати:  $N$  - подужна сила,  $M_x$  и  $M_y$  - компонентни momenti савијања,  $M_t$  и  $M_\omega$  - momenti увијања и  $B$  - бимомент. У тачкама отвореног попречног пресека танкозидног профила јављају се две компоненте напона тј. нормални и тангенцијални напон.

Укупни нормални напон отвореног танкозидног профила једнак је суперпозицији нормалних напона:

$$\sigma = \pm \frac{N}{A} \pm \frac{M_x}{I_x} \cdot y \pm \frac{M_y}{I_y} \cdot x \pm \frac{B}{I_\omega} \cdot \omega \quad (3)$$

Укупни тангенцијални напон отвореног танкозидног профила једнак је суперпозицији тангенцијалних напона:

$$\tau = \frac{T_x}{I_y} \cdot \frac{S_x}{\delta} + \frac{T_y}{I_x} \cdot \frac{S_y}{\delta} + \frac{M_t}{I_t} \cdot \delta - \frac{M_\omega}{I_\omega} \cdot \frac{S_\omega}{\delta} \quad (4)$$

### 2.2 Напонско стање затвореног профила

У општем случају напрезања затвореног танкозидног профила изложеног ограниченом увијању, у поречном пресеку ће постојати  $N$  - подужна сила,  $M_x$  и  $M_y$  - компонентни momenti савијања,  $M_t$  и  $\hat{M}_\omega$  - momenti увијања и  $\hat{B}$  - бимомент. У тачкама затвореног попречног пресека танкозидног профила јављају се две компоненте напона (нормални и тангенцијални напон).

Укупни нормални напон затвореног танкозидног профила једнак је суперпозицији нормалних напона [1]:

$$\sigma = \pm \frac{N}{A} \pm \frac{M_x}{I_x} \cdot y \pm \frac{M_y}{I_y} \cdot x \pm \frac{\hat{B}}{I_\omega} \cdot \omega \quad (5)$$

Укупни тангенцијални напон затвореног танкозидног профила једнак је суперпозицији тангенцијалних напона [1]:

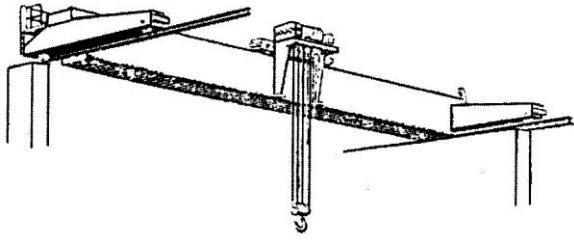
$$\tau = \frac{T_x}{I_y} \cdot \frac{S_x}{\delta} + \frac{T_y}{I_x} \cdot \frac{S_y}{\delta} + \left( \frac{M_t}{I_t} \cdot \hat{\tau} - \hat{M}_\omega \cdot \frac{r - \hat{\tau}}{I_r - I_t} \right) + \frac{\hat{q}_\omega}{\delta} \quad (6)$$

Напон  $\hat{\tau}_\omega = \hat{q}_\omega / \delta$  је сложен. За једноћелијски пресек ток смицања  $\hat{q}_\omega$  једнак је збиру [1]:

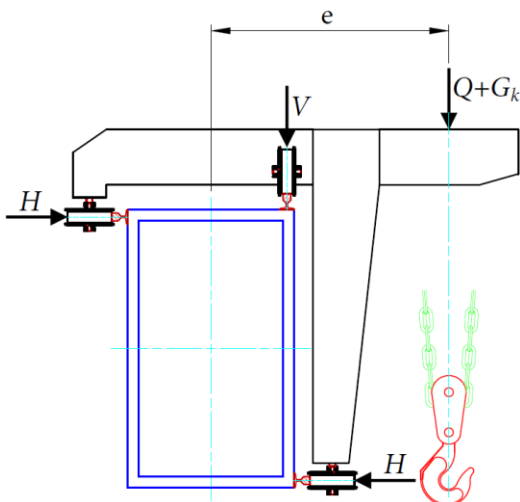
$$\hat{q}_\omega = q_\omega + q_\omega^0 = - \frac{\hat{M}_\omega}{\hat{I}_\omega} \cdot \hat{S}_\omega - \frac{\iint \frac{q_\omega^0}{\delta} ds}{\iint \frac{ds}{\delta}} \quad (7)$$

## 3. НУМЕРИЧКИ ПРИМЕР

На слици 4 је приказано конструкционо решење једногредне мосне дизалице са ексцентричним положајем колица са теретом. Више података о овим конструкцијама дато је у [8]. На слици 5 је приказана скица преношења оптерећења са колица на главни носач преко точкова.



Слика 4. Једногредна мосна дизалица са ексцентричним положајем колица и терета [8]



Слика 5. Конструкција колица

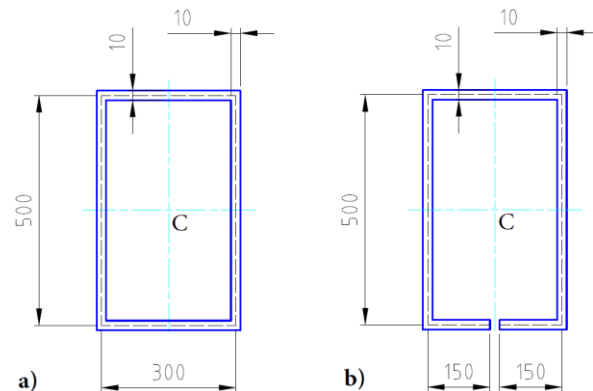
Главни носач изведеног решења је кутијастог облика. Код приказане конструкције колица резултантна тежина колица и корисног терета је ексцентрична у односу на подужну осу главног носача. Вертикална оптерећења примају вертикални точкови колица, док силе од момента ексцентритета примају хоризонтални точкови.

### 3.1 Улазни подаци и поставка проблема

Карактеристике дизалице су:

- носивост дизалице,  $Q=50 \text{ kN}$ ,
- маса колица са витлом,  $m_k=1 \text{ t}$ ,
- распон дизалице,  $L=10 \text{ m}$ ,
- профил главног носача (слика 6а),
- растојање између точкова колица,  $b=1 \text{ m}$ ,
- положај укупне силе оптерећења у односу на главни носач,  $e=500 \text{ mm}$ ,
- материјал главног носача, St370.

На слици 6 су приказане две варијанте попречних пресека главног гредног носача (отворени и затворени профил).



Слика 6. Профили танкозидних носача

Прва варијанта танкозидног носача са затвореним профилем (слика 6а) је изведена (слике 4 и 5). Друга варијанта танкозидног носача са отвореним профилем (слика 6б) има теоријски карактер тј. за потребе спровођења што веродостојније упоредне напонске анализе отворених и затворених танкозидних профила.

Статички систем главног носача је континуални носач са бесконачним бројем поља који је оптерећен на савијање и увијање. Како су колица са теретом ексцентрична, то је главни носач оптерећен и на увијање. Пошто се упоредна анализа отворених и затворених профила своди на увијање, то се посматра само увијање.

### 3.2 Заједнички параметри

Вертикални и хоризонтални пртисци точкова на шине главног носача износе:

$$V = \frac{1}{2}(Q + G_k) = \frac{1}{2}(50 + 10) = 30 \text{ kN} \quad (8)$$

$$H = \frac{1}{2} \frac{e}{h - \delta} (Q + G_k) = \frac{1}{2} \frac{50}{51 - 1} (50 + 10) = 30 \text{ kN} \quad (9)$$

Геометријски подаци потребни за прорачун односе се на средњу (системну) линију профила. Отворени и затворени

профил (слика б) имају исти положај тежишта тј. налази се у пресеку осних линија. Такође, оба типа профила имају исту површину:

$$A = ((30 - \delta) + 2(50 + \delta) + 2\left(15 - \frac{\delta}{2}\right))\delta = 160 \text{ cm}^2 \quad (10)$$

### 3.3 Увијање отвореног профила

У првом делу нумеричког примера се анализира увијање танкозидног носача са отвореним профилем (слика ба).

#### 3.3.1 Увојни момент инерције

$$I_t = \frac{1}{3} \sum l_i \cdot \delta_i^3 = \frac{1}{3} (2 \cdot 51 + 29 + 2 \cdot 14.5) l^3 = 53.33 \text{ cm}^4 \quad (11)$$

#### 3.3.2 Увојни отпорни момент инерције

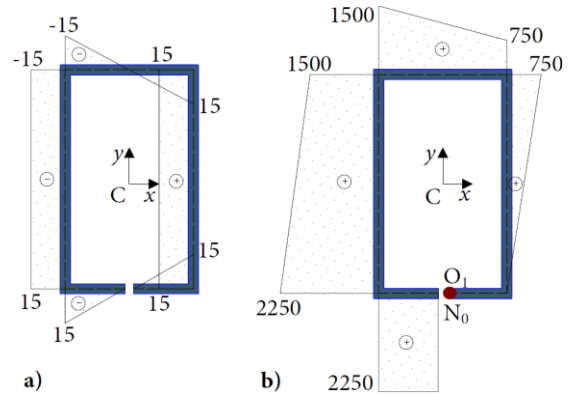
$$W_t = \frac{I_t}{\delta} = 53.33 \text{ cm}^4 \quad (12)$$

#### 3.3.3 Центар увијања и главна секторска координата

Тежишне осе  $(x, y)$  су у исто време главне тежишне осе јер је пресек једноосно симетричан. Аксијални момент инерције профила за осу  $x$  једнак је:

$$I_y = x^2 dA = 2 \left( \frac{50 \cdot 1^3}{12} + \frac{14.5^3 \cdot 1}{12} + 14.5 \cdot 1 \cdot 25^2 \right) + \frac{29^3 \cdot 1}{12} + 29 \cdot 1 \cdot 25^2 = 38799 \text{ cm}^4 \quad (13)$$

На слици 7 приказани су дијаграми апциса  $X(s)$  и секторских координата  $\omega_0(s)$ . Узето је да се почетна тачка  $N_0$  поклапа са тачком пола  $O_1$ .



Слика 7. Дијаграми: а)  $X(s)$ , б)  $\omega_0(s)$

$$S_{\omega_0} = \int_A \omega_0 \cdot dA = \frac{50 \cdot 750}{2} 1 + \frac{30(750 + 1500)}{2} 1 + \frac{50(1500 + 2250)}{2} 1 + 15 \cdot 2250 \cdot 1 = 180\,000 \text{ cm}^4 \quad (14)$$

$$C = -\frac{S_{\omega_0}}{A} = -1125 \text{ cm}^2 \quad (15)$$

Вредности нормиране секторске координате (слика 8а) добијају се на основу израза:

$$\omega_{li} = \omega_{oi} - C \quad (16)$$

Сада, секторски центрифугални момент за осу  $x$  износи:

$$I_{\omega, x} = \int_A x \cdot \omega_1 \cdot dA = -2 \cdot \left( 15 \cdot 1125 \frac{1}{2} 15 + \frac{50 \cdot (1125 + 375)}{2} 15 + \frac{15 \cdot 375}{2} \frac{2}{3} 15 \right) = -1434375 \text{ cm}^5 \quad (17)$$

Координата центра увијања  $O_2$  по оси  $y$  добија се на основу израза:

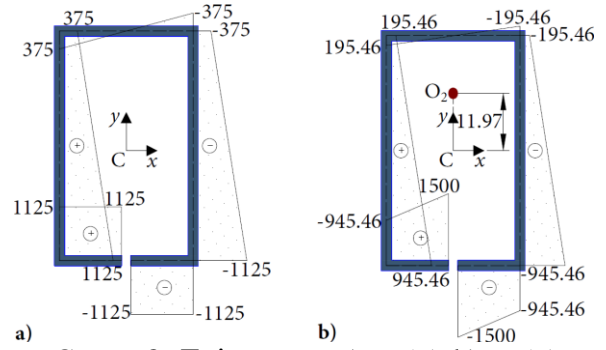
$$Y_{O_2} = Y_{O_1} - \frac{I_{\omega, x}}{I_y} = -25 - \frac{-1434375}{38799} = 11.97 \text{ cm} \quad (18)$$

Коначно, на слици 8б приказан је дијаграм главне секторске координате

$\omega(O_2, s)$ , која је израчуната у односу на центар увијања тј. тачку  $O_2$  као пол.

### 3.3.4 Главни секторски момент инерције

На основу дијаграма са слике 8b и израза за секторски момент инерције, добија се вредност главног секторског момента инерције:



Слика 8. Дијаграми: а)  $\omega_I(s)$ , б)  $\omega_2(s)$

$$I_\omega = \int_A \omega^2 \cdot dA = 2 \cdot \frac{195.46 \cdot 15}{2} \frac{2}{3} 195.46 \cdot 1 + 2 \cdot \frac{(570.46 + 1500)15}{2} \frac{(1500 + 2 \cdot 570.46)}{3(1500 + 570.46)} 1500 \cdot 1 + \frac{(195.46 + 945.46)15}{2} \frac{(945.46 + 2 \cdot 195.46)}{3(945.46 + 195.46)} 945.46 \cdot 1 + 2 \frac{(945.46 + 1500)15}{2} \frac{(1500 + 2 \cdot 945.46)}{3(1500 + 945.46)} 1500 \cdot 1 = 4.76623 \cdot 10^8 \text{ cm}^6 \quad (19)$$

### 3.3.5 Секторски статички момент

Вредности за секторски статички момент узрачунате су на крајевима и у средини или четвртини сваког сегмента отвореног профила на основу општег израза (20) за секторски статички момент отсеченог дела површине.

$$S_\omega = \int_A \omega \cdot dA \quad (20)$$

Његов дијаграм је приказан на слици 9. Редом вредности секторских статичких момената износе:

$$S_\omega^1 = 0; S_\omega^{1-2} = \frac{-(1500 + 945.46 + 0.5(1500 - 945.46))7.5}{2} \delta = -10210.2 \text{ cm}^4;$$

$$S_\omega^2 = \frac{-(1500 + 945.46)15}{2} \delta = -18341 \text{ cm}^4;$$

$$S_\omega^{2-3} = S_{\omega_2} + \frac{-(945.46 + 195.46 + 0.75(945.46 - 195.46))12.5}{2} \delta = -28987.3 \text{ cm}^4;$$

$$S_\omega^3 = S_{\omega_2} + \frac{-(945.46 + 195.46 + 0.5(945.46 - 195.46))25}{2} \delta = -37290 \text{ cm}^4;$$

$$S_\omega^{3-4} = S_{\omega_2} + \frac{-(945.46 + 195.46 + 0.25(945.46 - 195.46))37.5}{2} \delta = -43248.8 \text{ cm}^4;$$

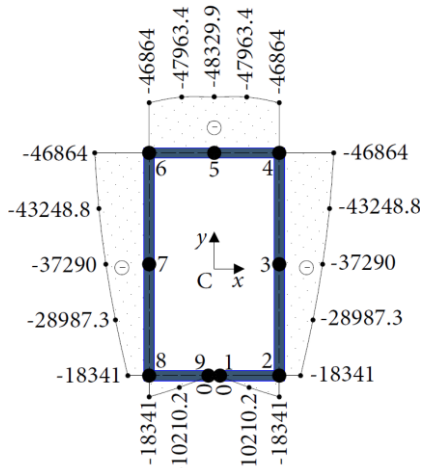
$$S_\omega^4 = S_{\omega_2} + \frac{-(945 + 195.46)50}{2} \delta = -46864 \text{ cm}^4;$$

$$S_\omega^{4-5} = S_{\omega_4} + \frac{-(195.46 + 0.5(195.46 + 0))7.5}{2} \delta = -47963.4 \text{ cm}^4;$$

$$S_\omega^5 = S_{\omega_4} + \frac{-(195.46)15}{2} \delta = -48329.9 \text{ cm}^4; S_\omega^{5-6} = -47963.4 \text{ cm}^4; S_\omega^6 = -46864 \text{ cm}^4;$$

$$S_\omega^{6-7} = -43248.8 \text{ cm}^4; S_\omega^7 = -37290 \text{ cm}^4; S_\omega^{7-8} = -28987.3 \text{ cm}^4; S_\omega^8 = -18341 \text{ cm}^4;$$

$$S_\omega^{8-9} = -10210.2 \text{ cm}^4; S_\omega^9 = 0 \text{ cm}^4;$$



Слика 9. Дијаграм  $S_{\omega}(s)$

### 3.3.6 Статички момент увијања

Момент увијања се рачуна за осу кроз центар увијања:

$$M_t = V \cdot \frac{a - \delta}{2} + H(h - \delta) \quad (21)$$

$$= 1950 \text{ kNcm}$$

Са друге стране, укупни момент увијања (21) се састоји из два дела тј. момента слободног увијања  $M_{\theta}$  и момента ограниченог увијања  $M_{\omega}$ :

$$-M_A = M_{\theta} + M_{\omega} \quad (22)$$

### 3.3.7 Угао увијања

Место максималног притиска точка на шину је у положају  $z=(L/2)-b$ . Јединични угао увијања за предметни проблем има облик:

$$\theta = C_1 Sh\alpha z + C_2 Ch\alpha z - \frac{M_A}{GI_t} + \frac{M_t}{GI_t} \left\{ 1 - Ch\alpha \left[ z - \left( \frac{L}{2} - b \right) \right] \right\} + \frac{M_t}{GI_t} \left[ 1 - Ch\alpha \left( z - \frac{L}{2} \right) \right] \quad (23)$$

Савојно-увојна карактеристика танко-зидног профила једнака је:

$$\alpha = \sqrt{\frac{G \cdot I_t}{E \cdot I_{\omega}}} = 0.000206 \frac{1}{\text{cm}} \quad (24)$$

Из граничних услова, за  $z=0 \rightarrow \theta'_t=0$  и за  $z=L \rightarrow \theta'_t=0$ , добија се да интеграционе константе износе  $C_1=0$  и  $C_2=0.0050028$ . После смене  $M_A = M_t = M$  и одговарајућих трансформација јединични угао увијања добија коначни облик:

$$\theta = C_2 \cdot Ch\alpha z - \frac{M}{GI_t} \left[ -1 + Ch\alpha \left( z - \left( \frac{L}{2} - b \right) \right) \right] + Ch\alpha \left( z - \frac{L}{2} \right) \quad (25)$$

Јединични угао увијања и његов први извод за положај  $z=(L/2)-b$  износе:

$$\frac{d\theta_t}{dz} = C_2 \cdot \alpha \cdot Sh\alpha z = 8.54008 \cdot 10^{-8} \quad (26)$$

$$\theta_t = C_2 \cdot Ch\alpha z - \frac{M_t}{G \cdot I_t} \quad (27)$$

$$= 0.000449563 \frac{\text{rad}}{\text{cm}}$$

Угао увијања отвореног профила на месту највеће силе притиска точка на шину износи:

$$\varphi_t = \int_0^{\frac{L}{2}-b} \theta_t \cdot dz = 0.175272 \text{ rad} \quad (28)$$

### 3.3.8 Бимомент

За  $z=(L/2)$  бимомент износи:

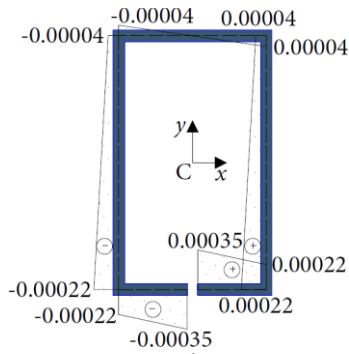
$$B = -E \cdot I_{\omega} \frac{d\theta_t}{dz} = -110.645 \text{ kNcm}^2 \quad (29)$$

### 3.3.9 Нормални напон од бимоента

Вредности за нормални напон од бимоента израчунате су на крајевима сваког сегмента отвореног профила на основу општег израза (29) за нормални напон од бимоента. Дијаграм овог напона је приказан на слици 10.

$$\sigma_{\omega} = \frac{B}{I_{\omega}} \omega \quad (30)$$





Слика 10. Дијаграм  $\sigma_{\omega}(s)$

### 3.3.10 Тангенцијални напони

Момент слободног увијања за положај  $z=(L/2)-b$  износи:

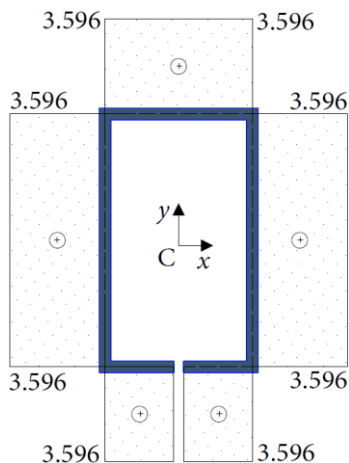
$$M_{\theta} = G \cdot I_t \cdot \theta_l = 191.813 \text{ kNcm} \quad (31)$$

Тангенцијални напон од слободног увијања по целом профилу износи (слика 11):

$$\tau_{\theta} = \frac{M_{\theta_i} \cdot \delta}{I_t} = 3.5965 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (32)$$

Момент ограниченог увијања за положај  $z=(L/2)-b$  износи:

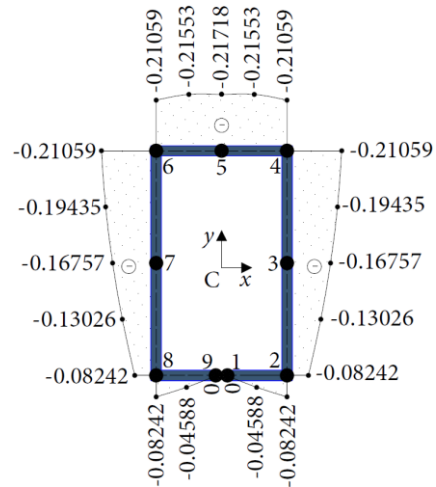
$$M_{\omega} = -M_t - M_{\theta} = -2141.81 \text{ kNcm} \quad (33)$$



Слика 11. Дијаграм  $\tau_{\theta}$

Вредности тангенцијалног напона од ограниченог увијања израчунате су на крајевима и у средини или четвртини сваког сегмента отвореног профила на основу општег израза (34) за овај напон. Дијаграм тангенцијалног напона од ограниченог увијања је приказан на слици 12. Максимална вредност овог напона налази се у тачки 5 профила.

$$\tau_{\omega} = -\frac{M_{\omega}}{I_{\omega}} S_{\omega} \delta \quad (34)$$



Слика 12. Дијаграм  $\tau_{\omega}(s)$

Укупни тангенцијални напон од увијања у тачкама профила 1 и 9 износи:

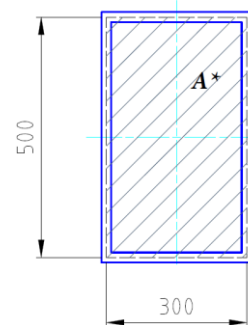
$$\tau_1 = \tau_{\theta} + \tau_{\omega 1} = 3.596 + 0 = 3.596 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (35)$$

### 3.4 Увијање затвореног профила

У другом делу нумеричког примера се анализира увијање танкозидног носача са затвореним профилем (слика 6б). Кутијаста профил има полигоналану контуру константне дебљине у коју се може уписати круг, тј. важи да је  $\alpha \cdot r = I_t/2A^*$ . То значи да ће попречни пресек остати раван и управан на осу профила тј. нема витоперења.

#### 3.4.1 Увојни момент инерције

За затворене профиле дефинише се површина ограничена средњом линијом (слика 13).



Слика 13. Површина ограничена средњом линијом  $A^*$

$$A^* = (a - \delta)(h - \delta) = 1500 \text{ cm}^2 \quad (36)$$

Увојни момент инерције истог кутијастог профила износи:

$$I_t = \frac{4 \cdot A^{*2}}{\sum \frac{1}{t_i}} = \frac{4 \cdot 1500^2}{2 \frac{51}{1} + \frac{29}{1} + 2 \frac{14.5}{1}} = 56250 \text{ cm}^4 \quad (37)$$

3.4.2 Увојни отпорни момент инерције

$$W_t = 2 \cdot A^* \cdot \delta = 2 \cdot 1500 \cdot 1 = 3000 \text{ cm}^3 \quad (38)$$

3.4.3 Статички момент увијања

Момент увијања се рачуна за осу кроз центар увијања:

$$M_t = V \cdot \frac{a - \delta}{2} + H(h - \delta) = 1950 \text{ kNcm} \quad (39)$$

3.4.4 Угао увијања

Јединични угао увијања износи:

$$\theta_t = \frac{-M_t}{G \cdot I_t} = -4.33333 \cdot 10^{-6} \frac{\text{rad}}{\text{cm}} \quad (40)$$

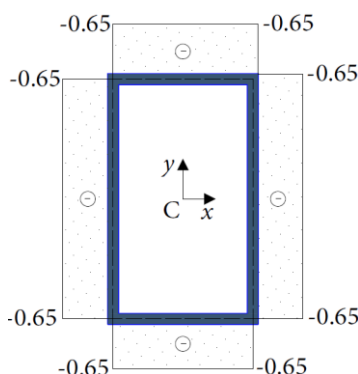
док угао увијања за положај  $z=(L/2)-b$  износи:

$$\varphi_t = \frac{-M_t \cdot \left(\frac{L}{2} - b\right)}{G \cdot I_t} = -0.00173333 \text{ rad} \quad (41)$$

3.4.5 Тангенцијални напон

Тангенцијални напон увијања износи (слика 14):

$$\tau_\theta = \frac{-M_t}{2 \cdot A^* \cdot \delta_t} = -0.65 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (42)$$



Слика 14. Тангенцијални напон увијања  $\tau_\theta$

## 4. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА

На основу поднаслова 3, упоређени су параметри увијања отвореног и затвореног профила. Контрола тангенцијалних напона услед увијања је извршена на месту максималног притиска тачкова на шину.

Анализа напонског стања у танкозидним носачима отвореног и затвореног профила исте величине у погледу распореда нормалних напона затезања-притиска и савијања напона и тангенцијалних смичучих напона у пресецима дуж носача даје слику да нема разлике.

Анализа се своди упоредну анализу напона отворених и затворених профила услед увијања. Битна разлика између ова два типа профила је у погледу интензитета напона изазваних увијањем. Другим речима, увијање изазива знатно веће утицаје у отвореним попречним пресецима, јер се центар смицања и тежиште пресека не поклапају. У том циљу у табели 1 је приказан однос одговарајућих параметара увијања анализираних профила.

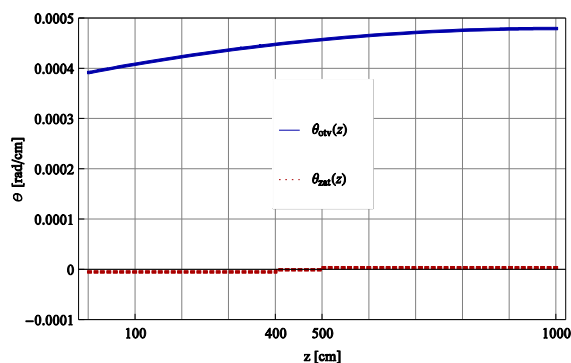
Табела 1. Поређење параметара

Параметар	Вредност
$I_{t,zat} / I_{t,otv}$	1054.69
$W_{t,zat} / W_{t,otv}$	56.25
$\varphi_{otv} / \varphi_{zat}$	101.12
$\sigma_\omega$	$\sigma_{\omega,max,otv} = 0.00035 \text{ kN/cm}^2$ $\sigma_{\omega,zat} = 0$
$\tau_{max,otv} / \tau_{max,zat}$	5.53

Поређењем отвореног и затвореног профила танкозидног носача према односу увојних момента инерције показано је да је танкозидни носач са затвореним профилем много чвршћи и крући од отвореног танкозидног носача исте величине профила.

Код неких конструкција, пре свега машинских конструкција, мора бити испуњен услов да угао увијања не пређе дозвољену вредност  $\varphi \leq \varphi_{doz}$ . Из тог

разлога је значајно одредити однос углова увијања отвореног и затвореног профила. Утврђено је да отворени профил има 101.12 пута већи угао увијања од затвореног профила исте величине. На слици 15 приказана је упоредна промена јединичног угла увијања код танкозидног носача са отвореним и затвореним профилем.



Слика 15. Поређење промене јединичног угла увијања

Нормални напон од бимоента услед ограниченог увијања постоји код отворених танкозидних профила док код затворених полигоналних профила не постоји. Максимални напон од бимоента код отвореног профила у разматраном положају износи  $\sigma_w=0.00035 \text{ kN/cm}^2$ .

Из поређења укупних тангенцијалних напона услед увијања два типа профила танкозидних носача утврђено је овај напон 5.53 пута већи код отвореног него затвореног профила исте величине. Тангенцијални напон од ограниченог увијања код отвореног профила постоји и има максималну вредност на средини горњег појаса профила  $\tau_w=0.217 \text{ kN/cm}^2$ , док затвореног полигоналног профила не постоји.

## 5. ЗАКЉУЧАК

На основу спроведене упоредне анализе отворених и затворених профила изведени су следећи закључци:

- упоредна анализа отворених и затворених профила своди се на упоредну анализу увијања,
- увијање изазива знатно веће утицаје у отвореним попречним пресецима, јер се центар смицања и тежиште пресека не поклапају,
- утицај проблема ограниченог увијања је значајан,
- проблем ограниченог увијања своди се на одређивање угла увијања и његовог првог, другог и трећег извода,
- увојни момент инерције и увојни отпорни момент су знатно чвршћи и крући од отворених танкозидних носача,
- јединични угао и угао увијања много већи код затворених профила него код отворених профила истих величина тј. затворени танкозидни носачи су су много већи код отворених профила него код затворених профила истих величина,
- нормалн напон од бимоента код отвореног профила постоји док код затвореног полигоналног профила не,
- тангенцијални напони услед увијања су много већи код отвореног профила него затвореног профила исте величине,
- код прорачуна танкозидних носача са отвореним профилем ограничено увијање изазива знатна напрезања и грешка која се прави уколико се овај утицај не узме у обзир није занемарљива,
- може се препоручити пројектентима и извођачима танкозидни затворени профил као повољнији, где је то конструкционо могуће.

## 6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ружић Доброслав, Отпорност конструкција, Машински факултет, Београд, 1995
- [2] Драшковић Бранка, Грубић Милева, Данчевић Петар, Прорачун рожњака од отворених танкозидних профила, Зборник радова Грађевинског факултета, бр.19, Грађевински факултет, Ниш, 2003, 29-39
- [3] Рогач Миливоје, Анализа хладно обликованих отворених танкозидних елемената - прорачун рожњака, Техника, Вол. 67, бр.1, 2013, 23-33
- [4] Острић Давор, Металне конструкције, Машински факултет, Београд, 1988
- [5] Чукић Растко, Ружић Доброслав, Отпорност материјала 1, Машински факултет, Београд, 1992
- [6] Kollbrunner C.F, Hajdin N, Dünnwandige Stabe, Band 1, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1972
- [7] Kollbrunner C.F, Hajdin N, Dünnwandige Stabe, Band 2, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1975
- [8] Острић Давор, Тошић Слободан, Дизалице, Машински факултет, Београд, 2005

---

Адреса аутора: Васиљевић Раде, доц., ВТШАС,  
Војводе Путника 7, Београд.  
е-маил: r.r.vasiljevic@gmail.com  
Рад примљен: јун 2022.  
Рад прихваћен: септембар 2022.



БОГДАН МАГЛИЋ  
(1928 – 2017)

Наш чувени нуклеарни физичар.  
Први открио елементарну честицу  
Омега пи Мезон (честица  $S$ ).  
Аутор великог броја патената у области  
примене нуклеарне енергије у мирнодопске  
сврхе.

Професор америчких универзитета  
у Пенсилванији и Њу Џерсију.  
Члан САНУ.

# ПНЕУМАТСКА ЦРЕВА КАО ИНТЕГРАТИВНИ ЕЛЕМЕНТ УПРАВЉАЧКОГ СИСТЕМА

## PNEUMATIC TUBES AS INTEGRATIVE ELEMENT OF CONTROL SYSTEM

ДРАГАН ШЕШЛИЈА<sup>1</sup>  
ВАЛЕНТИНА МЛАДЕНОВИЋ<sup>2</sup>  
ВУЛЕ РЕЉИЋ<sup>1</sup>

ЉУБИЦА ЛАЗИЋ ВУЛИЋЕВИЋ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Факултет техничких наука у Новом Саду

<sup>2</sup>Висока техничка школа струковних студија у Зрењанину

### РЕЗИМЕ

У раду су приказане најзначајније карактеристике пнеуматских црева чији је задатак пренос енергије и сигнала до машина и уређаја. Анализирани су материјали, структура и позиционирање пнеуматских црева. Приказан је аспект безбедности и поузданости црева као и најчешћи узроци оштећења ових елемената управљачких система.

**Кључне речи:** Ваздух под притиском, пнеуматска црева, сигурност и поузданост пнеуматских црева

### ABSTRACT

The paper presents the most important characteristics of pneumatic tubes whose task is the transmission of energy and signals to machines and devices. Materials, structure and positioning of pneumatic tubes were analyzed. The aspect of safety and reliability of tubes as well as the most common causes of damage to these elements of control systems are presented.

**Key words:** Compressed air, Pneumatic tubing, Safety and reliability of pneumatic tubes

### 1. УВОД

Транспорт ваздуха под притиском, до свих компонената којима је потребан, врши се цевима и цревима. Главни водови за транспорт ваздуха под притиском су обично цеви, сем код веома малих система као што су занатске радионице, лабораторије, вулканизерске радионице итд. Транспорт ваздуха под притиском на машинама и осталим технолошким системима се, углавном, врши цревима, осим у случајевима када

су потребни изузетно велики протоци које постојећа црева не могу да задовоље или када су у питању изразито велике машине. У тим случајевима се може користити комбинација цеви и црева. Транспорт ваздуха под притиском цевима је, у научној и стручној литератури, приказан у значајном обиму. Међутим, нови цевоводи се праве релативно ретко (само при изградњи новог производног погона или реконструкцији постојећег), то јест обично након неколико десетина година од првобитне изградње система. У

овом раду је стављен акценат на пнеуматска црева на машинама и уређајима што је чешћи проблем који се јавља из следећих разлога:

- произвођачи машина и уређаја се скоро свакодневно баве избором одговарајућих црева, а
- након одређеног времена експлоатације неопходно је обнављати црева на постојећим машинама и уређајима, или због превентивног одржавања или поправки услед насталих кварова.

Пнеуматска црева се генерално, могу користити у две основне сврхе: пренос енергије и пренос информација. Поред тога, пнеуматска црева имају још једну битну улогу а то је да интегришу све компоненте у јединствен пнеуматски управљачки систем који треба да врши одређену функцију [1]. Начин те интеграције у знатној мери зависи од карактеристика радне машине/уређаја као и од услова окружења у којима раде.

Избор одговарајућих пнеуматских црева је сложен задатак јер на његов коначни исход утичу бројни фактори. У овом раду су приказане три карактеристике које имају најзначајнију улогу при избору ових елемената а то су: материјали од којих се праве, њихова структура, као и концепти њиховог позиционирања. Посебно су анализирани најчешћи узроци отказа ових елемената.

## 2. МАТЕРИЈАЛИ ЗА ПНЕУМАТСКА ЦРЕВА

Избору црева се најчешће не посвећује довољна пажња а она представљају значајан сегмент поузданог рада аутоматског пнеуматског система. При избору црева, треба имати у виду да се захтеви у погледу притиска, температуре, флексибилности и утицаја околине разликују од индустрије до индустрије. Пројектанти управљања често потцењују ризике који настају као последица погрешно одабраних црева.

### 2.1 МАТЕРИЈАЛИ ЦРЕВА ЗА ТРАНСПОРТ ВАЗДУХА ПОД ПРИТИСКОМ НА МАШИНАМА

Материјали од којих се праве пнеуматска црева морају бити способни да издрже сва негативна дејства околине у којој су инсталирана. У наставку је дат преглед најзначајнијих пластичних материјала који се користе за израду пнеуматских црева.

#### *Поливинилхлорид (Polyvinyl chloride - PVC)*

То је термопластични полимер, и као такав се може рециклирати и поново употребити, а тај циклус се може више пута поновити. Најчешће се користи за израду цеви различитих намена, првенствено зато што има нижу цену. У ограниченом броју примена, PVC се користи и у виду црева. На пример, Festo, као водећи светски произвођач, нуди само један тип црева од PVC-а (серија PCN) са само једном димензијом ( $d = 4 \text{ mm}$ ). Цеви и црева од PVC-а не кородирају и лако су доступни али се далеко чешће примењују за транспорт течности него за транспорт гасова. Основни разлог је подложност PVC-а експлозији при вишим притисцима који се могу јавити у пнеуматским системима, што представља ризик по здравље људи али и за безбедност машина/уређаја.

#### *Полиуретан (Polyurethane - PU)*

Овај пластични полимер је направљен комбинавањем диизоцијаната (TDI и MDI) и полиола. Због добре отпорности је један од најчешћих материјала за употребу. Производи се у великом броју варијација и за потребе пнеуматике се од њега праве једна од најчешће коришћених пнеуматских црева.

#### *Полиетилен (Polyethylene - PE)*

То је најчешћи тип потрошачке пластике, а између осталог се користи и за прављење пнеуматских црева. Припада групи термопластичних полимера. Одобрен је за употребу за паковања прехранбених производа у складу са директивом 2002/72/EC и FDA.

Полиетилен у себи нема бакра и PTFE, а у складу је са RoHS.

### **Полиетилен високе густине (Polyethylene High Density - PE-HD)**

У питању је, такође, термопластични полимер. Затезна чврстоћа му је изузетно висока и има велики однос чврстоће и густине, као и високу отпорност на удар и високу тачку топљења. У пнеуматским системима се користи у виду цеви са пречником  $D > 20 \text{ mm}$ .

### **Полиамид (Polyamide - PA)**

Полиамид је прво чисто синтетичко влакно. Јавља се у виду макромолекула са понављајућим јединицама повезаним амидним везама. Трговачки назив је Nylon®. Црева од полиамида испуњавају велики број захтева у пнеуматици, чак и за примене са повећаним опсегом притиска и температуре. Могу да издрже притиске до 20 bar.

### **Тефлон (Polytetrafluoroethylene - PTFE)**

Политетрафлуороетилен представља флуорополимер тетрафлуороетилена који има високе перформансе. Најпознатији трговачки назив на бази PTFE је Teflon®. Тефлон је нетоксичан, провидан, хемијски инертан, има велику хемијску отпорност и глатке је површине.

### **Перфлуороалкокси алкан (Perfluoroalkoxy Alkane - PFA)**

То су флуорополимери односно кополимери од тетрафлуоретилена ( $\text{C}_2\text{F}_4$ ) и перфлуороетера. Његова својства су слична својствима тефлона. У поређењу са тефлоном, PFA има боље својство нелепљивости, већу хемијску отпорност али мању отпорност на огреботине. Прозиран је и има побољшани проток, отпор пузању и топлотну стабилност близу или изнад PTFE-а. PFA црева су стабилна при високим температурама обраде, отпорна на прелине и напрезање са малим трењем, имају велику универзалну хемијску отпорност, веома су флексибилна и имају глатку површину.

### **Полипропилен (Polypropylene - PP)**

Најлакши је од свих термопласта који су данас доступни и, као и полиетилен,

плута по води. PP је једна од најнеутралнијих пластичних маса, има високу стабилност димензија, добру површинску тврдоћу, отпорност на киселине и хемикалије, високу отпорност на пуцање под температурним стресом, ниску стопу апсорпције воде, одличну компатибилност са врелом водом и са биљним уљима и лако се боји. Може се користити на вишим температурама и радним притисцима од полиетиленских цеви.

## **2.2 ПРИМЕНА ПЛАСТИЧНИХ ЦРЕВА ЗА ТРАНСПОРТ ВАЗДУХА ПОД ПРИТИСКОМ**

Пластични материјали за транспорт ваздуха под притиском морају да задовоље све услове у којима треба да раде ови системи. У складу са раније изложеним карактеристикама, у табели 1 је дат преглед пластичних материјала који се примењују за транспорт ваздуха под притиском са битним особинама.

За стандардне услове се примењују полиетиленски, полиуретански и полиамидни материјали. Полиетиленски материјали су погодни за широк спектар примена и нису скупи. Флексибилни су, лаки за монтажу и имају погодне радијусе савијања. Одликују се високом отпорношћу на абразију.

Полиуретански материјали имају максималну флексибилност, а полиамидни се одликују још и отпорношћу на повишене притиске и веће температурне опсеге. Неке верзије полиамидних црева могу да поднесу притиске и до 35 bar.

Посебно се, поред стандардних, уочавају следећи услови околине који захтевају нарочиту пажњу у погледу избора црева:

- појачано хемијско дејство, могућност хидролизе материјала црева и захтев за безбедост хране,
- услови повећаног статичког електрицитета,
- могућност појаве пламена и
- могућност прскања варница услед заваривања.



Табела 1. Карактеристике пластичних материјала за пнеуматска црева [2]

Особина	PU	PE	PA	PFA	PTFE
Радни медијум	Ваздух под притиском, вакуум, вода	Ваздух под притиском, вакуум, вода	Ваздух под притиском, вакуум, вода	Ваздух под притиском, вакуум, вода	Ваздух под притиском
Радна темп. [°C]	- 35 до + 60	- 30 до + 80	- 60 до + 100	- 20 до + 150	- 20 до + 150
Радни притисак [bar]	- 0,95 до 10	- 0,95 до 14	- 0,95 до 35	- 0,95 до 16	- 0,95 до 12
Отпорност на хемик.	+	++	+	+++	+++
Примена у индустрији хране	Може бити на листи FDA	Може бити, у посебним варијантама	-	+++	+++
Отпорност на хидролизу	++	+++	++	+++	+++
Ватро-отпорност	Може бити, у посебним варијантама	-	Може бити, у посебним варијантама	Да, у складу са UL 94	Да, у складу са UL 94
Без халогена	+++	+++	+++	-	-
Флексибилност	+++	++	++	+	+

**Услови појачаног хемијског дејства, хидролизе материјала и захтев за безбедост хране**

За специфичне услове рада се користе специјалне верзије PE, PU, PFA као и PTFE црева.

Специјалне верзије PE црева су отпорне на хемикалије за чишћење, усаглашене са FDA прописима за безбедност хране и нису скупе. Постоје специјалне верзије PU црева које су отпорне на хидролизу и погодне за апликације у чистим собама, подводне апликације и апликације у корозивним срединама и FDA су усаглашене.

PFA црева и PTFE црева намењена за ове услове су отпорна на хемикалије за чишћење, FDA усаглашена а могу да издрже температуре до 150°C и притиске до 16 bar. У комбинацији са одговарајућим прикључцима, остварују највиши степен корозивне отпорности (CRC 4) и отпорна су на агресивне киселине и алкалије.

**Услови где је могућа појава пламена**

У овим случајевима се примењују полиуретанска црева у посебној верзији,

то јест са заштитом од пламена. Треба да издрже услове у складу са стандардом DIN 5510-2.

**Услови где је могуће прскање варница од заваривања**

Примењују се полиуретанска и полиамидна црева у посебној верзији за заштиту од прскајућих варница. Минимална дебљина црева је 2 mm за све димензије црева за полиуретанска црева а постоје посебне верзије полиамидних црева за ове услове које имају двоструке зидове и захтевају посебне прикључке.

**Услови повећаног статичког електрицитета**

Примењују се полиуретанска црева у посебној антистатичкој верзији.

**3. СТРУКТУРА ПНЕУМАТСКИХ ЦРЕВА**

Уколико се разматра структура пнеуматских црева неопходно је водити рачуна о више различитих аспекта од којих су најзначајнији:

- пречник црева и дебљина,
- боја црева,

- геометријски облик црева и
- специфичност апликације црева и посебни услови примене.

### 3.1 ПРЕЧНИК ЦРЕВА

Пнеуматска црева се праве у одређеним стандардним димензијама, стандардизована према спољном или унутрашњем пречнику. При избору црева за конкретну апликацију, неопходно је имати у виду да неке варијанте црева није

могуће набавити у свим димензијама.

У табели 2 је приказана тржишна понуда димензија црева заједно са њиховим радијусима савијања и ознакама, на примеру једног типа стандардног црева направљеног од полиетилена.

Пречник цевовода се мора одредити тако да пад притиска не пређе одговарајућу вредност.

Табела 2. Најчешће димензије црева са радијусима савијања - Festo PLN црево [3]

Спољни пречник [mm]	Унутрашњи пречник [mm]	Минимални радијус савијања [mm]	Радијус савијања који не омета проток [mm]	Ознака
4	2,9	12	25	4x0,75
6	4	11	32	6x1
8	5,9	23	50	8x1,25
10	7	22	57	10x1,5
12	8,4	23	65	12x1,75
14	10	40	80	14x2
16	12	55	95	16x2

Пречник главног цевовода се одређује на основу потрошње и притиска ваздуха, дужине цевовода, дозвољеног пада притиска и броја елемената који стварају отпоре. Када је димензионисање црева у питању, препорука је да се користи вредност пада притиска  $\Delta p \leq 0,3 \text{ bar}$ .

### 3.2 БОЈЕ ПНЕУМАТСКИХ ЦРЕВА

Неопходно је да црева за транспорт ваздуха под притиском буду у одговарајућим бојама. Међутим, мора се истаћи да постоји више система за означавање инсталација бојама, то јест да нема глобалне стандардизације.

Поред тога, за неке примене је од интереса да црева буду провидна (*translucent tubing*). На пример, уколико је у питању систем ваздуха под притиском у коме постоји вероватноћа да се, у случају неправилног рада, у систему јави вода уместо ваздуха, прозирне цеви су неопходне и омогућавају визуелну детекцију појаве оваквог проблема, а самим тим и брзо реаговање.

### 3.3 ГЕОМЕТРИЈСКИ ОБЛИК ЦРЕВА

Пнеуматска црева се производе у три геометријска облика, те се тако разликују равна, спирална и двострука црева.

Равна црева су облик са далеко највећом фреквенцијом употребе. Производе се у распону спољашњег пречника од 2 до 16 mm, док неки произвођачи нуде и ове цеви пречника 22 и 28 mm. Равне цеви стандардног унутрашњег пречника производе се само у пречницима од 2 до 16 mm.

Спиралне цеви се производе у опсегу пречника од 4 до 12 mm и погодне су за снабдевање алата и млазница за дување.

Такође, за неке апликације је погодна структура са двоструким (упареним) равним цревима која се само мало раздвоје током уградње на разводник и цилиндар. Она значајно олакшавају и убрзавају уградњу управљачких система.

### 3.4 СТРУКТУРА ЦРЕВА ЗА ПОСЕБНЕ УСЛОВЕ РАДА

За неке специјалне примене, као што су услови рада при којима долази до прскања варница од заваривања и где црева могу бити краткотрајно изложена пламену, праве се посебне структуре црева са додатним спољним слојем који је отпоран на ове утицаје.

Поред тога, различити услови примене захтевају и различите структуре

цева па се она могу комбиновати са другим материјалима који им дају специјална својства или повећавају њихове стандардне перформансе.

#### 4. ПОЗИЦИОНИРАЊЕ ПНЕУМАТСКИХ ЦРЕВА

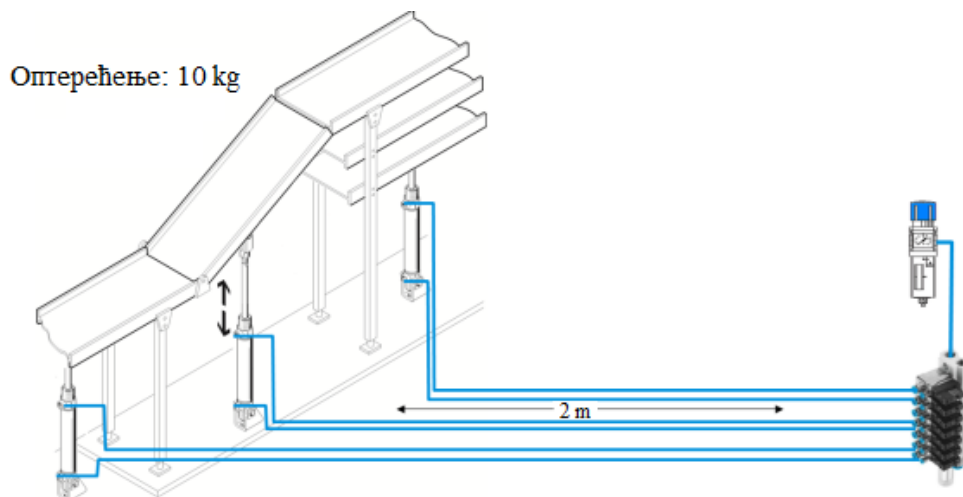
Позиционирање црева зависи првенствено од положаја командног разводника у односу на актуаторе као и од услова околине. Уколико су командни разводници централизовани, укупна дужина цеви као и укупна потрошња ваздуха под притиском значајно се повећавају.

Уколико је конструкционо изводљиво, блок централизованих разводника треба позиционирати што је могуће ближе

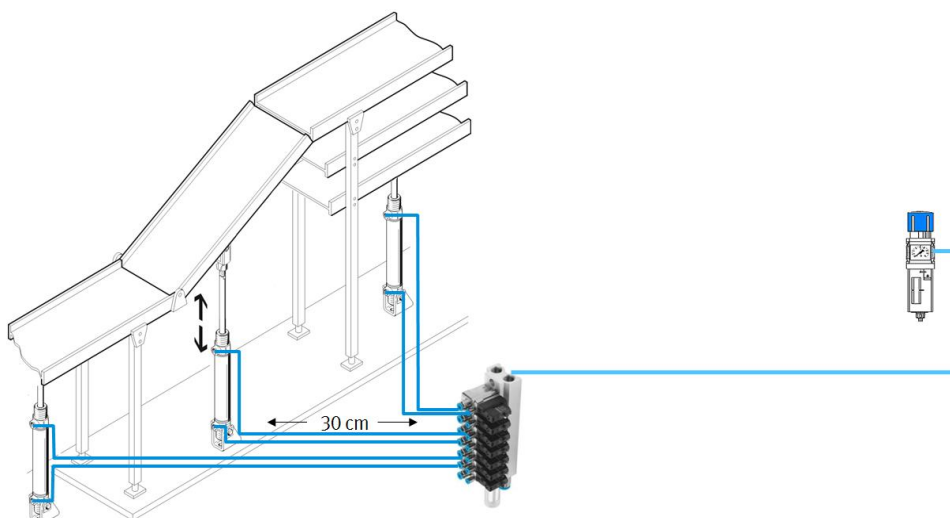
највећем броју актуатора. На тај начин се могу у значајној мери смањити и укупна дужина црева и потрошња ваздуха.

Уколико се, при свим осталим истим условима, упореде системи на сликама 1 и 2, и упросече дужине црева на дужину потребну за средњи актуатор, може се видети да је уштеда у дужини црева чак око 85%.

За разлику од централизованог концепта (слика 3), са децентрализованим концептом, разводници се постављају што ближе актуатору, чиме се постиже бољи одзив система и смањена потрошња ваздуха под притиском. Уколико је то могуће извести, најквалитетније пројектантско решење јесте да се сваки командни разводник постави директно на актуатор којим управља.



Слика 1. Командни разводници удаљени од актуатора [4]



Слика 2. Командни разводници позиционирани у близини актуатора [4]

Такође, може се појавити потреба за додатном заштитом цевних снопова због



Слика 3. Централизованани командни вентили са снопом црева

чега се они постављају у посебне цеви као што је приказано на слици 4.



Слика 4. Спровођење снопа црева кроз посебне цеви

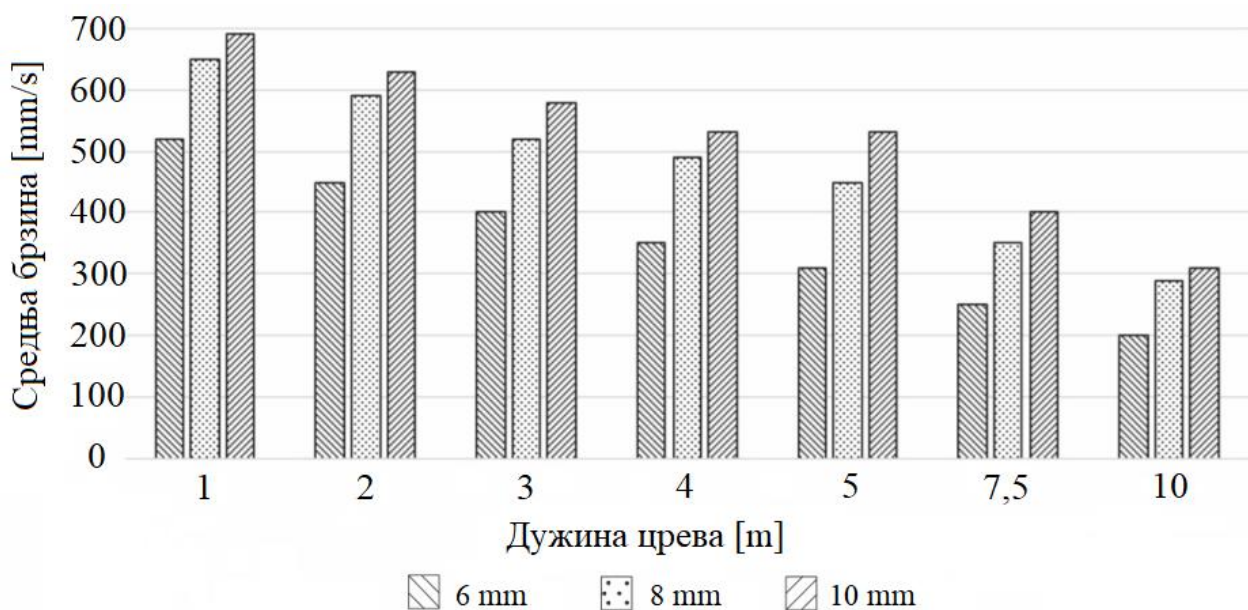
#### 4.1 ДУЖИНА И ПРЕЧНИК ЦРЕВА

Црево треба да буде у једном комаду, без настављања, дуго колико је потребно, а са друге стране, што је могуће краће, да не би било сувише лабаво и непотребно се увијало, или упадало у друге делове опреме. Уколико се одаберу премали пречници црева, као и сувише мали радијуси савијања, може доћи до смањивања протока чиме се смањује или брзина цилиндара или број обртаја мотора. На слици 5 је приказан утицај дужине црева и пречника црева на средњу брзину цилиндра.

Вредности су добијене испитивањем са следећим компонентама (Festo):

- стандардни цилиндар двосмерног дејства DNC 40-100,
- моностабилни вентил MVH-5-1/4,
- брзорастављиви прикључци QS-1/4-6, QS-1/4-8 и QS-1/4-10.

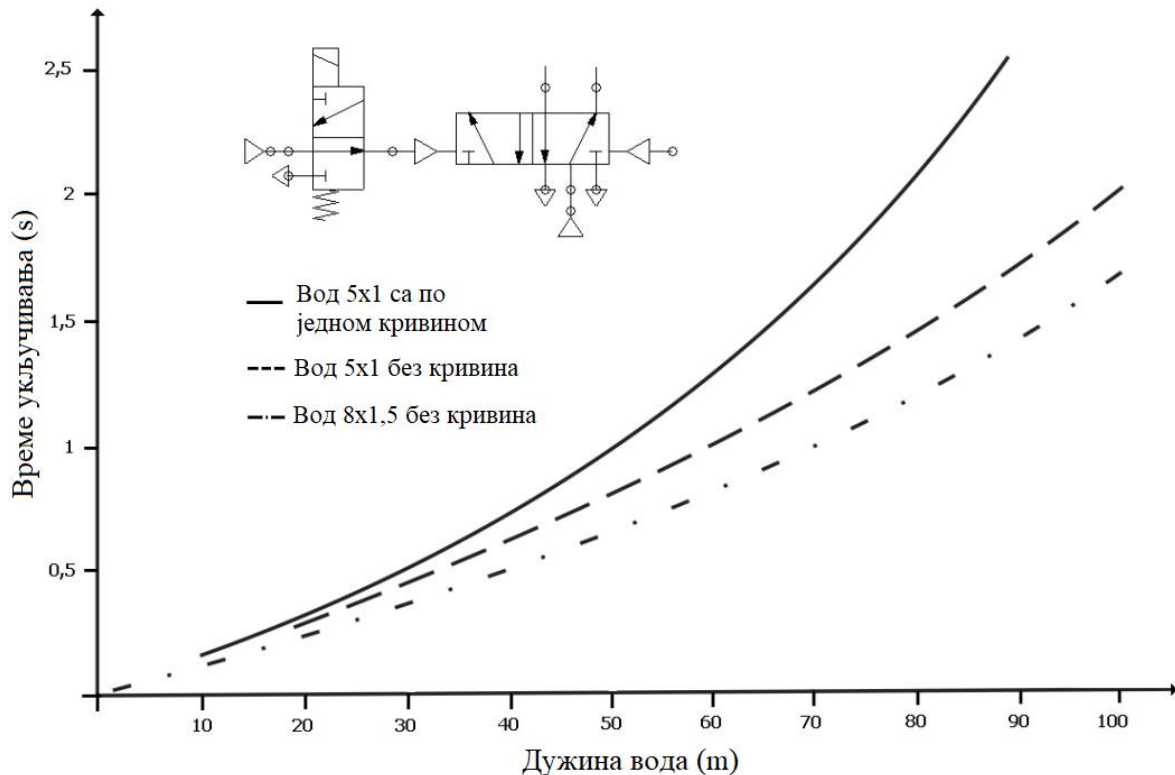
Уочава се зависност следећег типа: што је краће црево и што је већи његов пречник остварују се веће брзине. Тако је за исти цилиндар и вентил могуће остварити максималне брзине од само 200 mm/s до скоро 700 mm/s у зависности од пречника црева и његове дужине [1].



Слика 5. Утицај дужине црева и пречника црева на средњу брзину цилиндра [1]

## 4.2 ВРЕМЕ АКТИВИРАЊА

Време потребно за активирање функционалних елемената у склопу система управљања зависи од дужине цевовода, којим се врши напајање ваздухом под притиском и очитава се са одговарајућих дијаграма. Пример једног таквог дијаграма насталог на основу



Слика 6. Време одзива пнеуматског сигнала [1]

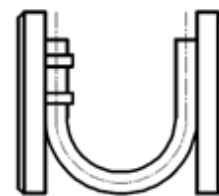
## 4.3 РАДИЈУСИ САВИЈАЊА

У табели 2 се може уочити да су дефинисана два радијуса савијања. Један је минимални који то црево може да трпи а да не дође до брзог оштећења док је други дефинисан као радијус савијања који не омета проток.

Уколико се жели поуздана и енергетски ефикасна апликација увек треба примењивати други радијус савијања као минимални дозвољени при инсталацији. Сваки произвођач црева за своје производе дефинише минимални радијус савијања јер, ако се он не узме у обзир, долази до стварања прелина, цурења и, на крају, до пуцања црева. Због тога произвођачи желе да овај податак буде познат како би се избегле рекламације. Овај радијус се одређује тако што се црево повеже на померљиву

практичних испитивања, за различите врсте црева и различите отпоре, дат је на слици 6. Ове вредности показују да, у начелу, не би требало користити пнеуматска црева за провођење сигнала са дугим водовима сем када је то неопходно (на пример, у зонама опасности од пожара и експлозија).

плочу, како је приказано на слици 7а. Плоча се приближава другом крају црева све док не дође до деформисања зида црева (набирање).



Слика 7а. Одређивање минималног радијуса савијања

Измерена вредност радијуса савијања, пре него што је дошло до ове деформације, проглашава се за минимални дозвољени радијус савијања ( $R_{min}$ ). Међутим, уколико се црева, при монтажи, савијају до овог радијуса, неће доћи до њиховог оштећења али ће доћи до знатне редукације протока. Због тога,



квалитетнији произвођачи дају и податак о минималном радијусу савијања ( $R_d$ ) који не омета проток. Он се одређује тако што се црево савије, како је приказано на слици 7б, све док не дође до 5% стањивања спољног пречника у правцу савијања.



Слика 7б. Одређивање радијуса савијања који не омета проток

Савијањем црева са применом радијуса  $R_d$  не долази до смањења протока што је веома значајно из аспекта повишења енергетске ефикасности.

## 5. БЕЗБЕДНОСТ И ПОУЗДАНО ФУНКЦИОНИСАЊЕ ЦРЕВА

Највећи број случајева оштећења црева може се приписати погрешном избору црева или његовог материјала. То може довести до губитка енергије, али и до дужих застоја у раду машина и опреме. Посебно је важно изабрати поуздано црево које неће подлећи деградацији током рада. Услови околине и радни медијум који се транспортује могу имати значајан утицај на животни век црева, те се на основу неких емпиријских вредности, препоручују следећи временски интервали коришћења пластичних црева [1]:

- за опште примене, очекивани век од најмање 10 година;
- за примене црева у безбедносним апликацијама препоручује се инспекција сваких годину дана;
- за апликације које имају утицај на материјал, инспекција се мора вршити на 6 месеци или највише пола периода у коме може да настане отказ црева.

Неки од најчешћих узрока цурења су:

- *Хабање пнеуматских елемената.* Уколико се у струји ваздуха под

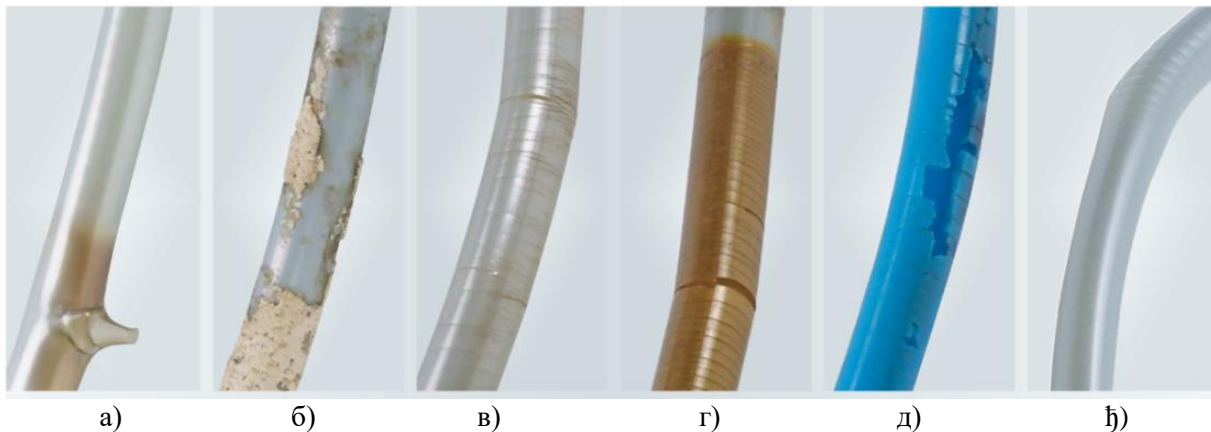
притиском налазе нечистоће то доводи до повећања хабања пнеуматских елемената. Уколико неки од елемената за припрему ваздуха под притиском не ради како треба, може доћи до убрзаног хабања пнеуматских компоненти и до цурења.

- *Превелик притисак и температура.* Због сувише великог притиска и/или температуре, црева убрзано пропадају и прво се појављује надувавање (слика 8ђ) због неадекватног притиска и температуре а затим се појављују отвори на њима (слика 8а).
- *Убрзано пропадање црева због вишка уља у систему.* Вишак уља у струји ваздуха под притиском се таложи и могу се створити наслаге сличне гуми на унутрашњим површинама пнеуматских компоненти, што негативно утиче на рад система и убрзава пропадање црева а доводи и до повећаног пада притиска.
- *Контаминација микроорганизмима.* Ако се у ваздуху под притиском појаве микроорганизми (слике 8б и д) може доћи до њиховог нагомилавања и лепљења на унутрашњим површинама црева која су касније подложнија оштећењима или до појаве хидролизе основног материјала црева (слика 8д).
- *Цевовод који није добро учвршћен.* Један од потенцијалних узрока цурења је лоше причвршћивање црева и цеви. Велике и нагле температурне промене, појачане вибрације или било који други разлог померања цеви и црева могу довести до појаве или повећања постојећег цурења.
- *Лоше постављене заптивке.* Уколико су на месту споја заптивке постављене на неодговарајући начин може доћи до цурења.
- *Лоше чишћење навојних спојева.* Током монтаже навојних спојева на цевоводима, дешава се да се они не очисте добро тако да се не оствари довољна заптивеност.
- *Абразија црева изазвана спољашњим*

узроцима. Уколико су црева изложена струји ваздуха са спољне стране у којој се налазе крупније честице, може доћи до цурења ваздуха.

- *Пропадање материјала црева.* Уколико је материјал црева неодговарајуће изабран за дате услове

околине (на пример, прскање варница од заваривања, прскања варница од кратког споја, пуцање због хемијски агресивне средине, итд.) може да дође до убрзаног пропадања и до цурења (слика 8в).



Слика 8. Примери различитих оштећења црева [3]

- *Изложеност директном сунчевом зрачењу.* Ако су црева изложена директном сунчевом зрачењу долази до губитка боје а затим и до пуцања због дејства UV зрака из сунчевог спектра (слика 8г).
- *Повећано напрезање црева на спојевима.* Ако је црево монтирано тако да је сувише дуго или кратко може да трпи повећана напрезања што доводи до напрснућа и цурења.

## 6. ЗАКЉУЧАК

Пнеумтска црева имају велики значај за интеграцију елемената пнеуматског управљачког система машина и уређаја. Лоше пројектовање, неодговарајући избор типа црева, неправилна инсталација и неодговарајуће одржавање доводе до успоравања сигнала, смањивања брзине актуатора, цурења ваздуха под притиском и, тиме, до смањења енергетске ефикасности система.

На основу разматрања и препорука датих у раду могуће је квалитетније пројектовати пнеуматски систем као и извршити ретрофит постојећих система

уколико у раду показују лоше карактеристике.

## 7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Šešlija, D., (2020), Имплементација аутоматизованих система. Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду.
- [2] Šešlija, D., Mladenović, V., Lazić Vulićević, Lj., (2022), Compressed air transport tubes: materials, structure, positioning and life cycle. 13. International Conference Life Cycle Engineering and Management, ICDQM, Prijedor.
- [3] Trends in Automation, No10, (2008), Festo AG, (приступљено 06.07.2022) [https://www.festo.com/rep/ko\\_kr/assets/pdf/KR\\_Trend\\_No10.pdf](https://www.festo.com/rep/ko_kr/assets/pdf/KR_Trend_No10.pdf).
- [4] Unan, L., (2012), Energy saving in pneumatic systems, Festo Didactic. GmbH & Co. KG.

Адреса аутора: Младеновић Валентина, Висока техничка школа струковних студија у Зрењанину, Ђорђа Стратимировића 23  
е-маил: valentina.mladenovic@vts-zr.edu.rs  
Рад примљен: јул 2022.  
Рад прихваћен: септембар 2022.

# НУМЕРИЧКИ ПРОРАЧУН ЧВРСТОЋЕ ВОЋИЦЕ ОСОВИНСКОГ СКЛОПА

## NUMERICAL CALCULATION OF STRENGTH OF GUIDE WHEELSET

БРАНИСЛАВ МИЛЕНКОВИЋ<sup>1</sup>

МЛАДЕН КРСТИЋ<sup>2</sup>

БОРЋЕ ЈОВАНОВИЋ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Факултет примењених наука у Нишу

<sup>2</sup>Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву

<sup>3</sup>Математички институт САНУ

### РЕЗИМЕ

Овај рад приказује методологију прорачуна чврстоће вођице осовинског склопа железничких возила. Анализа напонско-деформационог стања и статичког степена сигурности вођице извршена је применом методе коначних елемената у софтверском пакету ANSYS.

**Кључне речи:** вођица, осовински склоп, чврстоћа

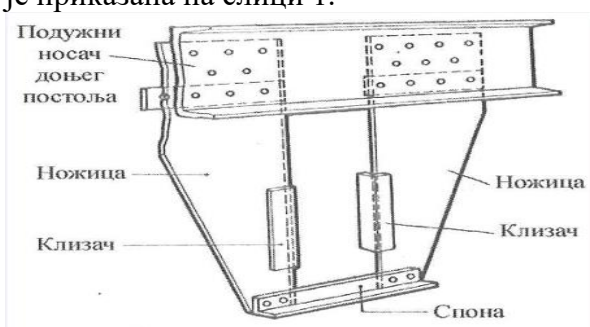
### ABSTRACT

This paper presents a methodology for calculating strength of railway vehicles guide wheelset. Analysis of stress-strain and static safety factor of wheelset was performed using the finite element method in the software package ANSYS.

**Key words:** guide, wheelset, strength

### 1. УВОД

Најважнији конструктивни елемент трчећег строја без обртних постоља је вођица осовинског склопа, тзв. шера, која је приказана на слици 1.



Слика 1. Вођица “шера” осовинског склопа

Вођење осовинског склопа постиже се међудејством (интеракцијом) вођица и кућишта лежишта осовинског склопа.

При прорачуну се проверава услов који прописује крутост вођице  $C_v=12-15$   $kN/cm$ , при чему угиб без прекорачења границе еластичности мора износити минимално 15  $mm$ , а не сме прекорачити границу од 22  $mm$ .

Све крутости и угиби важе за нападну тачку попречне силе на 70  $mm$  изнад положаја осе осовинског склопа празног вагона. Прописане вредности се односе на пар вођица једног кућишта, укључујући и деформације носеће структуре за коју су причвршћене.



У уздужном правцу сваки крак вођица, као и њихова веза са носећом структуром мора да издржи силу од најмање  $50\text{ kN}$  која делује на  $70\text{ mm}$  изнад положаја осе осовинског склопа када је вагон празан. На основу ових услова дефинишу се два карактеристична случаја оптерећења вођице.

На основу ових услова које морају испунити, дефинишу се следећа два случаја оптерећења вођице:

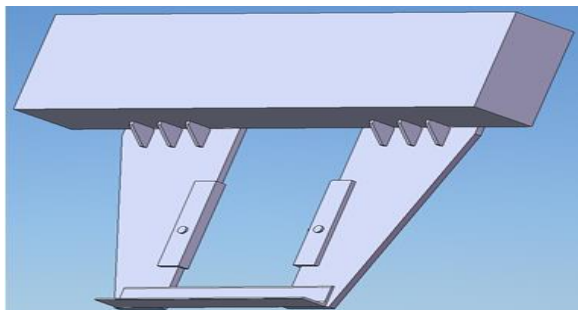
Случај 1 – бочно оптерећење (провера попречног угиба и напонско-деформационог стања вођице при дејству бочне силе чија је нападна тачка на  $70\text{ mm}$  изнад положаја осе осовинског склопа празног вагона)

Случај 2 – подужно оптерећење (провера напонско-деформационог стања вођице при дејству подужне силе интензитета  $50\text{ kN}$  чија је нападна тачка на  $70\text{ mm}$  изнад положаја осе осовинског склопа празног вагона)

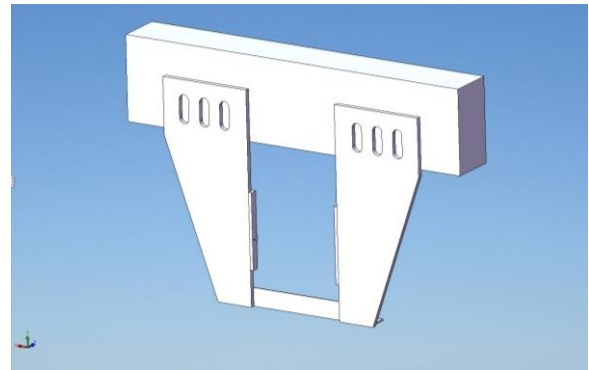
## 2. МОДЕЛИРАЊЕ ВОЂИЦЕ

Тродимензионално моделирање склопа вођице извршено је у програмском пакету „SolidWorks”. Основу за израду 3Д модела представљала је техничка и радионичка документација вођице са свим конструктивним детаљима.

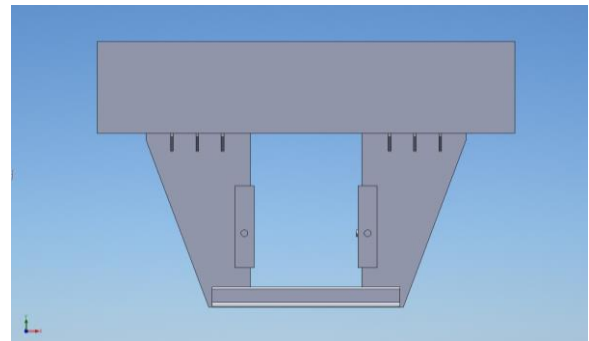
Изглед модела и основни конструкциони елементи приказани су на сликама 2-5.



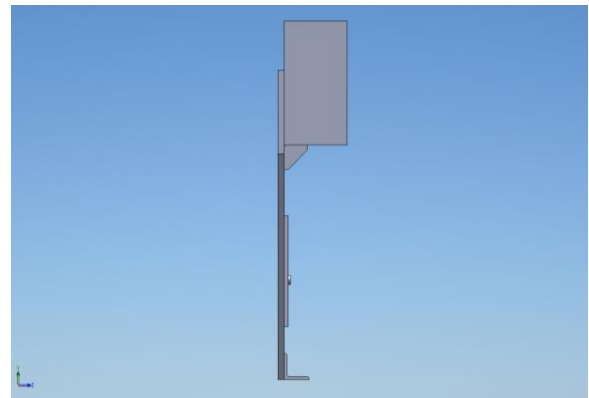
Слика 2. Тродимензионална геометрија вођице – предња страна



Слика 3. Тродимензионална геометрија вођице – задња страна



Слика 4. Тродимензионална геометрија вођице – поглед са предње стране



Слика 5. Тродимензионална геометрија вођице – поглед са бочне стране

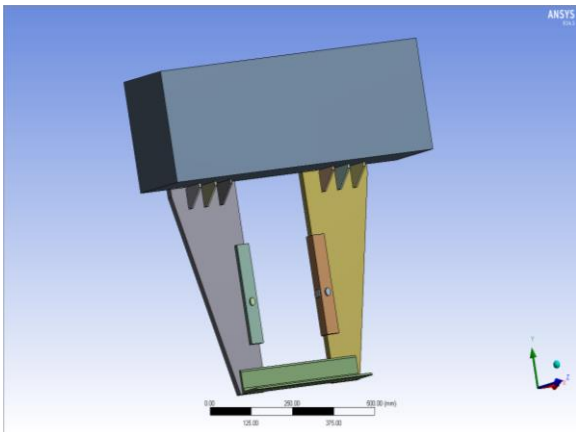
## 3. ПРОРАЧУН ВОЂИЦЕ

За прорачун вођице применом методе коначних елемената коришћен је софтверски пакет ANSYS 12. Као што је већ речено, циљ прорачуна је провера угиба и напонско-деформационих стања вођице за два случаја оптерећења која проистичу из UIC стандарда. Другачије речено, прорачуном треба проверити да ли постојеће вођице датог троосовинског

вагона за превоз аутомобила типа DDam задовољавају дефинисане захтеве прописа UIC 517.

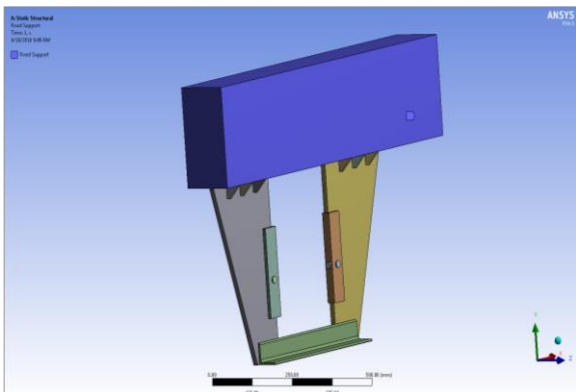
У првом кораку, извршен је увоз тродимензионалне геометрије вођице формиране у програмском пакету SolidWorks у програмски пакет ANSYS 12.

Изглед увежене геометрије у програмски пакет ANSYS приказан је на слици 6.

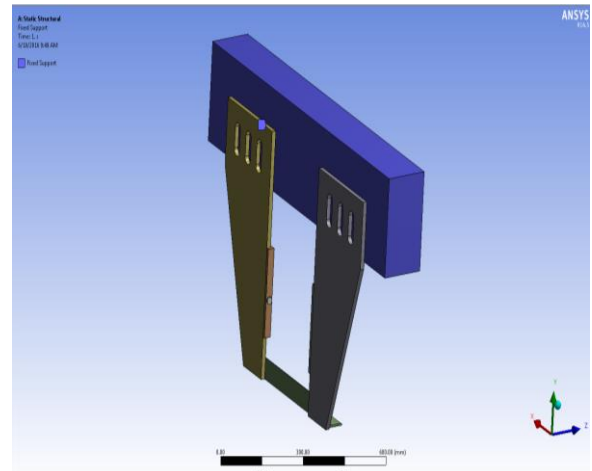


Слика 7. Тродимензионална геометрија вођице у програмском пакету ANSYS – изометрија 1

У наредном кораку, у програмском пакету ANSYS задати су параметри материјала вођице. Затим су дефинисана места ослањања која су приказана на сликама 8 и 9.



Слика 8. Места ослањања – поглед са предње стране

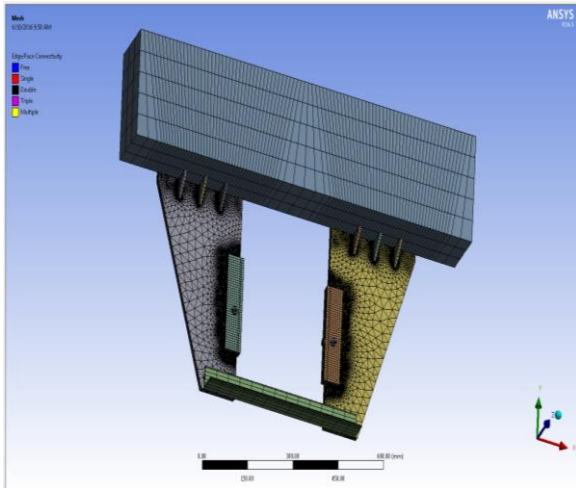


Слика 9. Места ослањања – поглед са задње стране

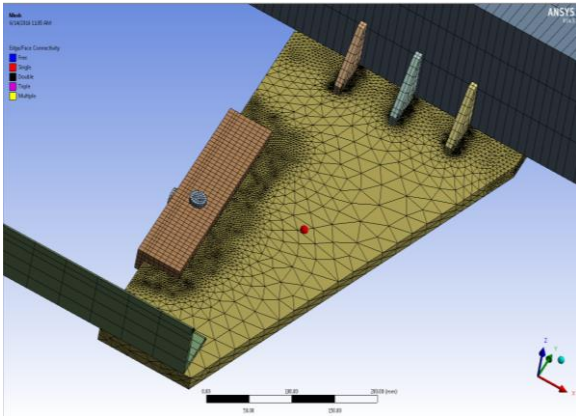
Према наведеном пропису UIC 517, услови које морају испунити вођице укључују и деформације носеће структуре за коју су причвршћене. Међутим, имајући у виду сложеност таквог модела, у оквиру овог рада извршена је апроксимација која подразумева да је елемент за који су фиксиране вођице апсолутно непокретан, односно фиксирана су сва његова померања. Оваква апроксимација знатно поједностављује модел, а истовремено је на страни сигурности.

Након дефинисања ослонаца извршена је дискретизација и формирање мреже коначних елемената. У првом кораку, за просторну дискретитацију и генерисање мреже коначних елемената коришћен је аутоматски модул за генерисање мреже. У наредним корацима извршено је "уситњавање" мреже у регионима и на местима контакта појединих елемената вођице. Формирани дискретизовани модел склопа вођице састоји се од 199295 чворова и 89953 коначних елемената. Модел је у највећој мери састављен од троугаоних и четвороугаоних коначних елемената типа плоче.

Модел је приказан на доњим сликама 10-11.

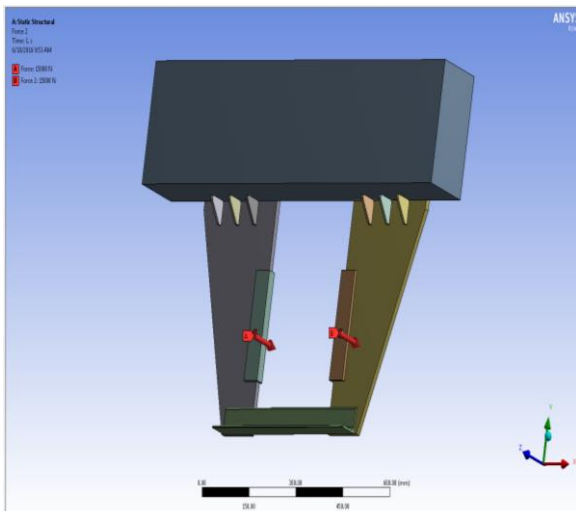


Слика 10. Дискретизован модел

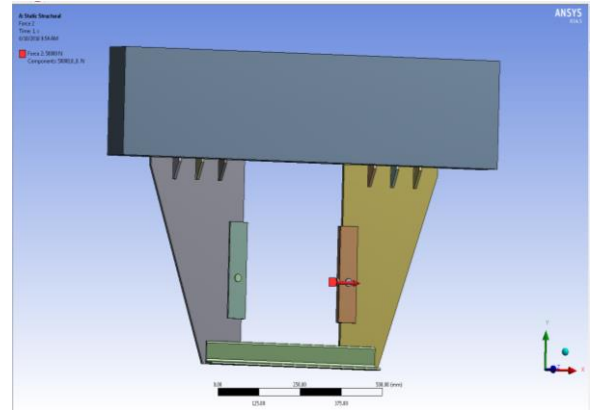


Слика 11. Дискретизован модел – детаљ ножице

Након дискретизације модела задати су случајеви оптерећења.

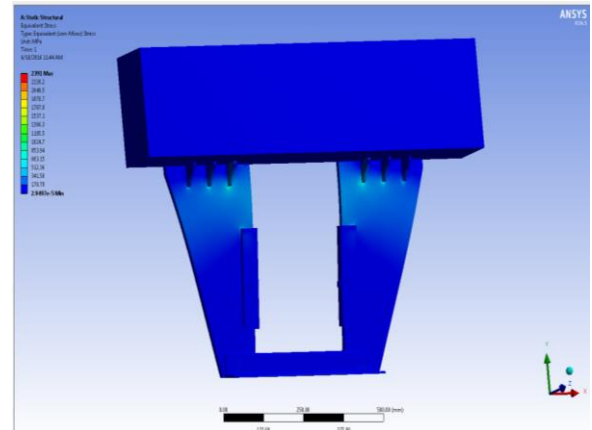


Слика 12. I случај оптерећења

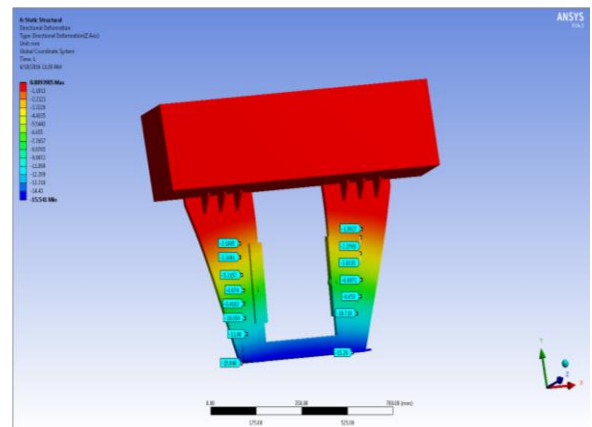


Слика 13. II случај оптерећења

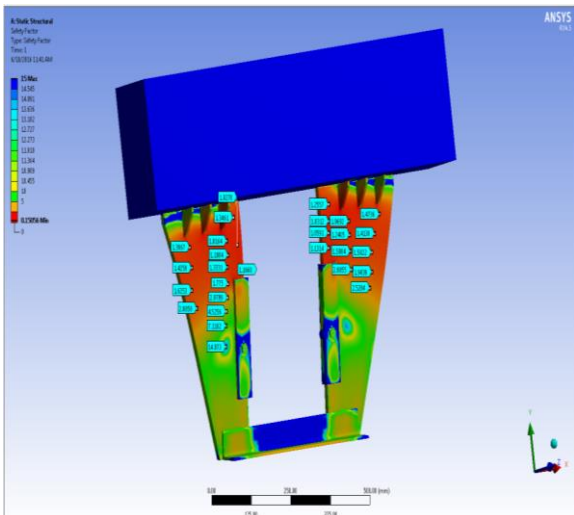
Преглед добијених резултата приказани су на следећим сликама 14-19.



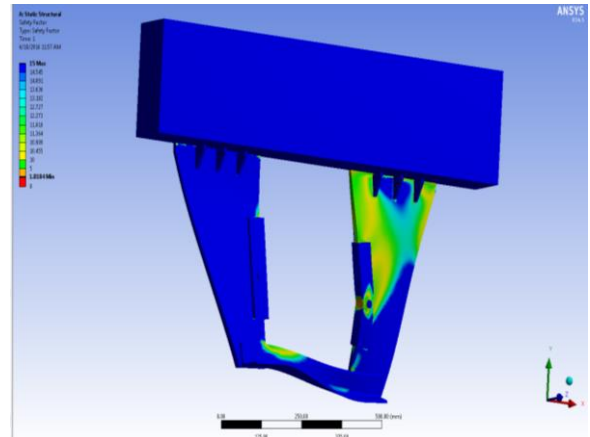
Слика 14. Приказ добијених еквивалентних напона - I случај оптерећења-поглед са предње стране



Слика 15. Приказ добијених угиба-правац осе z-поглед са предње стране (нумеричке вредности)



Слика 16. Преглед степена сигурности-поглед са предње стране (нумеричке вредности)



Слика 19. Преглед степена сигурности-поглед са предње стране

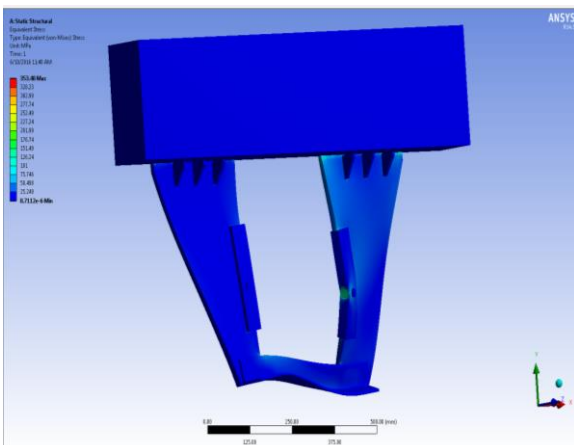
#### 4. ЗАКЉУЧАК

На основу резултата прорачуна добијених применом методе коначних елемената (МКЕ) не може се извести поуздан закључак о стању анализирани конструкције вођице осовинског склопа. Код првог случаја оптерећења, у неколико веома малих изолованих зона, за задати минимални угиб вођице од 15 mm, напони се налазе на самој граници или незнатно прелазе дозвољене напоне. Важно је нагласити да се све ово дешава при вредности задате бочне силе од 30 kN.

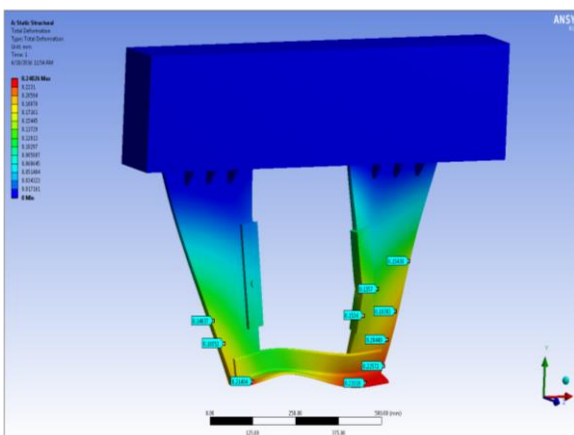
Имајући у виду одређене несавршености методе коначних елемената као једне нумеричке методе која може имати извесних грешака у добијеним резултатима, намеће се потреба за експерименталним испитивањем вођице. Оно ће недвосмислено довести до поузданог закључка о стању анализирани конструкције вођице, као и до закључка о веродостојности развијеног МКЕ модела и његових резултата.

#### 5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Драган Петровић, В. Александров, Железничка возила-основе, Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву, Краљево, 2013.
- [2] <https://www.ansys.com/>



Слика 17. Еквивалентни напони-II случај оптерећења



Слика 18. Приказ добијених угиба-поглед са предње стране (нумеричке вредности)

---

Адреса аутора: Миленковић Бранислав, мастер  
инжењер машинства, Факултет примењених наука,  
Ниш, Душана Поповића 22а  
е-маил: [bmilenkovic@fpm.rs](mailto:bmilenkovic@fpm.rs)  
Рад примљен: јул 2022.  
Рад прихваћен: септембар 2022.

# АНАЛИЗА РИЗИКА ЕКОСИСТЕМА LFS 3D ШТАМПАЧА

## *RISK ANALYSIS OF LFS 3D PRINTER ECOSYSTEM*

ВАЛЕНТИНА МЛАДЕНОВИЋ<sup>1</sup>  
ДУШАН ЈОВАНИЋ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Висока техничка школа струковних студија у Зрењанину

### РЕЗИМЕ

Аддитивна производња у виду 3D штампе, која се заснива на гами различитих технологија, идентификована је као један од стубова Индустрије 4.0. Као такву неопходно ју је истраживати из различитих аспеката а посебно из аспекта безбедности по руковоаоца и животну средину.

У раду је приказана анализа ризика екосистема који се састоји од LFS 3D штампача, уређаја за испирање одштампаног дела као и уређаја за његово очвршћавање под дејством UV зрака. Описане су техничке карактеристике екосистема LFS 3D штампача, идентификоване су потенцијалне опасности и штетности, као и неопходна средства личне заштите и процедура безбедног рада, а потом је приказана анализа задатака, опасности, узрока и превентивних мера.

Резултати ове анализе су потребан и довољан улаз за каснију процену ризика радног места: руковалац екосистемом LFS 3D штампача.

**Кључне речи:** Анализа ризика, опасности и штетности, 3D штампа стереолитографијом уз примену малих сила

### ABSTRACT

Additive manufacturing in the form of 3D printing, which is based on a range of different technologies, has been identified as one of the pillars of the Industry 4.0. As such, it is necessary to research it from various aspects, especially from the aspect of safety for its operator and the environment.

The paper presents risk analysis for an ecosystem consisting of LFS 3D printer, a device for printed part washing as well as device for its hardening under the UV rays. The technical characteristics of LFS 3D printer ecosystem are described, potential dangers and harms were identified, as well as necessary means of personal protection and safe work procedures, and then the analysis of tasks, dangers, causes and preventive measures is presented.

The results of this analysis are necessary and sufficient input for later assessment of workplace risk for the LFS 3D printer ecosystem operator.

**Key words:** Risk analysis, Hazards and harms, Low Force Stereolithography 3D printing

## 1. УВОД

У последње четири деценије адитивна производња заснована на различитим технологијама 3D штампе [1, 2] прелази интензиван развојни пут. Најзначајнији узроци тог развоја јесу следеће чињенице [3, 4]:

- ове технологије омогућавају израду појединачних делова изузетно комплексног дизајна као и изузетно високо прилагођавање потребама корисника;
- адитивна производња не захтева израду посебних (и по правилу скупих) алата;
- губици материјала су минимални или их нема, а потрошња електричне енергије је изузетно ниска.

На значај и позицију коју ова врста производње све више заузима указује, између осталог, и чињеница да је она препозната као један од камена – темељаца Индустрије 4.0 [5]. Такође, предвиђања релевантних стручњака говоре да ће глобално тржиште засновано на 3D штампи, у периоду од 2022. до 2030., експандирати са сложеном годишњом стопом раста (*compound annual growth rate - CAGR*) од 20,8% [6].

Истраживања показују да је од свих тренутно актуелних технологија 3D штампе најзаступљенија технологија заснована на фотополимеризацији којој припада и производња применом стереолитографије (*Stereolithography - SLA*) [1].

Имајући у виду апострофиране аспекте може се аргументовано закључити да је анализа ризика машина и опреме по здравље руковалаца које се, са припадајућим материјалима, користе у различитим технологијама 3D штампе, а посебно у најфреквентније коришћеној технологији – неопходна.

У раду је, поред основног осврта на значајне аспекте анализе ризика као и на појам екосистема LFS 3D штампача и његову структуру, стављен акценат на

комплетну анализу ризика конкретног екосистема LFS 3D штампача.

## 2. АНАЛИЗА РИЗИКА

Основа за спровођење процедуре анализе ризика машина и опреме су два документа:

- „Правилник о начину и поступку процене ризика на радном месту и у радној околини“ чија је најновија верзија објављена 2015. године [7], а у коме се кроз 22 члана даје оквир за процену ризика. Документ у члану 8 даје листу опасности, а у члану 9 листу штетности (заједно 39 ставки), и оне су груписане у зависности од њихове врсте и природе настанка.
- „Списак српских стандарда из области безбедности машина“ чија је најновија верзија објављена почетком 2020. године [8]. Овај документ кроз 807 стандарда, А, Б и Ц типа, даје опште принципе за безбедност машина, пројектовање, оцену ризика и смањење ризика.

У члану 10 наведеног Правилника је дефинисано: „Процена ризика заснива се на анализи вероватноће настанка и тежине могуће повреде на раду, оштећења здравља или обољења запосленог у вези са радом проузрокованих на радном месту и у радној околини“ [7]. Да би се успешно извршила процена ризика неопходно је прво спровести фазу анализе ризика што је и у фокусу овог рада.

Основни елементи анализе ризика су:

- уводне информације (машина, произвођач, распон употребе, намена, технички подаци),
- идентификовање карактеристичних опасности и штетности,
- дефинисање неопходних мера личне заштите,
- опис процедуре за безбедан рад,
- анализа задатака, опасности, узрока и превентивних мера при



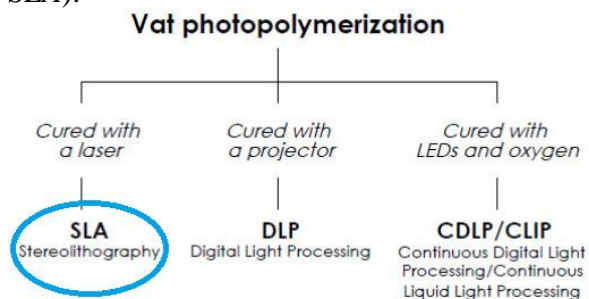
руковању посматраном машином или опремом.

На основу увида у „Списак српских стандарда из области безбедности машина“ [8] се може закључити да у њему нема дефинисаних стандарда за област адитивне производње то јест 3D штампе.

### 3. ЕКОСИСТЕМ LFS 3D ШТАМПАЧА

#### 3.1 3D ШТАМПА СТЕРЕОЛИТОГРАФИЈОМ УЗ ПРИМЕНУ МАЛИХ СИЛА (LFS)

Седамдесетих година прошлог века Хидео Кодама (*Hideo Kodama*) је изумео и 1980. године патентирао али није никад комерцијализовао, метод познат под називом ват фотополимеризација то јест фотополимеризација у комори (*Vat Photopolymerization*) [9]. На овој методи су засноване различите технологије 3D штампе (слика 1) међу којима је и технологија позната под називом стереолитографија (*Stereolithography - SLA*).



Слика 1. Технологије 3D штампе методом фотополимеризације у комори [9]

Она се заснива на процесу током ког се течна фотореактивна полимерна смола стврдњава под дејством ласерског зрака у танке везане слојеве [10, 2, 9].

На бази ове технологије је Чак Хал (*Chuck Hull*) пројектовао, патентирао [11] а потом и комерцијализовао први 3D штампач средином осамдесетих година прошлог века [2, 9] који је био намењен за адитивну производњу прототипова и објеката.

Сматра се да је технологија 3D штампе стереолитографијом уз примену

малих сила (eng. *Low Force Stereolithography - LFS*) усавршени наследник SLA технологије [12]. У овом случају, у конструкцији се користи флексибилни резервоар (*tank*) и линеарно осветљавање ласерским зраком који трансформише, то јест везује, течну фотополимерну смолу, слој по слој, у нове делове. Што је резервоар флексибилнији, то је нижа сила. Дугорочно, ово не само да обезбеђује квалитетније отиске већ је и поузданост ових 3D штампача већа. Такође, ови штампачи омогућавају касније знатно лакше уклањање материјала који служи као подршка (*support material*) на оним местима на којима би, због дејства гравитације, део губио своју структуру.

#### 3.2 ЕЛЕМЕНТИ ЕКОСИСТЕМА LFS 3D ШТАМПАЧА

Конвенционална анализа ризика подразумева анализу једне машине из свих аспеката карактеристичних за ову проблематику. Међутим, уколико се сагледа принцип рада SLA, па тако и LFS 3D штампача, могуће је уочити да се производни процес завршава тек када је одштампани део прошао фазу „испирања“ (прања) и очвршћавања. Како уређаји за „испирање“ и очвршћавање, који носе и заједнички назив „опрема за пост-процесирање“, представљају неодвојиви део процеса SLA 3D штампе они се у пракси посматрају као јединствени систем. Због тога се за тај сет машине и два уређаја користи назив *екосистем* [13, 5], што је дуго био назив који се користио искључиво у областима биологије и екологије, док је у новије време нашао своје значајно место у области предузетништва, а последњих година се интензивно користи и у области 3D штампе.

Након завршеног штампања део се скида са плоче штампача, испира у комори са изопропил алкохолом и потом додатно очвршћава у одговарајућој комори. Затим се уклања подршка уколико је део имао такву геометрију да



је подршка била неопходна. Могуће је и додатно пост-процесирање у виду фарбања и лакирања којим се овај рад не бави.

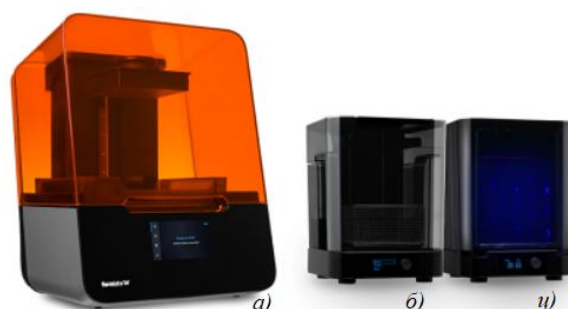
Неопходно је истаћи да се под комплетним екосистемом 3D штампача сматра комбинација наведеног хардвера и одговарајућих софтвера, али како софтвери немају материјални карактер, анализа ризика је спроведена само на хардверском делу екосистема.

#### 4. АНАЛИЗА РИЗИКА РУКОВАЊА ЕКОСИСТЕМОМ LFS 3D ШТАМПАЧА

У овом раду је као квалитетан пример екосистема LFS 3D штампача анализиран екосистем познатог америчког произвођача *Formlabs* који се састоји из следећих елемената:

- 3D штампач *FORM 3+* (слика 2а),
- *FORM Wash* – уређај за испирање одштампаног дела (слика 2б) и
- *FORM Cure* - комора за очвршћавање и додатну

стабилизацију одштампаних делова под дејством UV зрака (слика 2ц).



Слика 2. Екосистем LFS FORM 3+ штампача [14]

#### 4.1 ТЕХНИЧКА СПЕЦИФИКАЦИЈА ЕКОСИСТЕМА LFS FORM 3+ 3D ШТАМПАЧА

Уређај се употребљава за индивидуалну (хоби) и професионалну производњу тродимензионалних објеката мањих димензија. У табели 1 су дате најзначајније техничке карактеристике екосистема анализираног 3D штампача.

Табела 1. Техничке карактеристике екосистема LFS 3D штампача FORM 3+ [15, 16, 17]

3D штампач FORM 3+	
Маса	17,2 kg
Препоручена температура околине	до 35 °C
Запремина расположива за штампање (максималне димензије дела)	145×145×185 mm
Карактеристике напајања	100 - 240 V ~ 2,5 A 50/60 Hz 220 W
Violet ласер*	Ласерски производ класе 1** таласна дужина 405 nm*** снага 250 mW диаметар тачке 85 μm

\*Напомена: овај штампач располаже једним ласером, а робуснији штампачи истог произвођача их имају по два [14, 15].

\*\*Напомена: Ласерски производ класе 1 је уређај који је у складу са ласерским безбедносним стандардима Међународне електротехничке комисије (*International Electrotechnical Commission - IEC*). Ласерски производи класе 1 садрже моћније ласере више класе који морају бити затворени да би били безбедни за руковоаоце машином/уређајем [18].

\*\*\*Напомена: Таласна дужина овог Violet ласера се налази у доњем сегменту видљивог дела спектра чији је опсег 380 – 740 nm [19].

**Табела 1.** (наставак)

<b>FORM Cure</b>	
Маса	5,6 kg
Карактеристике напајања	100 - 240 V ~ 6,0 A 50/60 Hz 144 W
Диаметар обртног постоља	193 mm
Висина дела	185 mm
Интензитет емисије звука	≤ 70 dB
Препоручена температура околине	18 - 28 °C
Максимална температура у комори	80 °C
Светлосни извор	13 вишесмерних LED ( <i>Light-emitting Diode</i> ) таласна дужина 405 nm
<b>FORM Wash</b>	
Маса	6,7 kg
Карактеристике напајања	100 - 240 V ~ 2,0 A 50/60 Hz 50 W
Максималне димензије дела	145 × 145 × 175 mm
Запремина контејнера за изопропил алкохол	8,6 l
Интензитет емисије звука	≤ 70 dB
Препоручена температура околине	18 - 28 °C

## 4.2 ИДЕНТИФИКОВАНЕ ОПАСНОСТИ И ШТЕТНОСТИ

Анализом техничке документације која прати посматрани екосистем [15, 16, 17] препознате су следеће потенцијалне опасности и штетности:

- а) Механичке опасности које се појављују коришћењем опреме за рад (недовољна безбедност због ротирајућих и покретних делова, слободно кретање делова и материјала):
- опасност од покретних делова машине. Забрањено је подизати провидни штитник зоне штампања током рада 3D штампача.
  - Опасност од посекотина (*cutting hazard*) због употребе оштрих алата. Алати који се користе током рада у овом екосистему су: алат за одвајање одштампаних делова са платформе, сечице (цвик-цангле), шпакла и пинцета (слика 3).

- Опасност од повреде очију и/или коже због малих летећих делова који настају приликом одстрањивања подршке сечицама.
- б) Опасности које се појављују коришћењем електричне енергије:
  - опасности од директног додира.
  - Опасности од индиректног додира
  - в) Хемијске штетности, прашина и димови:
    - опасност од тровања, иритације и/или алергијске реакције коже због удисања и/или додира са фотополимерном епоксидном смолом.
    - Опасности од удисања штетних гасова и испарења при коришћењу уређаја за испирање одштампаног дела.
    - г) Физичке штетности (зрачења, бука):
      - опасност од излагања светлосном ласерском зраку који је штетан за очи.

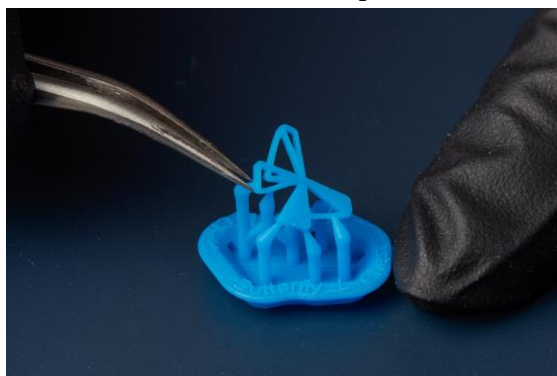
- Опасности од UV зрачења при коришћењу FORM Cure коморе за очвршћавање одштампаног дела.
  - Топлотно зрачење.
  - Бука.
- д) Коришћење опасних средстава за рад, која могу произвести експлозије или пожар:
- опасност од пожара. Изопропил алкохол (изопропанол, скраћено IPA, хемијска формула C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O) који се користи за испирање одштампаног дела је безбојна, запаљива хемикалија јаког мириса.



Слика 3а. Алат за одвајање одштампаног дела са платформе



Слика 3б. Уклањање подршке сечицама




Слика 3ц. Уклањање подршке пинцетом

ђ) Штетности које настају коришћењем опасних материја:

- опасност од изливања епоксидне смоле (*spill hazard*). Смола се може прелити преко зидова резервоара уколико се резервоар за смолу нагне више од 10°.
- Опасности од резина и изопропил алкохола.

#### 4.3 НЕОПХОДНА СРЕДСТВА ЛИЧНЕ ЗАШТИТЕ ПРИ РУКОВАЊУ ЕКОСИТЕМОМ FORM 3+

На основу пратеће техничке документације посматраног екосистема LFS 3D штампача [15, 16, 17] и анализе опасности и штетности идентификована су четири средства личне заштите која су неопходна приликом руковања овим екосистемом (слика 4):

			
Заштитне рукавице	Маска за лице	Заштита за очи	Обавезна употреба вентилације
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Слика 4. Идентификована неопходна средства личне заштите

Три средства личне заштите непосредно на себи носи руковалац екосистемом, а четврто средство, то јест вентилацију, би требало да обавезно укључује током рада. Рукавице које се препоручују, посебно за рад са *FORM Wash* – уређајем, су без пудера, хемијски отпорне и једнократне, од нитрила или неопрена [17].

#### 4.4 ПРОЦЕДУРА БЕЗБЕДНОГ РАДА

Процедура дефинише обавезне поступке у три временске зоне: пре рада, током рада и након рада на екосистему 3D штампача *FORM 3+* [15, 16, 17].

*Пре рада:*

- припремити сва заштитна средства (рукавице и маска за лице, као и заштитне наочаре које се користе при скидању готовог дела),
- идентификовати и проверити да ли су исправни прекидач за

- укључивање/искључивање уређаја и СТОП прекидач за случај опасности,
- проверити да ли је извор струје исправан,
- проверити да ли је 3D штампач стабилан (од превртања),
- укључити вентилацију,
- сипати резин у танк уз употребу рукавица и заштитне маске.

*Током рада:*

- удаљити се од штампача,
- уколико се борави у просторији док штампач ради користити заштитну маску,
- искључити штампач, отворити га и скинути део помоћу адекватног алата користећи рукавице, маску и заштиту за очи,
- након завршеног штампања скинути део помоћу одговарајућег алата и при томе користити заштитне рукавице,
- поставити део у *FORM Cure* уређај да очврсне под дејством UV зрака,
- сипати изопропил алкохол у *FORM Wash* – уређај за испирање

одштампаног дела уз употребу заштитних рукавица,

- уклонити подршку помоћу сечица уз употребу заштитних рукавица и наочара.

*Након рада:*

- испразнити танк са преосталом смолом на начин који је безбедан за животну средину и људе,
- преостали изопропил алкохол одстранити на начин који је безбедан за животну средину и људе,
- искључити вентилацију.

#### 4.5 АНАЛИЗА ЗАДАТАКА, ОПАСНОСТИ, УЗРОКА И ПРЕВЕНТИВНИХ МЕРА ПРИ РУКОВАЊУ ЕКОСИСТЕМОМ *FORM 3+*

У табели 2 су приказани: листа три карактеристична задатка при руковању екосистемом 3D штампача *FORM 3+*, идентификоване опасности и узроци њиховог појављивања, као и превентивне мере које је неопходно предузети да до појаве наведених опасности не би дошло.

Табела 2. Опасности, узроци и превентивне мере код карактеристичних задатака при раду на екосистему 3D штампача

Задатак	Опасности/штетности	Узрок	Превентивне мере
а) Процес израде	<ul style="list-style-type: none"> <li>• од излагања очију штетном светлосном ласерском зраку,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Провидни штитник зоне штампања је, током рада 3D штампача, отворан.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Редовно контролисати исправност микропрекидача који шаље сигнал за моментално заустављање штампача уколико дође до отварања.</li> <li>• Обезбедити да руковалац буде обучен и стручан.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• од покретних делова машине,</li> </ul>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• од тровања, иритације и/или алергијске реакције коже због удисања и/или додира са фотополимерном епоксидном смолом,</li> </ul>	<p>Током рада са епоксидном смолом руковалац:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• не користи заштитну маску и рукавице,</li> <li>• не укључује вентилацију.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Послодавац је обавезан да набави личну заштитну опрему и уређај за вентилацију као и да обезбеди редовно одржавање уређаја.</li> </ul>

Табела 2 (наставак)

Задатак	Опасности/штетности	Узрок	Превентивне мере
<b>а) Процес израде</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>од повреде због малих летећих делова који настају употребом оштрих алата,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Током одвајања готових делова и одстрањивања подршке сечицама руковалац не користи заштитне наочаре и заштитне рукавице.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Обучити руковаоца и обавезати га да носи сву личну заштитну опрему и, током рада, редовно укључује вентилацију.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>од изливања епоксидне смоле,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Смола се може прелити преко зидова резервоара уколико се резервоар за смолу нагне више од 10°</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Обезбедити да руковалац буде обучен и стручан.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>од тровања, иритације и/или алергијске реакције коже због удисања и/или додира са фотополимерном епоксидном смолом,</li> </ul>	<p>Током рада са епоксидном смолом руковалац:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>не користи заштитну маску и рукавице,</li> <li>не укључује вентилацију.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Послодавац је обавезан да набави личну заштитну опрему и уређај за вентилацију као и да обезбеди редовно одржавање уређаја.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>од удисања штетних гасова и испарења при коришћењу уређаја за испирање одштампаног дела,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Изопропил алкохол који се користи за чишћење одштампаних делова није складиштен и/или се не користи на прописани начин.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Боце са изопропил алкохолом морају бити затворене и удаљене од извора топлоте, а потрошене боце адекватно складиштене и потом уништене од стране овлашћених особа.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>од коришћења опасних средстава за рад која могу изазвати експлозије или пожар (ПА је запаљив),</li> </ul>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>од UV зрачења при коришћењу коморе за стврдњавање готовог дела,</li> </ul>	<p>Руковалац не носи маску са филтером против UV зрачења.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Послодавац је обавезан да набави, а радник је обавезан да користи прописану маску.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>од излагања топлотним зрачењима, буци итд.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Додир загрејаних делова екосистема.</li> <li>Оператер не носи антифоне или чепаће за уши.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Обавезно коришћење заштитних рукавица и антифона.</li> </ul>
<b>б) Процес одржавања</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>од излагања очију штетном светлосном ласерском зраку (ласерски производ класе 1),</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Пре отварања кућишта напојни кабл није извучен из утичнице.</li> <li>Особа која врши одржавање и поправку не носи заштитну опрему и/или не користи прописане алате.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Само обучене и сертификоване особе могу вршити одржавање и поправку.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>од нагњечења или заплитања у покретне делове машине,</li> </ul>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>које настају при замени дотрајалих или оштећених делова,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Дотрајали или оштећени делови нису замењени оригиналним.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Особа која одржава и поправља машину мора безусловно уграђивати оригиналне делове.</li> </ul>



Табела 2 (наставак)

Задатак	Опасности/штетности	Узрок	Превентивне мере
ц) Управљачка јединица	<ul style="list-style-type: none"> <li>од електро шока или опекотина изазваних директним или индиректним контактом са огољеним проводницима електричне енергије.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Каблови оштећени и/или нису прописно изоловани.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Оспособити руковоаца да врши визуелну контролу евентуалних оштећења пре почетка сваког рада.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Електроинсталација је дотрајала.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Одговорно лице у предузећу организује редовно испитивање електро инсталације и опреме од стране овлашћених институција.</li> </ul>

## 5. ЗАКЉУЧАК

Прва фаза процене ризика одређеног радног места јесте анализа ризика при руковању конкретном машином/опремом. Пракса показује да понекад није довољно анализирати ризике који се јављају при руковању само једном машином јер на одређеним радним позицијама руковалац користи више различитих машина/уређаја који су повезани у целину коју нема смисла раздвајати. Тада је неопходно и ризике посматрати интегрално.

Анализа ризика посматраног екосистема LFS 3D штампача је показала да се, при руковању, може јавити четрнаест опасности и штетности која су разврстане у пет карактеристичних области (потпоглавље 4.2) од којих неке могу имати фаталне последице (табела 2) уколико се системом, али и материјалима за рад и помоћним материјалима, небезбедно и нестручно рукује.

Имајући у виду све већу заступљеност различитих технологија 3D штампе па тако и SLA технологије, како у хоби варијантама тако и у производњама мањих серија, може се закључити:

- да ризици постоје, а неки од њих су значајни,
- да је неопходно подизање свести руковалаца овом опремом када су у питању потенцијалне опасности и штетности, узроци и мере превенције,

- да је неопходно подизање свести власника таквих производњи о значају процене ризика радног места руковалац (сваким) екосистемом SLA 3D штампача и примени превентивних мера, јер је анализирани *FORM 3+* екосистем репрезентативни егземплар ове производне технологије.

## 6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Shahrubudin N, Lee T. C., Ramlan R. An overview on 3D printing technology: Technological, materials, and applications. *Procedia Manufacturing*. Vol. 35, pp.1286 - 1296, 2019.
- [2] Borrello J., Nasser P., Iatridis J.C., Costa K. D., 3D printing a mechanically-tunable acrylate resin on a commercial DLP-SLA printer. *Additive manufacturing*, Vol. 23, pp. 374 - 380, 2018.
- [3] Aimar A., Palermo A., Innocenti B., The role of 3D printing in medical applications: a state of the art. *Journal of healthcare engineering, Special Issue*, 2019.
- [4] Vora H. D., Sanyal S., A comprehensive review: metrology in additive manufacturing and 3D printing technology. *Progress in additive manufacturing*. Vol. 5, no. 4, pp. 319 – 53, 2020.
- [5] Rojko, A., "Industry 4.0 concept: Background and overview."

- International Journal of Interactive Mobile Technologies*, Vol. 11, no. 5, pp. 77 – 90, 2017.
- [6] 3D Printing Market Size & Share Report, 2022-2030, Grand View Research, 2021.  
<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/3d-printing-industry-analysis>, [приступљено 17.06.2022.]
- [7] Правилник о начину и поступку процене ризика на радном месту и у радној околини“, 2015.  
[https://www.paragraf.rs/propisi/pravilnik\\_o\\_nacinu\\_i\\_postupku\\_procene\\_rizika\\_na\\_radnom\\_mestu\\_i\\_u\\_radnoj\\_okolini.html](https://www.paragraf.rs/propisi/pravilnik_o_nacinu_i_postupku_procene_rizika_na_radnom_mestu_i_u_radnoj_okolini.html), [приступљено 29.04.2022.]
- [8] Списак српских стандарда из области машина, "Службени гласник РС", број 22 од 12. марта 2017.  
<http://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/ministarstva/spisak/2017/22/1>, [приступљено 27.04.2022.]
- [9] Pagas, M., Najnys, J., Ma, Q. P., Jancar, L., Jansa, J., Stefek, P., Mesicek, J., A review of vat photopolymerization technology: Materials, applications, challenges, and future trends of 3D printing. *Polymers*, Vol. 13, no. 4, pp. 598 - 618, 2021.
- [10] Miedzińska, D., Gieleta, R., Małek, E., Experimental study of strength properties of SLA resins under low and high strain rates. *Mechanics of Materials*, Vol. 141, 2020.
- [11] Chuck Hall patent  
<https://patents.google.com/patent/US4575330A/en>, [приступљено 30.04.2022.]
- [12] 4 Ways LFS 3D Printing Produces Better Parts,  
<https://formlabs.com/blog/benefits-of-lfs-3d-printing/>, [приступљено 01.06.2022.]
- [13] Bastijan A., Understanding The 3D Printing Ecosystem. 2015.  
<https://techcrunch.com/2015/10/28/understanding-the-3d-printing-ecosystem-breaking-it-down-and-building-it-up/>, [приступљено 18.04.2022.]
- [14] Formlabs FORM 3+ Complete kit,  
<https://emona.com.au/products/high-performance-3d-printers/3d-printers/formlabs-form-3-complete-kit-1.html>, [приступљено 01.06.2022.]
- [15] *FORM* 3+  
[https://support.formlabs.com/s/article/Manuals-and-documentation?language=en\\_US](https://support.formlabs.com/s/article/Manuals-and-documentation?language=en_US), [приступљено 13.06.2022.]
- [16] *Form-Cure* Manual,  
<https://media.formlabs.com/m/239b1aa5006cf5ff/original/-ENUS-Form-Cure-Manual.pdf>, [приступљено 015.05.2022.]
- [17] *Form-Wash* Manual,  
<https://media.formlabs.com/m/11c8523a56138d6/original/-ENUS-Form-Wash-Manual.pdf>, [приступљено 07.05.2022.]
- [18] Ласер производ класе 1  
<https://www.laserax.com/blog/class-1-laser-products-regulations#:~:text=A%20class%20%20laser%20product,additional%20laser%20beam%20control%20measures>, [приступљено 08.05.2022.]
- [19] Malacara D., Nature of Color, “Color Vision and Colorimetry: Theory and Applications”, *Second Edition*, SPIE Press, Bellingham, WA, 2011.

---

Адреса аутора: Младеновић Валентина,  
Висока техничка школа струковних студија  
у Зрењанину, Ђорђа Стратимировића 23  
е-маил: valentina.mladenovic@vts-zr.edu.rs

Рад примљен: јул 2022.

Рад прихваћен: септембар 2022.



# БОРИРАЊЕ И ЊЕГОВА ПРИМЕНА У ЕКСПЛОАТАЦИЈИ НАФТЕ И ГАСА

## *BORONIZING AND ITS APPLICATION IN OIL AND GAS EXPLOITATION*

ЖЕЉКО СТОЈАНОВИЋ<sup>1</sup>

САЊА СТАНИСАВЉЕВ<sup>2</sup>

МИЋА ЂУРЂЕВ<sup>2</sup>

СПАСОЈЕ ЕРИЋ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>"Hutchinson" д.о.о. Индустијска 71, Рума

<sup>2</sup>Универзитет у Новом Саду, Технички факултет "Михајло Пупин" у Зрењанину

<sup>3</sup>Висока техничка школа струковних студија у Зрењанину

### РЕЗИМЕ

У раду се анализира утицај обраде борирањем на спречавање оштећења и отказа ко-мпоненти транспортног система у експлоатацији нафте и гаса које су изложене прогресивном пропадању услед дејства веома сложених и неповољних услова рада који владају дубоко у нафтним бушотинама. У раду се наводе основни механизми процеса настајања и раста боридних слојева насталих дифузијом бора у челик. Рад разматра проблеме деградације и пропадања компоненти опреме за дубинску производњу нафте као што су тубинзи, усисне шипке и цеви кезинга који су изложени интензивним и континуалним деловањем абразије, ерозије, корозивног течног и гасовитог радног окружења и повишених температура, али и синергијског ефекта хабања и корозије. Рад посебно наглашава предности примене борирања у заштити од агресивног деловања растворених гасова угљен диоксида ( $CO_2$ ) и водоник сулфида ( $H_2S$ ) који изазивају озбиљну корозију и брз отказ производне опреме. Истраживање је показало оправданост избора борирања као поузданог решења за повећање отпорности

система за дубинску производњу нафте према хабању и корозији.

**Кључне речи:** борирање, нафта, абразивно хабање, ерозивно хабање, корозија

### ABSTRACT

The paper analyzes the impact of boronizing (boriding) treatment on the prevention of damage and failure of transport system components in the exploitation of oil and gas which are exposed to progressive decay due to the action of very complex and unfavorable working conditions that prevail deep in oil wells. The paper presents the basic mechanisms of the process of formation and growth of boride layers formed by the diffusion of boron into steel. The paper considers the problems of degradation and deterioration of equipment components for deep oil production such as tubings, sucker rods and casing pipes that are exposed to intense and continuous abrasion, erosion, corrosive liquid and gaseous working environment and elevated temperatures, but also of synergistic effect of wear and corrosion. The paper especially emphasizes the advantages of boronizing application in the protection against the aggressive action of

dissolved gases of carbon dioxide ( $CO_2$ ) and hydrogen sulfide ( $H_2S$ ), which cause serious corrosion and rapid failure of production equipment. Research has shown the justification for choosing boronizing as a reliable solution to increase the resistance of

deep oil production system against wear and corrosion.

**Keywords:** boronizing, oil, abrasive wear, erosion wear, corrosion

## 1. УВОД

Потражња за фосилним горивима и даље расте, иако је употреба алтернативне енергија тренутно повећана. Према *BP Statistics*, предвиђа се да ће фосилна горива обезбеђивати већину светских енергетских потреба, задовољавајући две трећине потражње за енергијом до 2035 године [1]. Значајне резерве нафте и гаса које треба открити и произвести концентрисане су на изазовним локацијама, као што су дубока мора, удаљене арктичке локације и пустињски песак. Бушотине високог притиска и високе температуре са агресивним окружењем, тј. високим садржајем  $H_2S$  и/или  $CO_2$ , постају све чешће. Штавише, последњих година, због нових технологија као што су побољшане методе за повећање извлачења нафте из нафтних налазишта и методе хватања и складиштења угљеника, агресивни флуиди са високим притиском постају све агресивнији за челике.

Проблеми ерозивне корозије и абразије који се јављају у производњи и преради нафте и нафтног песка доводе до огромних губитака у индустрији. Ови проблеми доводе до отказа опреме и непредвиђених искључивања, замене оштећених компоненти, контаминације производа и могућег утицаја на животну средину [2]. Што се тиче производње нафте у бушотини, компоненте опреме су подвргнуте великом брзином струјања концентрованих суспензија које садрже чврсте абразивне честице (нпр. силицијумски песак, калцит, доломит, глинено-песковит муљ и друге) различитих величина у комбинацији са минералним солима раствореним у корозивном медијуму, често са присуством

корозивних гасова. Дубина производних бушотина од 2 до 3[km] или више, које могу бити вертикалне или хоризонталне, је веома честа, а у дубоким бушотинама производња нафте и гаса захтева повишене притиске и температуре, што повећава проблеме хабања и корозије. Наведени тешки услови рада диктирају потребу за поузданим производним компонентама које ће издржати ерозију, абразију, трење и корозију.

Метод превлачења термичком дифузијом који се заснива на принципима CVD, успешно се користи за производњу заштитних слојева и за компоненте великих димензија. Ова метода укључује таложење (депозицију) одабраног хемијског елемента у облику активне паре на претходно загрејан основни материјал са накнадном хемијском модификацијом металне површине основног материјала кроз формирање нових тврдохемиских супстанци. Међу методама термичке дифузије, борирање челика и легура може се користити за стварање тврдохемиских инертних слојева на бази борида железа и неких других борида, који могу успешно заштитити металне компоненте од хабања и корозије на повишеним температурама [3].

Циљ рада заснован је на објављивању довољно релевантних информација о резултатима досадашњих истраживања предности употребе слојева железноборида на челичним компонентама које се користе за дубинску производњу нафте како би се створила убедљива основа која ће допринети већој заступљености поступка и у домаћој нафтној индустрији. Одређени број истраживачких радова који о борирању делова и алата изложених абразији и

корозији у нафтној индустрији изводе перспективне и обећавајуће закључке представљају за ауторе овог рада основне изворе, с обзиром да се у доступној конвенционалној литератури могу пронаћи само делови текстова и незнатан број оскудних података који садрже основне претпоставке о примени борирања у овом домену. С обзиром да су аутори у својим ранијим публикацијама врло детаљно описали кинетику стварања и раста боридних слојева на железним материјалима, као и њихова својства и понашање у лабораторијским условима, овај рад ће само илустративно описати проблематику. Фокус пажње је усмерен на расправу извора чији резултати истраживања могу да подстакну домаће нафтне компаније на усвајање борирања као решења које ће допринети заштити и продужењу радног века њихове опреме за експлоатацију.

## 2. КОРОЗИЈА У НАФТНИМ БУШОТИНАМА

### 2.1 НАПОМЕНЕ ПРЕ АНАЛИЗЕ

Произведени нафта и гас увек су праћени са мало воде, и различитим количинама  $CO_2$  и у неким случајевима  $H_2S$  и органских киселина. Све ово може утицати на интегритет меког челика. [4]. Сирова нафта и природни гас могу носити различите производе високе нечистоће који су инхерентно корозивни. У случају нафтних и гасних бушотина и цевовода, такви висококорозивни медији су  $CO_2$ ,  $H_2S$  и слободна вода. Континуирано извлачење  $CO_2$ ,  $H_2S$  и слободне воде кроз нафтне и гасне компоненте може током времена учинити да унутрашње површине ових компоненти пате од ефеката корозије [5].

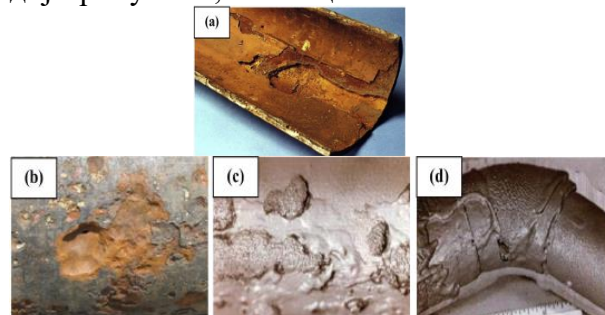
Цеви су намењене за извлачење течности и гаса из бушотине, за убризгавање воде, компримованог ваздуха (гаса) и за извођење различитих врста радова на редовном одржавању и ремонту бушотина. Њихов трошак може износити 75% цене основних средстава

нафтне компаније. У том смислу, њихова заштита од прераног пропадања представља релевантан задатак.

### 2.2 КОРОЗИЈА ИЗАЗВАНА ДЕЈСТВОМ $CO_2$

Трајност рада цеви значајно се смањује на пољима чији производи садрже  $CO_2$ . Ови процеси  $CO_2$  корозије се посебно интензивно одвијају у бушотинама гасно кондензационих поља. Повећање опасности од корозионног дејства је повезана са моментом настајања у кондензационој цеви (тачка росе). У овом случају,  $CO_2$  се раствара у кондензационој води са стварањем угљеничне киселине. Угљенична киселина снижава рН околине повећавајући корозионо разарање угљеничног челика, јер продукти корозије формирају ломљив филм кроз који електролит лако долази до метала [6]. Инжењерски аспекти конструкције производних цеви искључују употребу „дodatка за корозију“ који би се „жртвовao“ током животног века Пројекта, јер би ово повећало масу колоне цеви. [7].

Moubaraki i Obot [8] сматрају да је  $CO_2$  корозија, позната и као слатка корозија, далек најчешћи тип корозије у индустрији нафте и гаса. Позивајући се на радове аутора Perez, Usman i Ali, они наводе да је већина отказа у индустрији нафте и гаса, око 60%, резултат корозије изазване  $CO_2$ . Различити облици корозије метала изазване  $CO_2$  могу се класификовати као што је приказано на дијаграму тока, на слици 1.



Слика 1. Корозија изазвана  $CO_2$ . а) општа корозија, б) питинг, ц) локална корозија, д) корозија изазвана протоком [8]

Растварање метала је примарни узрок униформне или опште корозије. Као што је приказано на слици 1a, механизам корозије се састоји искључиво од губитка метала и формирања карбонатних љускица на површ-ини метала као продукта корозије. Питинг корозија (1b) се јавља при малим брзинама протока течности. Високе температуре и парцијални притисци  $CO_2$  помажу да се убрза ова врста корозије. Локална корозија (1c) је повезана са шемом малог до средњег протока са формирањем заштитног, али нестабилног карбонатног филма. Корозију изазвану протоком (1d) карактеришу велике брзине протока и турбулентан образац.

### 2.3 КОРОЗИЈА ИЗАЗВАНА ДЕЈСТВОМ $H_2S$

Киселу корозију изазивају соли и сулфи-дна једињења растворена у сировој нафти. Они изазивају стварање корозивног воденог раствора чији хемијски састав укључује присуство и хлороводоничне киселине ( $HCL$ ) и водоник сулфида ( $H_2S$ ). Позивајући се на нека од претходних истраживања, аутори Paul i Kundu [9] наводе да  $H_2S$  има значајно убрзање и на анодно растварање гвожђа и на катодну еволуцију. О овоме извештава и Askari са сарадницима [10] који саопштавају да  $H_2S$  може да се раствори у струјању воде-не фазе и последично да се раздвоји да би произвео  $H^+$  катјоне који хватањем електро-на могу повећати брзину анодног растварања угљеничног челика и реакцију катодне редукције која је извор еволуције водоника. Слика 2 приказује примере корозије изазване  $H_2S$ .



Слика 2. Примери корозије изазване  $H_2S$  [8]

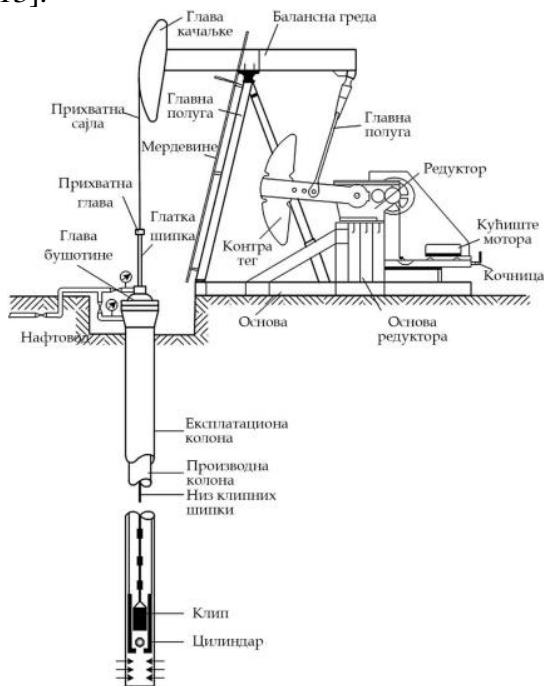
Улога  $H_2S$  гаса у проблемима корозије је важна за предвиђање корозије ценовода пошто многа нафтна поља широм света садрже овај гас [11].  $H_2S$  корозија се може манифестовати као општа (уједначена корозија) локализована питинг корозија и водонична кр-ост. Комбинација  $H_2S$  и  $CO_2$  чини пуно агресивнијим радни флуид него сам  $H_2S$  и често је узрок корозије у заштитним и експлоатационим цевима, као и прикључним и транспортним нафтоводима и гасоводима. [12].

## 3. МЕХАНИЧКО ХАБАЊЕ ОПРЕМЕ У НАФТНИМ БУШОТИНАМА

### 3.1 НАПОМЕНЕ ПРЕ АНАЛИЗЕ

Губици због хабања повезани са трењем, абразијом, ерозијом, често у комбинацији са дејством корозивних средина, настају на различитим инжењерским компонентама у бројним индустријским процесима. Развој и производња нафте и гаса је једна од највећих индустријских области у којој бројне процесне јединице и компоненте опреме морају бити заштићене од озбиљног хабања, нпр. трења, абразије и њихове комбинације, и проблема са корозијом. Дуге производне колоне тубинга и алата за бушотину са компонентама отпорним на хабање и корозију морају да се користе у свакој нафтној бушотини уз коришћење система

механичког дизања, нпр. дубинске урођене пумпе са клипним шипкама или завојно-ексцентричне пумпе (слика 3) [13].



Слика 3. Дубинска пумпа са клипним шипкама [14]

### 3.2 УТИЦАЈ ВИСОКИХ ПРИТИСАКА И ТЕМПЕРАТУРА

Континуирано повећање дубине бушотине (веће од 3000[m] су постале реалност у садашњем развоју нафтне индустрије) доводи до пораста процесних притисака и температура до 70[MPa] и 250-300[°C], што, сходно томе, захтева висок механички и конструкциони интегритет материјала који се користе за тубинге [13]. Процеси гравитационе дренаже уз помоћ паре и цикличне парне стимулације, који користе убризгавање паре за извлачење нафте и који се примењују за термичку стимулацију резервоара нафте сматрајући се најефикаснијим у производњи нафте, захтевају компоненте са супериорном отпорношћу на ерозију, кавитацију и корозију (укључујући водену пару високих притисака и температура) и високу механичку чврстоћу [3].

### 3.3 ПРОБЛЕМИ ЕРОЗИЈЕ ПЕСКОМ

Материјали за компоненте опреме и туб-инзи са високом отпорношћу на хабање и корозију су потребни за добијање и транспорт сирове нафте са нафтним песком, односно нафтом која садржи висок проценат абразивних минералних честица песка и руда. Ово се односи и на производњу нафтног песка и на руковање јаловином нафтног песка. Када се тврде и абразивне честице песка појаве између покретних делова, хабање компоненти за подизање се драматично убрзава.

Увлачење честица песка у флуиде који теку кроз хоризонталне или вертикалне цеви често се сусреће током производње и транспорта нафте и гаса. У конвенционалној производњи нафте, песак се производи са нафтом и гасом из резервоара пешчара под одређеним условима, као што су неконсолидована формација, продор воде, смањење притиска у резервоару и висока бочна тектоника. Увлачење песка у течности изазива хабање цеви и фитинга кроз које он тече услед удара честица песка о унутрашњу површину цеви и фитинга. Ерозија се може десити у различитим подземним и површинским компонентама [15]. Прекомерна количина песка може да изазове озбиљну ерозију клипних шипки и пумпе и може се акумулирати у неким компонентама као што је клип (слика 4). Ово може изазвати проблеме са зачепљењем које је веома тешко отклонити [16].

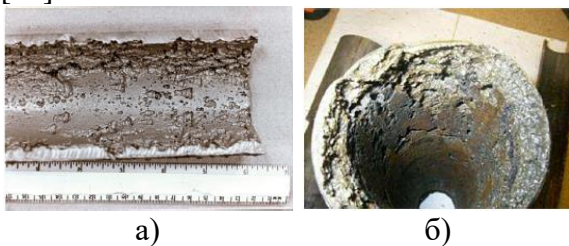


Слика 4. Акумулација песка у клипу [16]

У многим случајевима, коришћене компоненте треба да имају заштиту своје унутрашње површине, јер је радна површина у контакту са корозивним и



абразивним процесним медијумом. У овим условима, оштећења ерозионом корозијом се јављају у знатно већој мери (слика 5) [17]. Ерозија у корозивном раствору је важан механизам уклањања материјала за велики део инжењерских компоненти. Уклањање материјала у таквој ситуацији је регулисано синергистичким ефектом ерозије из еродента и корозије коју даје корозивни медијум. Сходно томе, постојање муљне ерозије у експлоатацији нафте утиче на век трајања цеви за нафту и самим тим узрокује повећање капиталних трошкова [18].



а) б)  
Слика 5. Пример ерозионе корозије са јаловином нафтног песка. Кородирани тубинг показује карактеристике дуктилног лома [17]

У корозивним срединама са високим температурама и високим притиском, често се јављају деформације и смицања који су у складу са дуктилним ломом (слика 5б).

### 3.4 ОТКАЗ ТУБИНГА УСЛЕД ТРЕЊА

Један од најскупљих примера у операцијама на нафтним пољима је кад дође до отказа тубинга услед хабања и проблема са корозијом у дубинским пумпама са клипним шипкама и завојно-ексцентричним пумпама. Хабање, као резултат абразије, трења, ерозије и корозије, настаје услед наизменичног кретања, нагоре и надолу, покретања шипке и спојница насупрот тубинга. Током производње, колона клипних шипки у бушотини може понекад да се судари са колоном тубинга. Ово трење може довести до ерозије и хабања и тубинга и клипних шипки. Ово би, евентуално, могло довести до озбиљног

цурења и лома обе компоненте. Слика 6 покazuje пример еродираниог тубинга услед трења.



Слика 6. Пример отказа тубинга [16]

С обзиром на то да се колона шипки састоји од неколико компоненти, отказ једне од компоненти може довести до цурења у коло-ни или отказа целе колоне.

### 3.5 ХАБАЊЕ КЛИПНИХ ШИПКИ, ПИНОВА И СПОЈНИЦА

Клипне шипке могу се, такође, истрошити из неколико разлога. Прво, шипке ће се временом истрошити због њиховог непрекидног кретања надолу-нагоре. Други разлог за хабање шипке може бити због трења са тубингом. Коначно, флуидни удар такође може у великој мери смањити животни век свих компоненти дубинске пумпе. Једна од компоненти која је подложна отказу услед хабања је вођица шипке, приказана на слици 7.



Слика 7. Истрошена вођица шипке [16]

Абразивно хабање колоне клипних шипки се дефинише као прогресивно уклањање површине метала контактом са колоном тубинга. Абразивно хабање такође уклања филмове који спречавају корозију и излаже металну површину корозионим течностима, што убрзава брзину корозије [19].

Пинови и спојнице су оно што повезује компоненте у бушотини заједно и одржава интегритет склопа. Хабање ових компоненти може довести до озбиљног цурења, отказа неких других

главних компоненти и губи-тка компоненти у бушотини због лома колоне. Слика 8 приказује пример истрошене по-вршине клипа и седишта кугличног вентила.



Слика 8. Оштећење површине клипа и седишта кугличног вентила [16]

## 4. БОРИРАЊЕ КОМПОНЕНТИ ЗА ИЗВЛАЧЕЊЕ НАФТЕ

### 4.1 ЗНАЧЕЊЕ И ОКВИР ПРИМЕНЕ

У претходном делу овог рада примећује се да су тубинзи, клипне шипке и спојнице изложене интензивном и понављајућем утицају оштрих корозивних средина, високих притисака и температура уз непрестано уда-рно дејство чврстих абразивних честица ко-ји изазивају тешку деградацију материјала, губитак механичких особина и отказивање. Системи тубинга у бушотинама у индустри-ји нафте и гаса (посебно дубинске пумпе са клипним шипкама, завојно-ексцентричне пумпе и неке друге компоненте механичког система за подизање), као и бројни вентили и седишта, лежајеви, системи зупчаника и клипова захтевају заштиту од оштећења по-везаних са трењем и абразијом [20].

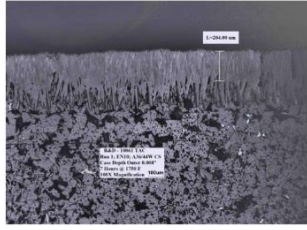
Добар метод за побољшање карактеристика хабања материјала је површинска обра-да. Међу многим методама површинске обр-аде, као што су нитрирање, цементација и нитрокарбурирање, показало се да процес борирања заснован на хемијској обради пов-ршине резултира повишеном тврдоћом [21].

### 4.2 БОРИРАЊЕ У ИНДУСТРИЈИ НАФТЕ И ГАСА

Технологије превлачења као што су CVD или засноване на CVD принципима могу би-ти веома перспективне када се формирају тврди и хемијски инертни материјали. Med-vedovski и Antonov у свом раду [22] борира-ње дефинишу као процес термичке дифузије заснован на принципима CVD који обезбеђ-ује формирање тврдих и хемијски инертних железно борида на различитим челицима и легурама железа. У процесу борирања, заш-титни слојеви на челицима и легурама желе-за настају формирањем гасовите фазе на ба-зи бора услед високотемпературних реакци-ја у специјално направљеним мешавинама праха са последичним таложењем ових гасо-ва на претходно загрејан основни материјал, дифузијом бора у основни материјал и фор-мирањем железно борида и, у неким случајев-има, неких других металних борида са њих-овим учвршћивањем на површини произво-да које је потребно заштитити. Формирани слојеви железно борида имају високу твр-доћу, хемијску инертност и отпорност на ха-бање. Овај процес омогућава формирање за-штитних слојева од хабања и корозије на чи-тавим површинама компоненти и, генерал-но, не захтева посебну „нестандардну“ опре-му и методе контроле, као ни укључивање посебних гасова и посебне мере заштите жи-вотне средине [23].

Medvedovski је са групом аутора [13] уп-оређивао трибо-корозију тврдих слојева бо-рида железа са необрађеним челиком и нек-им другим превлакама које се користе у инд-устрији за заштиту од хабања и корозије (ел-ектроплатирање тврдим хромом и електрол-итичко никловање) у условима који симули-рају неке ситуације које се често дешавају у нафтној и гасној индустрији. Структура бор-ираног слоја имала је специфичну „тестерас-ту“ морфологију, а углавном се састојала од  $Fe_2B$  фазе у унутрашњој зони и од  $FeB$  фазе у спољашњој зони (слика 9).

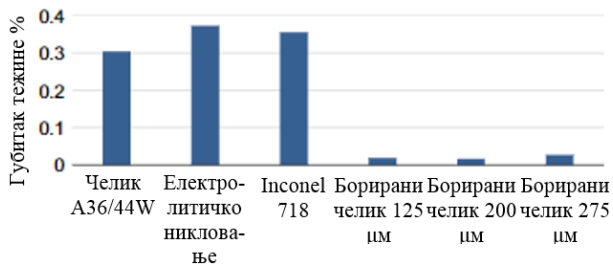




Слика 9. Микроструктура борораног челика [13]

Борирани угљенични челик (са дубином сл-оја која варира од 100 до 275  $\mu\text{m}$ ) показао се приближно 10 пута бољим него необрађени угљенични челик, Inconel 718 и електролит-ички никл (слика 10) када су били подвргнути испитивању клизне абразије спроведене у „сувим“ условима према ASTM G65 процедур-и В (испитивање абразије гуменим точком коришћењем силицијумског песка као абразивног медијума).

Испитивање у условима трења, када је корозивни медијум ( $H_2SO_4$  и  $NaCl$  раствори) додат у воду заједно са течносту за подмазивање, али без абразивних честица силицијума показало је да су обложени челични узорци (борирани, електролитички никловани и хромирани) остварили значајно боље резултате од необрађеног угљеничног челика.



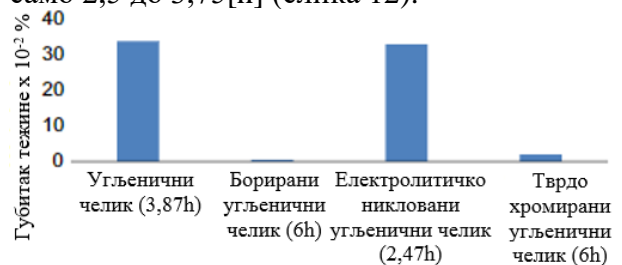
Слика 10. Резултати испитивања абразивног хабања-губитак тежине[%] [13]

Борирани челик имао је мању деградацију хабањем од електролитичко никлованог и тврдо хромираног челика (слика 11).



Слика 11. Резултати триболошких испитивања без абразивних честица силицијума-губитак тежине[%] [13]

Испитивање у условима трења када су уведене тврде абразивне честице силицијума, заједно са течносту за подмазивање, показало је да борирани челик има највише перформансе у поређењу са необрађеним, електролитичко никлованим и тврдо хромираним челиком. Тако је губитак тежине хабањем борираног челика након 6[h] испитивања био 70 пута мањи него код необрађеног и електролитичко никлованог челика који су испитивани само 2,5 до 3,75[h] (слика 12).

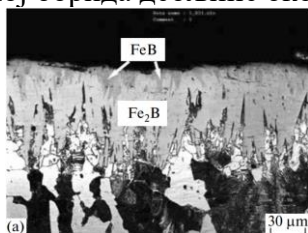


Слика 12. Резултати триболошких испитивања-губитак тежине[%] [13]

Ови аутори су закључили да је због високе тврдоће и чврстоће везивања двофазног боридног слоја његова отпорност на хабање и на корозију била 30 пута већа од угљеничног челика и осталих превлака.

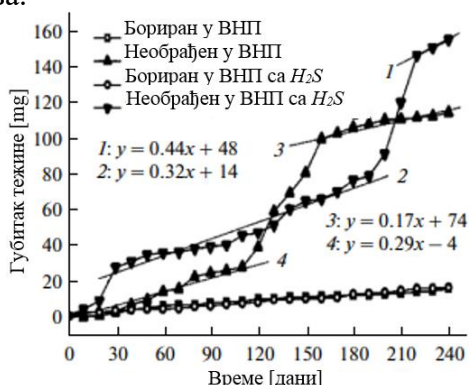
AISI 8620 челик је широко коришћен и релативно јефтин материјал за клипне шипке на нафтним пољима, али показује недовољне перформансе у тешким условима високе корозије и јаког хабања, посебно у кисел-ој средини која садржи  $CO_2$ ,  $H_2S$  и делимично хабање насупрот челичног тубинга у бушотини. Ан и група аутора [24] имали су циљ да упореде корозију необрађених и бор-

ираних челика AISI 8620 у води са нафтних поља (ВНП) и  $H_2S$ -засићеној води са нафтних поља (ВНП са  $H_2S$ ) коришћењем испитивања урањањем, електрохемијске методе (потенциодинамичке поларизације) и аналитичких техника. Оптичка микрографија попречног пресека микроструктуре и површинске морфологије боридног слоја, као што је приказано на слици 13, открива да је укупан слој борида дебљине око 65[ $\mu\text{m}$ ].



Слика 13. Оптичка микроструктура боридног слоја AISI 8620 челика [24]

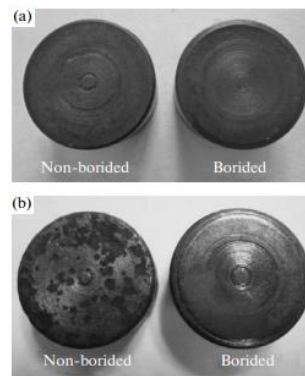
Слика 14 показује губитак тежине за бориране и небориране узорке уроњене у горепоменуте две врсте вода са нафтних поља.



Слика 14. Криве губитка тежине неборираних и борираних AISI 8620 челика у води нафтних поља и  $H_2S$ -засићеној води нафтних поља [24,25]

Криве губитка тежине као функција времена потапања за борирани челик се поклапају једна с другом, благо се повећавајући линеарно на веома ниском нагибу са повећањем времена потапања у обе воде са нафтних поља. Нагиби су 0,061[g/dan] у води нафтних поља и 0,069[g/dan] у  $H_2S$ -засићеној води са нафтних поља, што указује на ефективна антикорозивна својства боридног слоја у испитиваним растворима корозије [24].

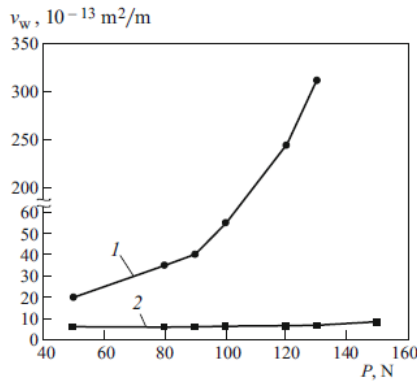
Слике 15а и 15б су фотографије узорка челика AISI 8620 пре и после потапања у  $H_2S$ -засићеној води са нафтних поља. Многе корозивне јаме које су настале на површини неборираног узорка су повезане заједно, што резултира локализованим љуштењем са површине узорка након 240 дана излагања, док површина борираног узорка изгледа мање промењена.



Слика 15. Макро-морфологија неборираног и борираног AISI 8620 челика: (а) пре теста урањања, (б) после теста урањања у  $H_2S$ -засићеној води са нафтних поља [24,25]

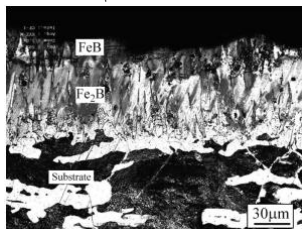
Они су закључили да не постоји много разлика у потенцијалима корозије за неборирани и борирани AISI 8620 челици и да борирани челик има много нижу струју корозије од неборираног челика и у води нафтних поља и у  $H_2S$ -засићеној води нафтних поља.

У једном другом истраживању, показано је како борирани челик има већу отпорност на хабање од неборираног челика (слика 16). Са слике је приметно да се брзина хабања неборираног челика значајно повећава када се оптерећење подигне изнад 90[N]. Хабање челика након борирања је релативно ниско и константно под испитним условима због присуства заштитног боридног слоја [25].



Слика 16. Криве хабања неборираног (1) и борираног (2) челика AISI 8620 ( $v_w$  је брзина хабања, а  $P$  је оптерећење) [25]

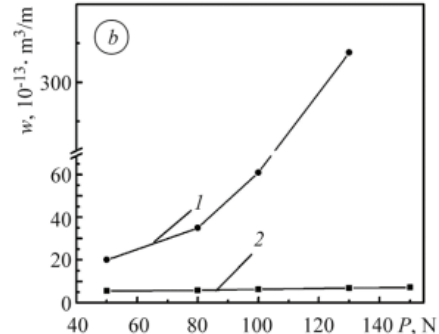
Челик N80 је релативно јефтин материјал који се широко користи као материјал ту-бинга за нафтна поља. Међутим, показује незадовољавајуће перформансе у тешким условима високе корозије и тешког хабања, посебно у киселим срединама које садрже  $CO_2$  и  $H_2S$ . Аутор Хи са сарадницима [26] дизајнирао је специјалну поставку за борир-ање како би користио мање праха и изабрао је једну од различитих метода хлађења квал-ификованих за механичка својства која захт-ева API SPEC 5L. Слика 17 показује да је дв-офазни боридни слој дебљине око 64-72[ $\mu m$ ] формиран на основном материјалу жарене челичне цеви N80.



Слика 17. Оптичко-микроскопски попречни пресек N80 челичне цеви бориран на 860[°C] у трајању од 5 часова [26]

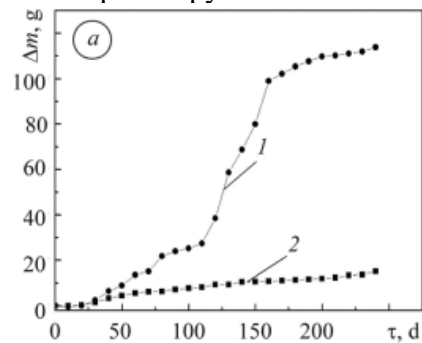
Овај слој се састојао од танког спољашњег слоја  $FeB$  фазе и прилично дебелог слоја  $Fe_2B$  фазе са зубастом морфологијом и опсе-гом тврдоће од 1220 до 1340 HV. Борирани узорци показали су ефективну отпорност на хабање у поређењу са небрађеним узорцима (слика 18). Брзина хабања неборираног челика у овом њиховом истраживању драматично

је расла како примењено оптерећење прелази 100[N] због омекшавања површине из-азваног значајном топлотом трења, док је борирани челик очувао спор и стабилан процес хабања под датим условима због присуства боридног слоја.



Слика 18. Варијације брзине хабања неборираног N80 челика (1) и борираног N80 челика (2) [26]

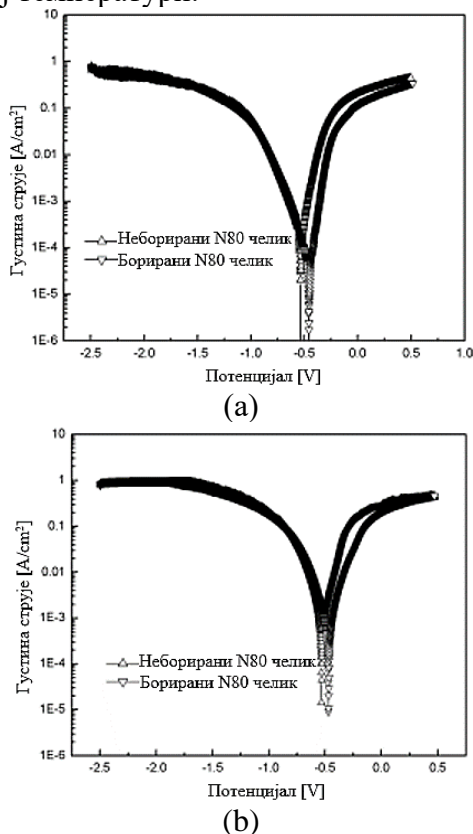
Ови аутори су добили криве губитка тежине за бориране и небориране узорке урођене у воду нафтних поља из североисточне Кине коју су транспортовали у стакленим боцама из нафтне бушотине на нафтном пољу Jilin у њихову лабораторију (слика 19). Са слике се види да криве губитка тежине, као функција времена урањања за борирани челик благо се линеарно повећавају са веома малим наг-ибом како се време урањања повећава, што потврђује ефикасна антикорозивна својства боридног слоја у испитиваном корозивном раствору.



Слика 19. Губитак тежине неборираног (1) и борираног челика (2) при испитивању урањањем изведеном у води нафтног поља [26]

У једном ранијем истраживању борира-ња N80 челичних цеви [27], аутори рада изв-ештавају да су корозиони

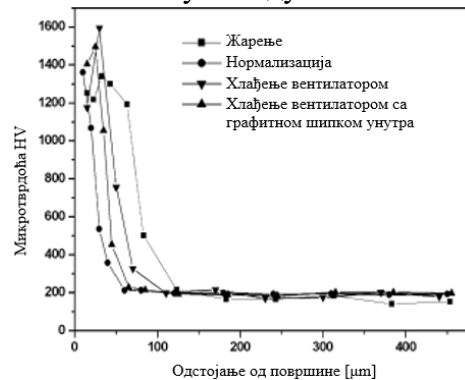
потенцијали  $E_{cor}$  борираних N80 челика у растворима  $HCL$  и  $H_2SO_4$  више електропозитивнији него они од неборираних N80 челика. То значи да бори-дни слој може деловати као заштитна бариј-ера за N80 челик у овом специфичном короз-ионом окружењу. Слика 20 показује криве електрохемијске поларизације до којих су дошли ови аутори за неборирание и борирание N80 челике у  $HCL$  и  $H_2SO_4$  растворима на собној температури.



Слика 20. Криве потенциодинамичке поларизације неборираног и борираног N80 челика у киселим растворима (a)  $HCL$  5 vol% и (b)  $H_2SO_4$  5 vol% [27]

Аутор Tian са сарадницима [28] пријављује да су бориди формиран на челичним N80 цевима имали тестерасту морфологију са опсегом тврдоће од 1220 до 1600 HV (слика 21), што је много више него тврдоћа основн-ог материјала од 160 HV. Они су спровели истраживања са циљем проучавања затезн-их својстава као што су затезна чврстоћа и напон течења који могу драматично да се погоршају и не испуне механичка

својства која захтева API SPEC 5L и то због проблема повезаних са кртошћу боридног слоја и спо-ром брзином хлађења узрокованом некомп-актним агенсом за борирање у праху. На основу добијених резултата, ови аутори су дошли до закључка да је борирани челична цев N80 хлађена вентилатором са графитн-ом шипком у центру средства за борирање имала највећу затезну чврстоћу и напон течења у складу са API SPEC 5L.



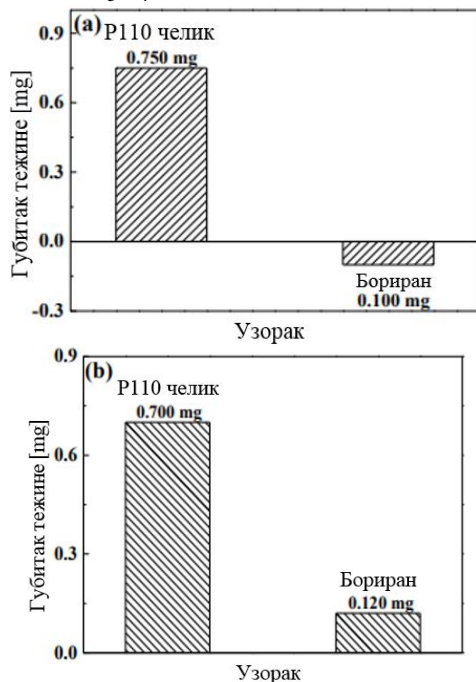
Слика 21. Профил тврдоће борираног N80 челика под различитим условима хлађења [28]

Цев кезинга је важна конструкциона јед-иница бушотине код које настају знатни еко-номски губици услед корозије и хабања под сложеним и неповољним условима рада.  $CO_2$  корозија је значајан фактор који допри-носи деградацији цеви кезинга [29]. Треба истаћи озбиљност хабања и ерозије цеви ке-зинга чији деструктиван ефекат није инфер-иоран у односу на корозију [30]. Наиме, пос-тоји велика количина крхотина које припад-ају слојевима стена, које, настале експлоата-цијом нафтних бушотина и комбиноване са смешом воде нафтних поља засићеном  $CO_2$  могу да формирају двофазни ток течно-чвр-сто. Двофазно струјање има ерозивно-короз-ивни ефекат на унутрашњу површину цеви кезинга у процесу истискивања нафте, при чему је деструктивна сила далеко јача од ко-розије  $CO_2$  која делује сама.

Недавно разумевање деградације цеви кезинга довело је до закључка да је употреба цеви од легура отпорних на корозију ефика-сно решење за продужење

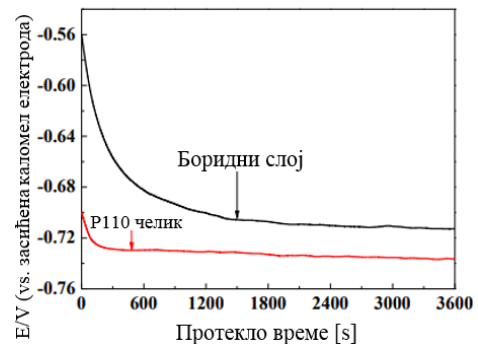


века цеви. Међутим, већина цеви од легура отпорних на ко-розију садржи племените легирајуће елементе, као што су *Ni*, *Cr* и *Mo*, који значајно доприносе повећању трошкова [31]. Да би унапредили отпорност површине P110 челика за кезинг на корозију и хабање, аутор Lin је са сарадницима спровео борирање. На слици 22 приказани су графикони губитка тежине испитних узорка након клизања насупрот GCr15 челика и  $Si_3N_4$ .



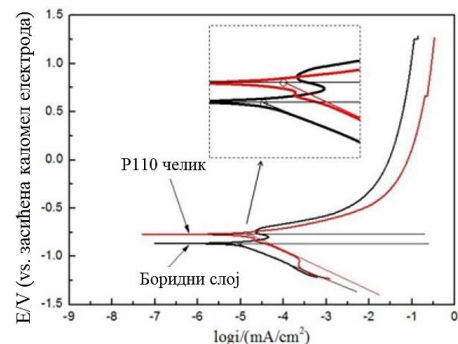
Слика 22. Губитак тежине након клизања насупрот (a) GCr15 челика и (b)  $Si_3N_4$  [29]

Гледајући губитак тежине неборираног и борираног P110 челика након клизања насупрот GCr15 челика, тежина P110 челика се смањује за 0,750[mg], док се тежина борираног челика повећава за 0,100[mg] што потврђује адхезивни трансфер супротног материјала. На основу овога, аутори су закључили да боридни слој има бољу отпорност на хабање. Са слике 19b приметили су да је губитак тежине боридног слоја (0,120[mg]) мања него P110 челика (0,700[mg]). Као корозивни медијум, одабрали су воду нафтних поља засићену са  $CO_2$ . Слика 23 илуструје потенцијал отвореног круга боридног слоја и неборираног P110 челика.



Слика 23. Криве потенцијала отвореног круга и времена неборираног и борираног P110 челика у води нафтног поља [29]

Очигледно је да је вредност потенцијала отвореног круга боридног слоја (-0,71V) већа од неборираног P110 челика (-0,73V). Ово потврђује да боридни слој побољшава хемијску стабилност против корозије P110 челика. Желећи да упореде корозиону отпорност P110 челика и боридног слоја, ови аутори су спровели методу потенциодинамичке поларизације у истим растворима. Добили су ре-презентативне криве поларизације неборираног и борираног P110 челика које су приказане на слици 24.



Слика 24. Криве поларизације неборираног и борираног P110 челика [29]

У поређењу са неборираним P110 челиком, боридни слој је показао негативнији потенцијал корозије, али је показао и нижу густину струје корозије. Густина струје корозије је одговорна за брзину корозије, па већа густина струје сигнализира већу брзину корозије током мерења поларизације. Користећи Тафелову методу екстраполације, ови научници израчунали су густину струје корозије ( $i_{\text{corr}}$ ) P110 челика  $1.56675E-$

05[A/cm<sup>2</sup>] која је виша од оне код боридног слоја 8.74984E-06[A/cm<sup>2</sup>]. Из овог су закључили да нижа густина струје корозије боридног слоја потврђује побољшање корозионе отпорности за P110 челик.

## 5. ЗАКЉУЧАК

Овим радом, аутори су начинили значајан корак у разумевању потенцијала примене термодифузионог борирања на компонентама које су изложене непрестаним и интензивним синергистичким деловањем абразије, ерозије, корозије, високих притисака и температура у експлоатацији нафте и гаса. Аутори су истовремено имали за циљ популаризацију примене поступка у домаћим нафтним компанијама путем афирмације његове ефикасности кроз садржајан приказ резултата досадашњих истраживања и очигледних доприноса успешној заштити металне површине основног материјала од агресивног деловања радног окружења у нафтним бушотинама. Саставни делови система за механичко подизање који се улажу у нафтну бушотину изложени су дејству корозивних средина од којих су на овом месту посебно издвојене CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>S као гасови растворени у корозионом медијуму који изазива брзо пропадање производне опреме. У већини случајева, деловање корозије бива потпомогнуто струјањем концентрованих тврдих абразивних честица песка у суспензији корозионог медијума чији ерозиони токови у системима цевовода и пумпних уређаја изазивају ерозиону корозију, у овом раду означену као најтежи облик нарушавања интегритета материјала.

На основу низа резултата досадашњих истраживања приказаних у овом раду, борирањем узорци показали су и до неколико пута нижи губитак тежине хабањем од неборирањем узорака, док су борирањем челици уроњени у корозионе растворе присутне у реалним условима рада показали знатно боља антик-

орозиона својства од неборирањем узорака. У појединим публикацијама које су овде представљене, приказано поређење неборирањем и борирањем узорака методом потенцио-динамичке поларизације открива нам да се боридни слојеви могу користити као заштитни основног материјала од корозије у коришћеним испитним срединама.

## 6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Cao, S., He, F., Gao, J., Corrosion problems in the oil country tubular goods and their mitigation - a review, *Anti-Corrosion Methods and Materials*, vol. 64, issue 5, pp. 465-478, ISSN: 0003-5599, 2017.
- [2] Medvedovski, E., Mendoza, L.G., Vargas, G., Influence of Boronizing on Steel Performance under Erosion-Abrasion-Corrosion Conditions Simulating Downhole Oil Production, *Corrosion and Materials Degradation*, vol. 2, issue 2, pp. 293-324, ISSN: 2624-5558, 2021.
- [3] Medvedovski, E., Chinski, A.F., Stewart, J., Wear-and Corrosion-Resistant Boride-Based Coatings Obtained through Thermal Diffusion CVD Processing, *Advanced Engineering Materials*, vol. 16, issue 6, pp. 713-728, ISSN: 1527-2648, 2014.
- [4] Kahyarian, A., Achour, M., Nešić, S., (2017) CO<sub>2</sub> corrosion of mild steel, *knjiga Trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies*, Izdavač Woodhead Publishing; 1st edition (June 28, 2017), Sawston, Cambridge, p. 149-190.
- [5] Popoola, T.L., Grema, S.A., Latinwo, K.G., Gutti, B., Balogun, S.A., Corrosion problems during oil and gas production and its mitigation, *International Journal of Industrial Chemistry*, vol. 4, issue 1, pp. 1-15, ISSN: 2228-5970, 2013.

- [6] Tyusenkov, S.A., Nasibullina, A.O., Corrosion of tubing of oil fields, International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety, 10 April 2018, Chelyabinsk, Russian Federation.
- [7] Smith, L., Control of corrosion in oil and gas production tubing, British Corrosion Journal, vol. 34, issue 4, pp. 247-253, ISSN: 0007-0599, 1999.
- [8] Al-Moubaraki, H.A., Obot, B.I., Corrosion challenges in petroleum refinery operations: Sources, mechanisms, mitigation, and future outlook, Journal of Saudi Chemical Society, vol. 25, issue 12, pp. 1-28, ISSN: 1319-6103, 2021.
- [9] Paul, S., Kundu, B., Investigation of Sweet and Sour Corrosion of Mild Steel in Oilfield Environment by Polarization, Impedance, XRD and SEM Studies, Corrosion science and technology, vol. 17, issue 5, pp. 249-256, ISSN: 1598-6462, 2018.
- [10] Askari, M., Aliofkhaezai, M., Afroukhteh, S., A comprehensive review on internal corrosion and cracking of oil and gas pipelines, Journal of Natural Gas Science and Engineering, vol. 71, pp. 1-25, ISSN: 1875-5100, 2019.
- [11] Asmara, P.Y., The Roles of H<sub>2</sub>S Gas in Behavior of Carbon Steel Corrosion in Oil and Gas Environment: A Review, Jurnal Teknik Mesin (JTM), vol. 07, issue 1, pp. 37-43, ISSN: 2089-7235, 2018.
- [12] Šarkoćević, Ž., Arsić, M., Rakin, M., Međo, B., Mišić, M., Otpornost na koroziju zavarenih cevi u naftnim bušotinama, Zaštita materijala, vol. 54, issue 1, pp. 57-63, ISSN 0351-9465, 2013.
- [13] Medvedovski, E., Jiang, J., Robertson, M., Iron boride-based thermal diffusion coatings for tribo-corrosion oil production applications, Ceramics International, vol. 42, issue 2, pp. 3190-3211, ISSN: 0272-8842, 2016.
- [14] Crnogorac, M., Optimizacija izbora mehaničke metode eksploatacije naftnih bušotina primenom fazi logike, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, 2020.
- [15] Mysara, E.M., Noaman, E., Mokhtar, C.I., Evaluation of Different Modelling Methods Used for Erosion Prediction, Proceedings of the NACE Corrosion Changhai Conference & Expo, 12-14 October 2011, Changhai, China.
- [16] Fakher, S., Khlaifat, A., Hossain, E.M., Nameer, H., A comprehensive review of sucker rod pumps' components, diagnostics, mathematical models, and common failures and mitigations, Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, vol. 11, issue 10, pp. 3815-3839, ISSN: 2190-0558, 2021.
- [17] Medvedovski, E., Formation of Corrosion-Resistant Thermal Diffusion Boride Coatings, Advanced engineering materials, vol. 18, issue 1, pp. 11-33, ISSN: 1527-2648, 2016.
- [18] Lin, N., Xie, F., Zou, J., Tang, B., Slurry erosion behaviors of P110 steel and chromizing coating in liquid-solid two-phase flow, Science China Technological Sciences, vol. 56, issue 6, pp. 1415-1423, ISSN: 1674-7321, 2013.
- [19] A special report from norris, Sucker Rod Failure Analysis (2015) ([http://apergycdn.5thring.co.uk/Sucker\\_Rod\\_Failure\\_Analysis\\_Brochure\\_V4\\_04-Nov-2015.pdf](http://apergycdn.5thring.co.uk/Sucker_Rod_Failure_Analysis_Brochure_V4_04-Nov-2015.pdf), 28.05.2022.)
- [20] Medvedovski, E., Jiang, R.J., Robertson, M., Tribological properties of boride based thermal diffusion coatings, Advances in Applied Ceramics, vol. 113, issue 7, pp. 427-437, ISSN: 1743-6753, 2014.
- [21] Hariharan, R., Rathinam, B., Neelakandan, B., Beemaraj, R., Kannan, C., Surface modification method of duplex type stainless steels by the pack boriding process, Hemijska industrija, vol. 75, issue 3, pp. 155-166, ISSN: 0367-598X, 2021.



- [22] Medvedovski, E., Antonov, M., Erosion studies of the iron boride coatings for protection of tubing components in oil production, mineral processing and engineering applications, *Wear*, vol. 452-453, issue 1, ISSN: 0043-1648, 2020.
- [23] Medvedovski, E., Jiang, J., Robertson, M., Boride-based coatings for protection of cast iron against wear, *Advances in Applied Ceramics*, vol. 115, issue 8, pp. 483-494, ISSN: 1743-6753, 2016.
- [24] An, J., Su, G.Z., Gao, X.X., Yang, L.Y., Sun, J.S., Corrosion Characteristics of Boronized AISI 8620 Steel in Oil Field Water Containing  $H_2S^1$ , *Protection of metals and physical chemistry of surfaces*, Vol. 48, issue 4, pp. 487-494, ISSN 2070-2051, 2012.
- [25] An, J., Li, C., Wen, Z., Yang, L.Y., Sun, J.S., A study of boronizing of steel aisi 8620 for sucker rods, *Metal Science and Heat Treatment*, Vol. 53, issue 11-12, pp. 598-602, ISSN: 1573-8973, 2012.
- [26] Xu, S.D., Xu, X., Su, G.Z., An, J., Lu, Y., Mechanical properties, wear, and corrosion of boronized N80 tube steel, *Materials Science*, vol. 48, issue 1, pp. 106-112, ISSN 1068-820X, 2012.
- [27] Su, G.Z., Tian, X., An, J., Lu, Y., Yang, L.Y., Sun, J.S., Investigation on Boronizing of N80 Tube Steel, *ISIJ International*, vol. 49, issue 11, pp. 1776-1783, ISSN: 0915-1559, 2009.
- [28] Tian, X., Yang, L.Y., Sun, Y.S., An, J., Lu, Y., Wang, G.Z., Tensile Properties of Boronized N80 Steel Tube Cooled by Different Methods, *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 18, issue 2, pp. 162-167, ISSN: 1544-1024, 2009.
- [29] Lin, N., Zhou, P., Zhou, H., Guo, J., Zhang, H., Zou, J., Ma, Y., Han, P., Tang, B., Pack Boronizing of P110 Oil Casing Tube Steel to Combat Wear and Corrosion, *International Journal of Electrochemical Science*, vol. 10, issue 3, pp. 2694-2706, ISSN: 1452-3981, 2015.
- [30] Zou, J., Lin, N., Qin, L., Tang, B., Xie, F., Protection of oil casing tube steel via surface treatment in china: a literature review, *Surface Review and Letters*, vol. 20, issue 2, pp. 1-5, ISSN: 0218-625X, 2013.
- [31] Lin, N., Li, M., Zou, J., Wang, X., Tang, B., Study on Fabrication and Corrosion Resistance of Ni-Based Alloy Coating on P110 Steel by Electro Spark Deposition, *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 22, issue 5, pp. 1365-1370, ISSN: 1544-1024, 2013.

---

Адреса аутора: Стојановић Жељко, "Hutchinson"  
 д.о.о. Индустијска 71, Рума  
 е-маил: zeljkoelemir@gmail.com  
 Рад примљен: јул 2022.  
 Рад прихваћен: септембар 2022.



БОГДАН МАГЛИЋ  
(1928 – 2017)

Наш чувени нуклеарни физичар.  
Први открио елементарну честицу  
Омега пи Мезон (честица  $C$ ).  
Аутор великог броја патената у области  
примене нуклеарне енергије у мирнодопске  
сврхе.

Професор америчких универзитета  
у Пенсилванији и Њу Џерсију.  
Члан САНУ.



**ДИТ**

Друштво Истраживање Технологије

Научно-стручни часопис  
Scientific-profesional journal

Година XXVIII, Број 38, септембар 2022. год.  
Year XXVIII, Issue 38, September 2022. 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



# АНАЛИЗА ЕНЕРГЕТСКИХ ИНДИКАТОРА ОДРЖИВОГ РАЗВОЈА

## *ANALYSIS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT ENERGY INDICATORS*

СИНИША ДРОПО<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Универзитет у Источном Сарајеву, Факултет за производњу и менаџмент Требиње

### РЕЗИМЕ

У овој раду дат је преглед индикатора одрживог развоја и урађена је анализа енергетских индикатора одрживог развоја у Републици Српској. Анализа је обухватила пет индикатора животне средине који имају значајну улогу у одрживом развоју Републике Српске.

**Кључне речи:** Енергетски индикатори, Одрживи развој

### ABSTRACT

This paper defines indicators of sustainable development and analyzes energy indicators of sustainable development in the Republic of Srpska. The analysis included five environment indicators which have a significant role in the sustainable development of the Republic of Srpska.

**Key words:** Energy indicators, Sustainable development

### 1. УВОД

Приступ јефтиној енергији један је од главних циљева које су постављале државе широм свијета. Ако овај приступ обезбјеђује и енергетску независност, онда се ово сматрало идеалном ситуацијом. Дуги низ деценија ово стање су постизале земље са великим количинама необновљивих енергетских ресурса (нафта, камени угаљ, лигнит, гас) у којима је производња енергије процес који се, углавном, заснивао на кориштењу ових ресурса.

Међутим, оваква енергија, присутна дуги низ деценија и заснована на конвенционалним изворима енергије, изазвала је огромне поремећаје у животној средини. Ефекат стаклене баште, климатске промјене и низ других неповољних појава учинили су да економски планови све више узимају у

обзир еколошки фактор. Постало је очигледно да даљи економски развој заснован на енергији произведеној из конвенционалних извора енергије може довести до енормних промјена у животној средини.

Повећање друштвене свијести о заштити животне средине уз динамичан технички развој створило је могућност да се промјени наведени тренд. Нове технологије омогућавају добијање енергије из других извора, посебно обновљивих, а често и у земљама које нису имале никакве конвенционалне енергетске ресурсе. Истовремено, земље чија је привреда заснована на конвенционалним ресурсима су све више принуђене да трансформишу своје енергетске системе.

Концепт одрживог развоја тежи друштву у коме ће економски, социјални, културни и еколошки фактори бити

уравнотежени. То је стратегија која обједињује развој и проблеме животне средине. Значај одрживог развоја се огледа и у величини и интензитету еколошког напретка који је главно обиљежје савременог друштва. Наиме, еколошка криза је нераздвојни дио великих цивилизацијских збивања. Прије свега, она је резултат начина производње, али и модела потрошње и привредног раста [2].

Идеја глобалног одрживог развоја се може постићи само ако се примјењује не само на глобалном нивоу већ и на локалном нивоу. Улога локалних власти и заједница овђе је од пресудног значаја. Такав процес укључује карактеристике обиљежене локалним условима, укључујући географске, економске, социолошке, као и јавно мњење. Локални одрживи развој није само стратегија животне средине, већ и рјешавање социјалних и економских проблема [2].

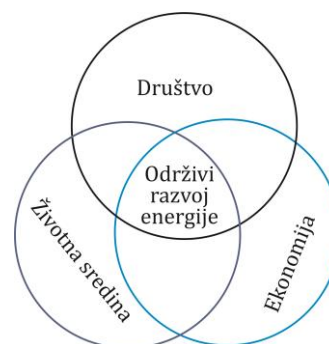
Дубље разумијевање узрочно посљедичних веза у односима енергија – животна средина – економија пружају енергетски индикатори. Енергетски индикатори не представљају само енергетску статистику, они истичу везе које можда нису видљиве из једноставне статистике. Узети заједно, индикатори могу дати слику читавог енергетског система, укључујући међусобне везе и компромисе између различитих димензија одрживог развоја, као и дугорочне импликације тренутних одлука и понашања. Промјене вриједности индикатора током времена означавају напредак или недостатак напретка ка одрживом развоју [1].

У овом раду дате су основе одрживог развоја енергије и енергетских индикатора. Енергетски индикатори имају важну улогу у поћели информација и повећању мотивације за континуирано унапређење енергетског система. Такође, у раду су дате вриједности основних индикатора животне средине за Републику Српску, као процјена утицаја енергетског система на животну средину.

## 2. ОДРЖИВИ РАЗВОЈ ЕНЕРГИЈЕ

Одрживи развој енергетског сектора држава и региона представља важан дио укупног концепта одрживог развоја на глобалном нивоу.

С једне стране, енергија има утицај на животну средину, економски развој и друштвено благостање становништва, а на другој страни производња енергије, такође, зависи од просперитета и величине становништва, Сл. 1..



Слика 1. Однос између одрживог развоја енергије и животне средине, друштва и привреде [3]

Активности везане за одрживи развој енергетских система укључују смањење емисије гасова стаклене баште и емисије загађујућих материја у атмосферу, повећану сигурност снабдевања енергијом, коришћење обновљивих извора енергије, као и побољшану енергетску ефикасност и квалитет живота [4].

Тренутни трендови производње и потрошње енергије су углавном засновани на ограниченим ресурсима фосилних горива што је свакако неодрживо у будућности. Наиме, у читавом енергетском ланцу од процеса вађења ресурса до потрошње енергије постоје негативни утицаји на животну средину и здравље људи. Управо се одрживим развојем жели постићи смањење утицаја производње и потрошње енергије на климатске промјене и на тај начин постићи и обезбиједити одржива енергија.

Сигурна и одржива енергија је кључ одрживог развоја. Раст броја становника, индустријализација и развој пољопривреде утиче на раст потреба за енергијом. Са друге стране, пријетње глобалним загријавањем доводе до потребе да се смањи употреба енергије засноване на садашњим примарним изворима енергије. Нова ера економског раста треба да буде мање енергетски интензивна. Стога све стратегије коришћења енергије и енергетске ефикасности треба критички да се посматрају. Рјешења која воде одрживом развоју углавном се ослањају на истраживања и развој у области заштите животне средине, развој технологија за повећање енергетске ефикасности, еколошки прихватљивим алтернативама производње енергије и начинима за повећање безбједности нуклеарне енергије.

### **3. ЕНЕРГЕТСКИ ИНДИКАТОРИ И ОДРЖИВИ РАЗВОЈ**

Енергетски индикатори обезбјеђују дубље и боље разумијевање проблема одрживог развоја и показују повезаност која није очигледна коришћењем алата опште статистике. Енергетски индикатори дају јасну слику цјелокупног система, укључујући повезаности и размјене између различитих димензија одрживог развоја, као и дугорочну импликацију тренутних одлука и понашања. Промјене у вриједностима индикатора временом прате да ли постоји напредак у одрживом развоју [5].

Значај енергетских индикатора се огледа у томе што они не дају само информације о тренутној ситуацији, већ и тренд и изглед. Индикатори указују на промјену која је потребна како би се остварио напредак у области одрживе енергетске политике.

У процјенама одрживости енергетских система користе се:

- Индикатори животне средине;
- Социјални индикатори;

- Економски индикатори.

#### **3.1. ИНДИКАТОРИ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ**

Енергетски индикатори животне средине баве се темама утицаја производње енергије на атмосферу, воду и земљиште. За процјену утицаја на атмосферу разматрају се емисије гасова стаклене баште, повезане са климатским промјенама и загађивачи који деградирају квалитет ваздуха [1]. Централну тему за разматрање заузима емисија гасова стаклене баште, поготово она количина изазвана људским фактором. Тема воде посебно покрива квалитет воде одређен испуштањем загађивача [1]. Загађивачи се у водене токове у највећој мјери испуштају преко отпадних одвода из енергетских система, док се дјелимично испуштају приликом ископавања фосилних горива. Тема земље директно се бави квалитетом земљишта, као и крчењем шума и стварањем и одлагањем отпада [1]. Највећи загађивач земљишта је управо отпад који настаје из процеса производње енергије. Најчешће је то чврсти отпад, али може бити и радиоактивни, који је уједно и најопаснији.

#### **3.2. СОЦИЈАЛНИ ИНДИКАТОРИ**

Различити друштвени проблеми се могу повезати са коришћењем енергије: сиромаштво, квалитет живота, образовање, демографска транзиција, загађење у затвореном простору, здравље.... Друштвена димензија одрживог енергетског развоја одражава потребу људи да имају приступ основним енергетским услугама у облику комерцијалне енергије по приступачним цијенама. Енергетски индикатори социјалне димензије су посебно важни земљама у развоју које и даље имају значајан удио становништва без савремених енергетских услуга.



Социјални индикатори одражавају друштвени аспект опција које се разматрају. Састоје се од индикатора посла, индикатора стандарда и индикатора заједнице. Елемент индикатора посла представља број нових радних мијеста за отварање који одговарају одговарајућој опцији. Индикатор стандарда је елемент који одражава потенцијално повећање животног стандарда у заједници. Индикатор заједнице узима у обзир користи заједнице од индивидуе [6].

### **3.3. ЕКОНОМСКИ ИНДИКАТОРИ**

Основни предуслов сваке савремене економије представља поуздано и адекватно снабдијевање енергијом. Сви сектори економије (стамбена, трговачка, транспортна, услужна и пољопривредна) захтијевају савремене енергетске услуге. Ове услуге заузврат подстичу економски и социјални развој на локалном нивоу повећањем продуктивности и омогућавањем локалног дохотка. Такође, снабдијевање енергијом утиче на радна мјеста, продуктивност и развој [5]. Група економских индикатора се заснива на елементима који укључују индикатор ефикасности, индикатор улагања и индикатор јединичне цијене енергије. Индикатор ефикасности је дефинисан као термодинамичка ефикасност система. Он укључује енергетски ефикасну конверзију из енергетских ресурса у „финалну енергију”. Индикатор трошкова улагања има за циљ да добије валоризацију инвестиције по јединици снаге, док индикатор јединичне цијене енергије садржи цијену енергије по једном kWh производње [6].

### **4. ЕНЕРГЕТСКИ ИНДИКАТОРИ ОДРЖИВОГ РАЗВОЈА У РЕПУБЛИЦИ СРПСКОЈ**

Процјена одрживог развоја енергетског сектора, у овом раду, урађена је на примјеру Републике Српске.

Одабрана је група индикатора везаних за животну средину.

У наставку је обрађено пет индикатора животне средине (ЖС). Вриједности већине индикатора су рачунате за период 2010.-2018. године, док су вриједности појединих индикатора рачунате за краћи временски период у складу са доступним подацима.

#### **4.1. ЖС 1: ЕМИСИЈЕ ГАСОВА СТАКЛЕНЕ БАШТЕ ИЗ ПРОЦЕСА ПРОИЗВОДЊЕ И ПОТРОШЊЕ ЕНЕРГИЈЕ ПО СТАНОВНИКУ И ПО ЈЕДИНИЦИ БДП-А**

Овај индикатор указује на укупну, по глави становника или по јединици бруто домаћег производа (БДП), емисију из процеса производње енергије, три главна гаса (угљен-диоксид ( $\text{CO}_2$ ), метан ( $\text{CH}_4$ ) и азотсубоксид ( $\text{N}_2\text{O}$ )) који изазивају ефекат стаклене баште и који директно утичу на глобалне климатске промјене [7].

Предвиђа се да ће резултирајући ефекат довести до екстремнијих временских појава него у прошлости, при чему су неке области искусиле повећане падавине и олује, а друге претрпиле велике суше. Колико брзо и гдје ће се та промјена десити још увијек је неизвјесно, али посљедице могу бити озбиљне, посебно у земљама у развоју, које су најмање способне да се припреме и носе са ефектима екстремних временских услова као нпр. поплаве, клизишта, суше итд.

Вриједности овога индикатора су израчунате за период 2010.-2018., и приказане су у табелама Табела 1. и Табела 2. (по глави становника и по јединици БДП-а, респективно). Емисије  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$  су прерачунате у еквиваленте  $\text{CO}_2$  користећи стогодишњи временски оквир за потенцијал глобалног загријавања (Global Warming Potential - GWP).

**Табела 1.** Вриједности индикатора ЖС1 по глави становника

Год.	Емисија GHG (CO <sub>2</sub> -eq)	Број становника	Gg CO <sub>2</sub> -eq/глави становника
2010	7232	1,176,419	0.00615
2011	8139	1,174,420	0.006930
2012	7475	1,173,131	0.00637
2013	7734	1,171,179	0.00660
2014	7598	1,167,082	0.00651
2015	7538	1,162,164	0.00649
2016	9421	1,157,615	0.00814
2017	6411	1,153,017	0.00816
2018	9852	1,147,902	0.00858

**Табела 2.** Вриједности индикатора ЖС1 по јединици БДП-а

Год.	Емисија GHG (CO <sub>2</sub> -eq)	БДП (000КМ)	Gg CO <sub>2</sub> -eq/BDP
2010	7232	8357415	0.00087
2011	8139	8720039	0.00093
2012	7475	8638111	0.00087
2013	7734	8814459	0.00088
2014	7598	8910201	0.00085
2015	7538	9224129	0.00082
2016	9421	9650962	0.00098
2017	6411	10099280	0.00093
2018	9852	10701007	0.00092

Из ове двије табеле је видљиво да емисије CO<sub>2</sub>-eq из процеса производње и потрошње енергије по становнику и по јединици БДП расту у посматраном периоду. Како највеће емисије на овим просторима настају у енергетском сектору услед сагоријевања горива за производњу електричне и топлотне енергије, те за погон моторних возила, из наведених података се може закључити да је дошло до пораста производње енергије из фосилних горива.

#### 4.2. ЖС2: КОНЦЕНТРАЦИЈА ПОЛУТАНАТА У АТМОСФЕРИ УРБАНИХ СРЕДИНА

Све већи проценат становништва живи у урбаним срединама. Велика густина насељености и концентрација индустрије и саобраћаја на релативно малом простору врши велики притисак на локалну животну средину. Такође, загађење ваздуха кориштењем енергије у домаћинствима, индустрији, електранама и транспотру представљају велики проблем.

Индикатор ЖС 2 обезбјеђује процјену стања животне средине у смислу квалитета ваздуха који може довести до здравствених проблема код људи у урбаним срединама [7].

Овај индикатор прати концентрације загађивача ваздуха као што су озон O<sub>3</sub>, угљен-моноксид CO, честице PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, укупне суспендоване честице (TSP).

Овај индикатор се може користити за праћење трендова загађења ваздуха као основа за одређивање приоритета политичких акција, да се мапирају нивои загађења ваздуха како би се идентификовала жаришта или области којима је потребна посебна пажња, да помогне у процјени броја људи који су изложени прекомјерном нивоу загађења ваздуха, да прати нивое усклађености са стандардима квалитета ваздуха, да процјени ефекте политике квалитета ваздуха и да помогне у истрази повезаности између загађења ваздуха и утицаја на здравље.

У табели 3 су приказане вриједности средњих годишњих концентрација неких загађивача ваздуха [µg/m<sup>3</sup>] у градовима Бања Лука, Брод, Приједор, Бијељина, Гацко и Угљевик.

**Табела 3.** Вриједности индикатора ЖС2

Град	2020.		
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>
Бања Лука (центар града)	8	20	43
Брод (рафинерија нафте)	14	12	42
Приједор	7	15	43

Бијељина (топлана)	30	<u>62</u>	37
Гацко	39	14	27
Угљевик	66	7	21

У табели су црвеном бојом означене вриједности које се налазе изнад граничних дозвољених вриједности (за SO<sub>2</sub> 50µg/m<sup>3</sup>, NO<sub>2</sub> 40µg/m<sup>3</sup> и PM<sub>10</sub> 40µg/m<sup>3</sup>).

#### 4.3. ЖС3: ЕМИСИЈА ПОЛУТАНАТА ИЗ ЕНЕРГЕТСКИХ СИСТЕМА У АТМОСФЕРУ

На концентрацију загађујућих материја у великој мјери утиче производња енергије и обрасци потрошње, на које са друге стране утичу енергетски интензитет и ефикасност.

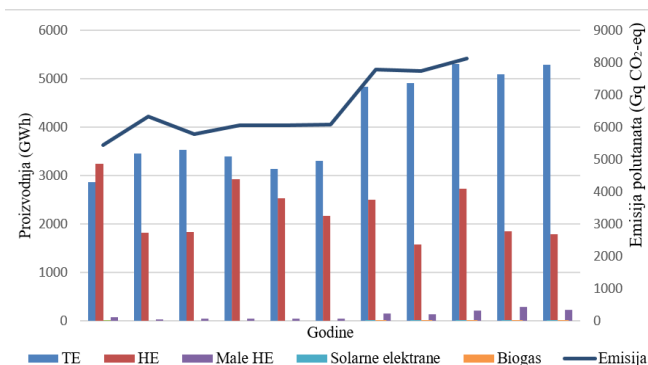
Помоћу индикатора ЖС 3 прати се ослобађање полутаната у атмосферу из енергетског сектора. Он се користи за процјену успјеха националних политика у домену заштите животне средине, као и за приказивање нивоа оптерећења у животној средини сходно смањењу загађивања ваздуха у енергетски усмјереним активностима, укључујући и производњу електричне енергије и саобраћај [7].

Овај индикатор је рачунат за период 2010.-2018. и његове вриједности су приказане у Табели 4, док је на дијаграму приказаном на слици 2 приказана вриједност овог индикатора и учешће појединих извора енергије у укупном енергетском миксу.

Табела 4. Вриједности индикатора ЖС3

Година	Емисије GHG (Gg CO <sub>2</sub> -eq)
2010	5448.15
2011	6337.52
2012	5787.78
2013	6067.38
2014	6063.25
2015	6079.17

Година	Емисије GHG (Gg CO <sub>2</sub> -eq)
2016	7786.42
2017	7740.22
2018	8118.61



Слика 2. Производња енергије и емисије полутаната за период 2010.-2020. године

Табела 4 јасно говори да је емисија полутаната из енергетског сектора у великом порасту. Ово се може објаснити дијаграмом на слици слици 2, и чињеницом да је у анализираном периоду дошло до значајног повећања учешћа необновљивих извора енергије у производњи и потрошњи енергије. У складу са наведеним у 2016. години је дошло до највеће емисије из енергетског сектора због највећег пораста повећања производње енергије и потрошње угља у термоелктранама Републике Српске.

#### 4.4. ЖС4: ОДНОС ЧВРСТОГ ОТПАДА И ЈЕДИНИЦЕ ПРОИЗВЕДЕНЕ ЕНЕРГИЈЕ

Наведени индикатор даје информације о количини и типу чврстог отпада који се произведе у енергетском сектору и за чије су правилно одлагање неопходни грађевински објекти. Енергетски сектор генерише посебне врсте чврстог отпада који се јавља у свим фазама, почев од експлоатације енергената па до употребе финалног производа, као што је отпад из процеса прераде руда, отпад из процеса прераде горива или његовог

сагоријевања. Количина отпада која се јавља у рударству има тенденцију да буде велика, а сама природа отпада га истовремено чини и безбиједоносно опасним.

Овај индикатор је рачунат за период 2015.-2019. и његове вриједности су приказане у Табели 5 [8].

**Табела 5.** Вриједности индикатора ЖС4

Година	Количина чврстог отпада (t)	Произведена енергија (GWh)	Вриједност индикатора (t/GWh)
2015	403352	5881	68.586
2016	425962	7968	53.459
2017	391186	7144	54.757
2018	395737	8844	44.746
2019	399826	7782	51.378

#### 4.5. ЖС5: ОДНОС ПРОПИСНО УСКЛАДИШТЕНОГ И УКУПНО ГЕНЕРИСАНОГ ЧВРСТОГ ОТПАДА

Основна сврха овога индикатора је да процјени ниво правилне збринутости отпада из енергетског сектора. Уколико није збринут на адекватан начин, чврсти отпад може реаговати на ватру, утицати на појаву клизишта или испуштање тешких метала и других загађујућих материја у воду или земљиште. Поред тога, велике количине отпада могу заузети значајан простор, нарушити изглед предјела или утицати на локална станишта дивљих животиња. Генерално важи да неадекватно одлагање и збрињавање отпада може умногоме оштетити и контаминирати ријечни систем или земљиште [7].

Процентуални однос количине прописно ускладишеног отпада и укупне количине отпада (вриједност индикатора ЖС 5) приказан је у Табели 6. Вриједности наведеног индикатора су дате за период 2015.-2019.

**Табела 6.** Вриједности индикатора ЖС5

Година	Количина прописно ускладишеног чврстог отпада (t)	Укупна количина чврстог отпада (t)	Вриједност индикатора (%)
2015	265913	403352	65.926
2016	272121	425962	63.884
2017	282956	391186	72.333
2018	294666	395737	74.460
2019	321178	399826	80.329

## 5. ЗАКЉУЧАК

Одржива употреба енергије и одрживо управљање енергијом је препознато као један од најважнијих елемената савремене енергетике. Један од параметара одрживог развоја су свакако енергетски индикатори, параметри који показују стање у области енергетике и одрживог развоја. Енергетски индикатори су квалитетан, користан и веома поуздан алат за одређивање утицаја производње и потрошње енергије на све аспекте друштва. Они су незамјенљиви приликом процјене одрживог развоја неке регије или државе.

Анализа индикатора одрживог развоја у овом раду указује да се вриједности посматраних индикатора нису побољшале у посматраном периоду. Ово је првенствено из разлога што су трендови у производњи и потрошњи енергије и даље засновани, првенствено, на ресурсима фосилних горива. Ово наглашава потребу да се више пажње треба посветити одрживом управљању, одрживој производњи и одрживој потрошњи енергије.

## 6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Vera I., and Langlois L., „Energy indicators for sustainable development”, Energy 32, pp. 875-882, 2007.
- [2] Стојановић В., „Туризам и одрживи развој”, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за географију, туризам и хотелијерство, 2011.
- [3] Tutak M., Brodny J., Siwiec D., Ulewic R., and Bindzar P., „Studying the Level

- of Sustainable Energy Development of the European Union Countries and Their Similarity Based on the Economic and Demographic Potential“, *Energies* 13, 6643, pp. 1-31, 2020.
- [4] Jovanović M., Afgan N., Radovanović P., Stevanović V., „Sustainable development of the Belgrade energy system“, *Energy* 34, pp. 532-539, 2009.
- [5] Врачевић Ј., „Креирање индикатора одрживог развоја енергије ДЕА методом“, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департаман за математику и информатику, „Мастер рад“
- [6] Afgan N. H., Carvalho M. G., and Novanov N. V, „Energy system assessment with sustainability indicators“, *Energy Policy* 28, pp. 603-612, 2000.
- [7] Антић Д., Крстић И., Ђорђевић А., „Индикатори енергетских перформанси технолошких система“, Универзитет у Нишу, факултет Заштите на раду, 2007.
- [8] Републички завод за статистику Републике Српске, онлајн база података, доступно на: [http://www3.rzs.rs.ba:8080/rzs/faces/indicators.xhtml?up\\_mi=24](http://www3.rzs.rs.ba:8080/rzs/faces/indicators.xhtml?up_mi=24)
- [9] Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде Републике Српске, Републички Хидрометеоролошки завод, Извјештај о емисији гасова стаклене баште 2002.-2018., 2021.
- [10] Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде Републике Српске, Републички Хидрометеоролошки завод, Извјештаји о квалитету ваздуха за Републику Српску 2012.-2019.

---

Адреса аутора: Дропо Сениша, Дипломирани инжењер индустријског инжењерства за енергетику, Факултет за Производњу и Менаџмент, Требиње, Степе Степановића ББ, 89101 Требиње  
е-маил: [sdgoro@yahoo.com](mailto:sdgoro@yahoo.com)  
Рад примљен: јул 2022.  
Рад прихваћен: септембар 2022.



# ДИТ

Друштво Истраживање Технологије

Научно-стручни часопис  
Scientific-professional journal

Година XXVIII, Број 38, септембар 2022. год.  
Year XXVIII, Issue 38, September 2022. year

## ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО

---

Одговорни уредник:

Проф. др Лазо Манојловић  
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

Проф. др Жељко Еремић.  
Висока техничка школа струковних студија  
Зрењанин

---

Редакција:

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





---

# PRIMENA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE U PROCESU PRERADE OTPADNIH VODA

## *APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN WASTEWATER PROCESSING*

MILJAN MILETIĆ<sup>1</sup>  
MILORAD RANČIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Akademija strukovnih studija Šumadija, odsek Kruševac

<sup>2</sup>Društvo inženjera u Zrenjaninu, Zrenjanin

---

### REZIME

Ovaj rad prikazuje osnovne elemente i principe višeslojnog perceptrona (Multilayer perceptron-MLP), MLP neuronske mreže i njenu primenu u procesu automatizacije i kontrole procesa prerade industrijskih otpadnih voda. U radu je prikazan jedan od najznačajnijih procesa u preradi otpadnih voda – proces regulacije pH vrednosti vode. Prikazano je kako se MLP mreža može primeniti i obučiti za regulaciju izlaznih vrednosti (struje, napona) koja se vrši upotrebom pulsne modulacije - PWM (Pulse Width Modulation).

Cilj je da kontroler uz pomoć informacija koje se dobijaju sa senzora i aktuatora i vrednosti iz klasifikovane baze podataka uči na sopstvenim greškama i sam nauči kako da dobije idealne vrednosti pH na izlazu, odnosno prilikom ispuštanja vode u recipijent bez intervencije ljudskog faktora.

**Ključne reči:** MLP, neuronska mreža, automatizacija, PWM

### ABSTRACT

This paper presents the basic elements and principles of the Multilayer Perceptron-MLP neural network and its application in the process of automation and control of the industrial wastewater treatment process.

In the paper, one of the important processes in waste water processing is the process of regulating the pH value of water. It is shown how the MLP network can be applied and trained for the regulation of output values (current, voltage) which is achieved using PWM pulse- width modulation.

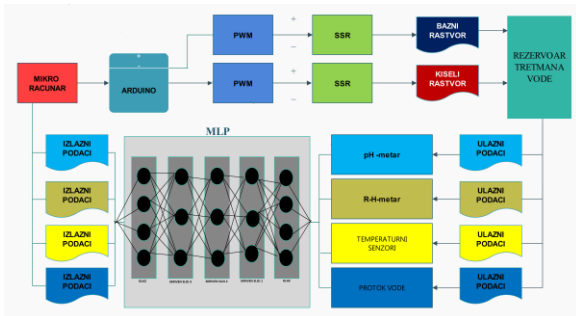
The goal is for the controller, with the help of information obtained from sensors and actuators and values from a classified database, to learn from its own mistakes and to learn by itself how to obtain ideal pH values at the outlet, i.e. when discharging water into the receiver without the intervention of the human factor.

**Key words:** MLP, neural network, automation, PWM

---

## 1. UVOD

Rad predstavlja primenu veštačke inteligencije na jednom od bitnih procesa u preradi i prečišćavanju otpadnih voda i regulisanju pH vrednosti vode. U ovom radu akcenat je na primenjenoj mreži veštačke inteligencije MLP koja je upotrebljena u razvoju algoritma za kontrolu rada uređaja. MLP mreža se sastoji od ulaznog dela u kome se primaju rezultati izmereni na sensorima (pH, nivo vode, temperatura, Rh, fotosenzori). MLP mreža mora da ima minimalno jedan skriveni sloj (hidden layer), a za ovaj projekat je korišćena mreža sa tri skrivena sloja koji direktno utiču na algoritame za odlučivanje.



Slika 1. Principijalna šema regulacije pH

Skriveni slojevi dobijaju informacije iz istrenirane baze podataka u koju su podaci uneseni nakon eksperimentalnih merenja prilikom rada u fazi projektovanja i istraživanja. Parametri su dobijeni za različite vrednosti pH, Rh, temperature, boju vode. Klasifikovani su u dve osnovne grupe: parametri dobrih vrednosti, odnosno H<sub>2</sub>O OK i parametre loših vrednosti, tj. H<sub>2</sub>O NOT OK. Vrednosti su *float* sa decimalnim zarezom na šestoj decimali i kao takvi su upisani u MySQL bazu podataka. Ova baza je prvenstveno izabrana zbog direktnog upisa vrednosti sa mernih elemenata koje se putem Python aplikacije prosleđuju PHP aplikaciji koja vrši unose podataka u bazu.

Trenutno se baza svakodnevno nadograđuje, vrši se ažuriranje vrednosti sa senzora na svakih 5 minuta i vrednosti se unose u ovu bazu koja se nalazi na jedinstvenom serveru. Dobijanjem novih

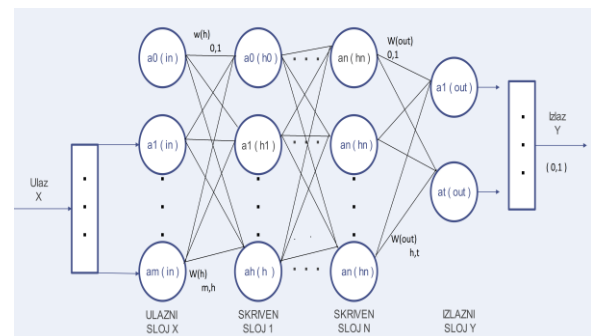
podataka i povećanjem baze značajno se uvećava efikasnost na primenjeni algoritam veštačke inteligencije.

```
temp2.py - C:/Users/v/Desktop/temp2.py (3.10.4)
File Edit Format Run Options Window Help
import MySQLdb
db= MySQLdb.connect(host="localhost", user="root", passwd="",
db="mysql")
try:
    pH1 = raw_input("pH1: ")
    pH2 = raw_input("pH2: ")
    pH3 = raw_input("pH3: ")
    temperatura1 = raw_input("Temperatura1: ")
    temperatura2 = raw_input("Temperatura2: ")
    temperatura3 = raw_input("Temperatura3: ")
    datum = int( raw_input("Datum: ") )
except:
    print "Invalid value"
    exit
print "pH1: ["+ pH1 + "]"
print "pH2: ["+ pH2 + "]"
print "pH3: ["+ pH3 + "]"
print "Temperatura1: ["+ temperatura1 + "]"
print "Temperatura2: ["+ temperatura2 + "]"
print "Temperatura3: ["+ temperatura3 + "]"
print "Datum: " + str(datum)
cursor = db.cursor()
stmt = "INSERT INTO temperature (datum, pH1, pH2, pH3, temperatura1, temperatura2, temperatura3) VALUES (%s, %s, %s, %s, %s, %s, %s)"
stmt = stmt + pH1
stmt = stmt + ", "
stmt = stmt + pH2
stmt = stmt + ", "
stmt = stmt + pH3
stmt = stmt + ", "
stmt = stmt + temperatura1
stmt = stmt + ", "
stmt = stmt + temperatura2
stmt = stmt + ", "
stmt = stmt + temperatura3
stmt = stmt + ", "
stmt = stmt + str(datum)
cursor.execute(stmt)
db.commit()
db.close()
```

Slika 2. Source code Python-unos u bazu

## 2. MLP

Višeslojni perceptron-MLP je dodatak neuronske mreže koji se sastoji od tri tipa slojeva-ulaznog, izlaznog i skrivenog sloja. Ulazni sloj prima ulazni signal koji je neophodno obraditi. Zadatak koji se zahteva kao što je npr. predviđanje i klasifikacija obavlja izlazni sloj. Proizvoljan broj skrivenih slojeva je smešten između ulaznog i izlaznog sloja i oni čine pravi računarski mehanizam MLP-a. Podaci teku u pravcu od ulaznog ka izlaznom sloju (u pravcu ka napred). Neuronu u MLP-u su obučeni pomoću algoritma učenja povratnog širenja. MLP-ovi su dizajnirani da predviđaju bilo koju kontinuiranu funkciju i imaju mogućnost rešavanja problema koji nisu linearno odvojivi. Glavni slučajevi upotrebe MLP-a su klasifikacija obrazaca, prepoznavanje, predviđanje i aproksimacija.[1]



Slika 3. Prikaz višeslojnog perceptrona

Proračuni koji se odvijaju na svakom neuronu u izlaznom i skrivenom sloju su sledeći:

$$\bullet \quad o(x) = G(b(2) + W(2)h(x)) \quad (1)$$

$$\bullet \quad h(x) = \Phi(x) = s(b(1) + W(1)x) \quad (2)$$

gde su  $b(1)$ ,  $b(2)$  bias vektori; matrice težine  $V(1)$ ,  $V(2)$  i  $G$  i  $s$  aktivacione funkcije. Skup parametara za učenje je skup  $th = \{V(1), b(1), V(2), b(2)\}$ .

Tipični izbori za  $s$  uključuju funkciju  $\tanh$  sa  $\tanh(a) = (e^a - e^{-a}) / (e^a + e^{-a})$

ili logističku sigmoidnu funkciju, sa  $\text{sigmoid}(a) = 1 / (1 + e^{-a})$ .

Višeslojni perceptron MLP je jedan proces veštačke neuronske mreže sa više slojeva. U jednom perceptronu mogu se rešiti izrazito linearni problemi, ali za nelinearne slučajeve nije pogodan. Za rešavanje ovih složenih problema može se uzeti u obzir MLP. Težine mreže se postavljaju slučajnim redosledom pre početka obuke. Nakon završetka učenja korišćenjem podataka obuke, model je validiran. Izlaz zavisi od neurona i težine neuronske mreže, što može biti predstavljeno sa:

$$y = wx + b,$$

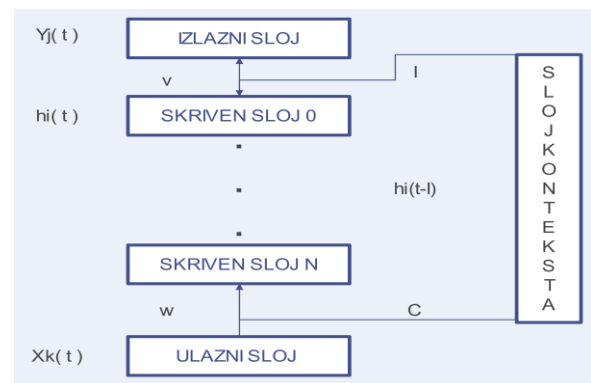
gde je  $w$  težina, a  $b$  bias.[2]

MLP je najrasprostranjenija struktura neuronske mreže, naročito dvoslojna struktura (u ovoj strukturi su ulazne jedinice i izlazni sloj međusobno povezani sa međuskrivenim slojem). Model svakog pojedinačnog neurona u mreži sadrži nelinearnu aktivacionu funkciju koja se može razlikovati. Mreža ima mogućnost statičkog mapiranja između ulaznog i izlaznog prostora.

RNN (Recurrent Neural Network) – rekurentna neuronska mreža radi i na ulaznom i na unutrašnjem prostoru stanja. Primena povratnih veza daje mogućnost RNN-u da stekne reprezentaciju stanja. Sve specifične RNN arhitekture sadrže statički MLP ili neke njegove delove i imaju najmanje jednu povratnu petlju.

Jedna od RNN je Elmanova RNN koji sadrži dodatni sloj - kontekstni sloj. Čvorovi ovog sloja su elementi kašnjenja u jednom koraku ugrađeni u lokalne putanje povratnih

informacija. Ova RNN uključuje rekurentne veze počev od skrivenih neurona do sloja kontekstualnih jedinica koje se sastoje od kašnjenja u jedinici vremena. Ove jedinice čuvaju izlaze skrivenih neurona (sa 1-težinama) za jedan vremenski korak, pa ih potom vraćaju u ulazni sloj. Skriveni neuroni na taj način imaju neke zapise o svojim prethodnim aktivacijama, što mreži pruža mogućnost obavljanja zadataka učenja koji se pojavljuju tokom vremena.



Slika 4. Struktura dvoslojnog Elmanovog RNN-a sa pridruženom matricom težine

Za dvoslojnu Elmanovu mrežu sa  $n$  ulaznih čvorova (indeks  $k$ ),  $m$  skrivenih čvorova (indeks  $i$ ) i  $m$  kontekstnih jedinica (indeks  $u$ ) i  $p$  izlaznih čvorova (indeks  $j$ ); odgovarajuće ulazno-izlazno mapiranje u trenutku  $t$  može se napisati kroz sledeću jednačinu:

$$\begin{cases} y_j(t) = f\left(\sum_{i=1}^m h_i(t)v_{ji} + b_j\right) \\ h_i(t) = g\left(\sum_{k=1}^n x_k(t)w_{ik} + \sum_{u=1}^m h_i(t-1)c_{iu} + b_i\right) \end{cases}$$

Aktivacija trenutnog stanja  $h_i(t)$  se kombinuje sa prethodnom aktivacijom  $h_i(t-1)$  kroz kontekstni sloj. Označavaju se odgovarajuće matrice težine u mreži:  $V_m \times n$ ,  $C_m \times m$ ,  $V_p \times m$ ; odgovarajuće prenosne (diferencijabilne) funkcije za skrivene ( $g$ ) i izlazne ( $f$ ) slojeve i termin za bias  $b$ .

Ovakav način učenja pretpostavlja dostupnost označenog (tj. istinitog) skupa podataka za obuku koji se sastoji od  $N$  ulazno-izlaznih primera:

$$T = \{(x_i, d_i)\}_{i=1}^N$$

pri čemu je  $x_i$  = ulazni vektor  $i$ -tog primera, dok je  $d_i$  = željeni (ciljni) odgovor  $i$ -og primera, za koji se pretpostavlja da je skalaran radi pogodnosti prezentacije, a  $N$  je veličina uzorka. Obzirom na uzorak za obuku  $T$ , zahtev je da se izračunaju slobodni parametri neuronske mreže tako da stvarni izlaz  $i$  neuronske mreže zbog  $x_i$  bude dovoljno blizu  $d_i$  za sve  $i$  u statističkom smislu. U tom slučaju može se koristiti jednačina za srednju kvadratnu grešku:

$$E(n) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (d_i - y_i)^2$$

(kao indeks učinka koji treba minimizovati).

MLP-ovi su modeli neuronske mreže koji imaju ulogu univerzalnih aproksimatora, tj. mogu predvideti bilo koju kontinuiranu funkciju. MLP-ovi se sastoje od neurona koji se nazivaju percepcije. Perceptron prima  $n$  numeričkih karakteristika na ulazu ( $k = k_1, k_2, \dots, k_n$ ), a svaka od njih je povezana sa težinom. Nenumeričke ulazne karakteristike se moraju konvertovati u numeričke kako bi se perceptron koristio. Npr. kategorička karakteristika sa  $p$  mogućih vrednosti može biti konvertovana u  $p$  ulaznih karakteristika koje predstavljaju prisustvo ili odsustvo ovih vrednosti i nazvane su lažne varijable. Primera radi, ako ulazna karakteristika „*tip razvoja*“ može imati vrednosti „*novi razvoj*“, „*poboljšanje*“ ili „*ponovni razvoj*“, tada je moguća zamena sa tri lažne promenljive „*novi razvoj*“, „*poboljšanje*“ i „*rekonstrukcija*“, koji uzimaju vrednost 1, ukoliko je prisutna odgovarajuća vrednost ili 0, ukoliko je ona odsutna.

Ulazne karakteristike se prenose na ulaznu funkciju  $u$ , koja izračunava ponderisani zbir ulaznih karakteristika:

$$u(x) = \sum_{i=1}^n w_i x_i$$

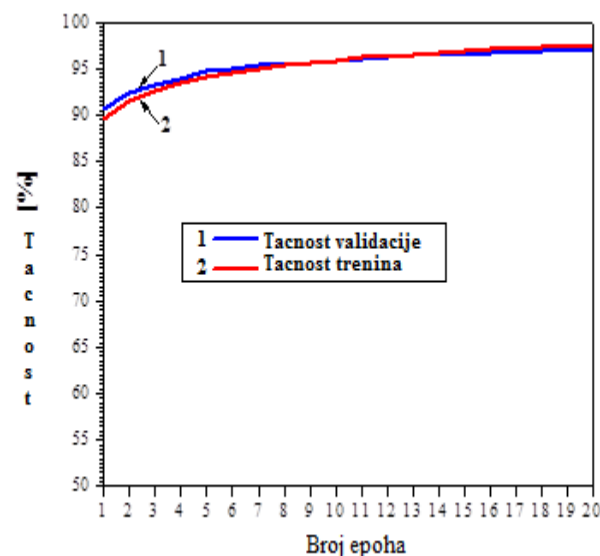
Rezultat ovog proračuna se zatim prenosi na aktivacionu funkciju  $f$ , koja će proizvesti izlaz perceptrona. U originalnom perceptronu, funkcija aktivacije je funkcija koraka:

$$y = f(u(x)) = \begin{cases} 1, & \text{ako je } u(x) > 0 \\ 0, & \text{suprotno od prethodnog} \end{cases}$$

gde je 0 parametar praga.

MLP je obučen i testiran na MNIST (Modified National Institute of Standards and Technology) bazi podataka sa 60.000 slika bazi podataka u sivoj skali ručno pisanih cifara korišćenih za obuku mreže i 10.000 slika za testiranje veličine 28x28 piksela. Ulazni mrežni sloj se sastoji od 784 čvora koji odgovaraju veličini slike 28x28 piksela, 128 čvorova u skrivenom sloju i 10 čvorova u izlaznom sloju koji odgovaraju 10 klasa (cifara). ReLU (Rectified Linear Unit) i softmak aktivacione funkcije se podjednako primenjuju u skrivenom i izlaznom sloju. MLP primenjuje sledeća podešavanja hiperparametara: stopa regularizacije = 0,01, brzina učenja = 0,0005 i veličina serije = 128.[3]

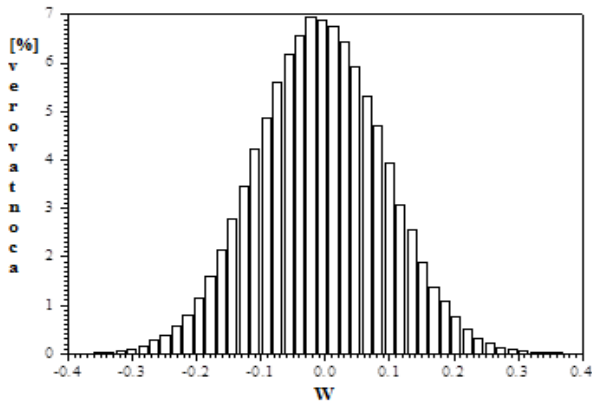
Na slici 5 prikazane su krive učenja (kriva učenja i validacije) za MLP neuronsku mrežu, koja se obučava za 20 epoha. Očigledno je da se tačnost obuke i validacije povećava do tačke stabilnosti i ima minimalan jaz između ovih vrednosti, tako da ne postoje preterano i nedovoljno opremanje.



Slika 5. Kriva učenja za datu MLP neuronsku mrežu

**Tabela 1.** Relevantni parametri za datu MLP neuronsku mrežu

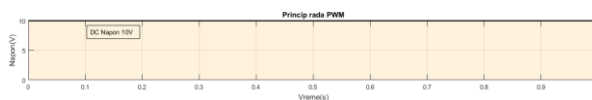
Parametri	$b^{(h)}$	$b^{(out)}$	$w^{(h)}$	$w^{(out)}$
Ukupno	128	10	100352	1280



Slika 6. Histogram težina (između ulaznog i skrivenog sloja) trenirane MLP neuronske mreže

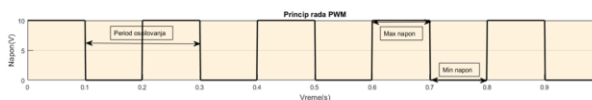
### 3. REGULACIJA PWM

Za regulaciju pH parametara upotrebljena je PWM, odnosno pulsna modulacija. Princip rada pulsne modulacije je objašnjen sledećim grafikonima. Na slici 7 prikazan je grafik za jednosmerni DC napon napajanja aktuatora od 10V. Na y-osi nalazi se vrednost DC napona (V), dok se na x-osi nalazi vreme t(s). Primetno je da je signal ravan i ima konstantnu vrednost. [4]



Slika 7. Napon aktuatora 10V DC

Korišćenjem PWM modulacije potrebno je da taj napon dobije vrednost od 5V DC. Sa slike 8 koja prikazuje princip rada PWM može se primetiti da se jednosmerni napon od 10V odseca, odnosno prave se vremenski iseci. U početnom vremenu ( $t_0 - t_{0,1}$ ) vrednost izmerenog napona je 10V. U vremenskom intervalu ( $t_{0,1} - t_{0,2}$ ) vrednost napona je 0V. Ovo se najlakše može shvatiti da kada postoji napon, to se odnosi na vreme rada PWM, dok je vreme pauze vreme kada je napon jednak 0. Period oscilovanja je vreme trajanja jedne oscilacije, u ovom slučaju od vremena  $t_{0,1}$  do  $t_{0,3}$ . [5]



Slika 8. Princip rada PWM modulacije

$T$  = vreme trajanja oscilacije ;

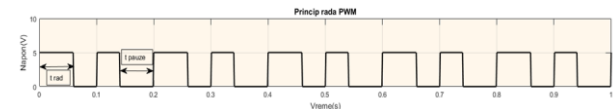
$t_{max}$  = vreme napona maksimalna vrednost;

Sada se može izvesti formula za izračunavanje takta PWM generatora, odnosno ciklusa: [6]

$$\text{ciklus} = t_{max} / T * 100\% \quad (1)$$

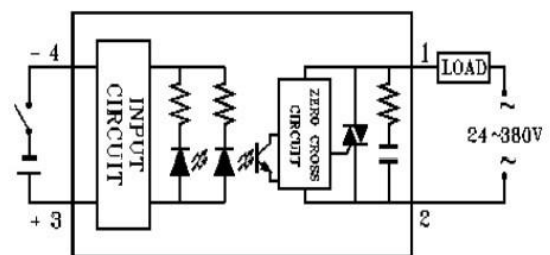
Ako treba smanjiti napon na 5V potrebno vreme rada odnosno  $t_{max} = 5\text{ms}$ , a vreme pauze je 10ms. Može se napisati sledeća proporcija:

$$\frac{5 \text{ (ms)}}{10 \text{ (ms)}} : \frac{x \text{ (\%)}}{100 \text{ (\%)}} \Rightarrow x = \frac{5 \cdot 100}{10} \% \Rightarrow X = 50\%$$



Slika 9. Odmeravanje ciklusa PWM modulacije

Smanjivanjem vremena  $t$ -rada i povećanjem vremena  $t$ -pauze na PWM dobija se smanjenje napona na željenu vrednost. PWM u ovom radu radi na principu ultra brzog prekidača koji u desetinama delova milisekunde vrši paljenje, odnosno gašenje napona. Na regulatoru pH je primenjena PWM modulacija za regulisanje otvaranja-zatvaranja aktuatora sa baznim rastvorom, odnosno aktuatora sa kiselinama u zavisnosti od vrednosti pH. Kao PWM generator signala na pH regulatoru je korišćen Wecon PLC (Programmable Logic Controller) zbog industrijskih standarda, a za rad u kućnim ili obrazovnim institucijama moguće je koristiti Arduino ili Raspberry Pi. Svrha ovog uređaja je da na osnovu parametara dobijenih sa mikro računara generiše PWM signale i vrši uključanje izlaznog uređaja, primenjenom slučaju (Solid State Reley) SSR (slika 10). [7]



Slika 10. SSR relej [8]

Princip rada SSR podrazumeva da se na ulazne pinove 3(+) i 4(-) dovodi jednosmeran napon sa PWM generatora PLC. Ovaj napon aktivira led diodu koja zatim vrši aktivaciju baze foto tranzistora. Zatim sledi aktivacija gejta trijaka koji zatvara strujno kolo.

#### 4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je detaljno objašnjen princip rada MLP mreže i algoritma veštačke inteligencije koji su primenjeni na proces regulacije pH vrednosti vode. Primenjeno rešenje može dati mali doprinos smanjenju zagađenja recipienata – reka vodotokova, kao i u uštedi energije i ljudskih resursa. Upotrebom MLP algoritama veštačke inteligencije, kao i upotrebom nove generacije mikro računara, mikro kontrolera i elektronskih komponenti dobijeno je rešenje koje smanjuje zagađenje ispusne vode za 2,8% u odnosu na trenutno korišćena rešenja u industrijskoj upotrebi, a za 80% smanjuje potrebu za upotrebom ljudskih resursa. Opisano rešenje primenjuje se i na druge procese u fabrici za prečišćavanje otpadne vode, kao što su regulacija Redox potencijala, doziranje flokulanata zgušnjivača koji sakupljaju štetne materije, odnosno teške metale - hrom, cink, mangan. Dalji razvoj odnosi se na upotrebu nove vrste filtracije koja se prvenstveno sastoji od filtracije aktivnim ugljem (AU), gde se očekuje povećanje efikasnosti postrojenja za dodatnih 3%. Nakon zasićenja filtera sa AU moguće je spaljivanje u energani koju je moguće izgraditi u fabrici. Ovime bi se izbegli troškovi skladištenja i uništavanja opasnih materija koje se do sada obavljalo u inostranstvu, a čiji su troškovi bili značajni. Ako bi se napravila energana, zbog značajnog kapaciteta postrojenja za preradu i većih količina AU koji se koristi u filtraciji, investicija je isplativa već nakon 2 godine. Energija koja bi se dobila sagorevanjem može se koristiti za grejanje vode ili pravljenje vodene pare koja se već koristi u procesu proizvodnje fabrike. Ovime bi se

značajno povećala efikasnost i isplativost postrojenja.

Nadamo se da će ovaj rad dati doprinos u cilju zaštite životne sredine i smanjenja zagađenja voda.

#### 5. LITERATURA

- [1] J. Lee, J. Park, K. L. Kim, and J. Nam, "Sample-level deep convolutional neural networks for music auto-tagging using raw waveforms," Sound Music Comput. Conf., Espoo, Finland, 5–8 Jul. 2017.
- [2] I. W. Liu, Z. Wang, X. Liu, N. Zeng, Y. Liu, and F. E. Alsaadi, "A survey of deep neural network architectures and their applications," Neurocomputing, vol. 234, pp. 11–25, Apr. 2017.
- [3] Dejan Ćirić, Marko Janković, **Miljan Miletić**, „Sound Based DC Motor Classification by a Convolutional Neural Network“, 57th International Scientific Conference of Information, Communication and Energy Systems and Technologies (ICEST), ISBN: 978-1-6654-8501-2
- [4] **Miljan Miletić**, Radoje Cvejić, Velimir Dedić, „Information Technologies In Environmental Protection“, Sedma međunarodna konferencija “Pravo, ekonomija i menadžment u savremenim uslovima”, Lemima, 2021. Zbornik radova, knjiga II, Beograd, 2021. ISBN 978-86-81088-94-4
- [5] **Miljan Miletić**, Bojan Milosavljević, Branko Grubić, „Informacione tehnologije u zaštiti životne sredine“, V nacionalna naučno-stručna konferencija sa međunarodnim učešćem „Trendovi u poslovanju“
- [6] **Miljan Miletić**, Radoje Cvejić, Velimir Dedić, „Napredne tehnike prečišćavanja otpadnih voda“, Peti naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem „Zaštita voda u zelenoj industrijskoj revoluciji“, Zbornik radova, Beograd, 2021. UDC: 628.31:004, ISBN 978-86-81400-60-9
- [7] Kangbeom Cheon, Jaehoon Kim, Moussa Hamadache, and Dongik Lee “On replacing pid controller with deep

learning controller for dc motor system,”  
Journal of automation and control  
engineering Vol. 3, No. 6, December  
2015, pp. 452-456.

- [8] <https://scienceprog.com/considering-solid-state-relays-ssr-for-your-projects/preuzeto>  
15.09.2022.u 15h

---

Adresa autora: Miljan Miletić, master inženjer,  
Akademija strukovnih studija Šumadija, Odsek  
Kruševac

e-mail: mmelektronik@gmail.com

Rad primljen: jul 2022.

Rad prihvaćen: septembar 2022.





БОГДАН МАГЛИЋ  
(1928 – 2017)

Наш чувени нуклеарни физичар.  
Први открио елементарну честицу  
Омега пи Мезон (честица  $C$ ).  
Аутор великог броја патената у области  
примене нуклеарне енергије у мирнодопске  
сврхе.

Професор америчких универзитета  
у Пенсилванији и Њу Џерсију.  
Члан САНУ.



# ДИТ

Друштво Истраживање Технологије

Научно-стручни часопис  
Scientific-profesional journal

Година XXVIII, Број 38, септембар 2022. год.  
Year XXVIII, Issue 38, September 2022. 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 Милан Николић  
Технички факултет “Михајло Пупин“  
Зрењанин

---

Редакција:

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



# КВАНТИТАТИВНА АНАЛИЗА БУЏЕТСКОГ ФИНАНСИРАЊА КУЛТУРЕ У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ

## *QUANTITATIVE ANALYSIS OF THE BUDGET FINANCING OF CULTURE IN THE REPUBLIC OF SERBIA*

ИВАН МИЛОЈЕВИЋ<sup>1</sup>  
МИЛОШ МИЉКОВИЋ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Универзитет за пословне студије Бања Лука

<sup>2</sup> Уједињени грански синдикати „Независност“, Београд

### РЕЗИМЕ

Формирање система који би константно пратио расходе државе усмерене финансирању културе на један темељан и свеобухватан начин, омогућио би како бољу контролу реализације тих средстава тако и подршку развоју културе у земљи.

Недовољно развијен тренутни рачуноводствени информациона система у директној је корелацији са је процедурама и законским решењима који недвосмислено већ сложен систем додатно усложњавају и на тај начин дестимулишу додатну еволуцију сектора културе у складу са трендовима које носи глобализација и данашња ера ИТ достигнућа.

Анализирајући буџет као највишу финансијску институцију, аутори ће покушати да дају одговор да ли је њиме могуће задовољити све потреба културних активности и културе у глобалу.

**Кључне речи:** култура, рачуноводствени информациона систем, расходи, буџет

### ABSTRACT

The formation of a system that would constantly monitor state expenditures aimed at financing culture in a thorough and comprehensive way, would enable both better control over the realization of these funds and support for the development of culture in the country.

Insufficiently developed current accounting information system is in direct correlation with procedures and legal solutions that unequivocally complicate the already complex system and thus discourage additional evolution of the cultural sector in accordance with the trends of globalization and today's era of IT achievements.

Analyzing the budget as the highest financial institution, the authors will try to give an answer as to whether it is possible to satisfy all the needs of cultural activities and culture in general.

**Key words:** culture, accounting information system, expenditures, budget

## 1. УВОД

Позиционирање културе у савременим друштвеним односима, ери глобализације и капиталистичким тржишним условима је веома тешко и сложено у односу на дешавања из периода који су првенствено постојали у оквиру националних државних уређења, претежно глобализованих, посматрано из финансијског аспекта.

Сложеност се огледа у систему континуираног праћења новчаних токова, односно од њиховог настанка – извора па до реализације истих кроз стратегијских финансијских инструментата.

Глобализација је допринела усложњавању финансијских и новчаних токова те је као директно зависна рачуноводствени информациони систем постао комплекснији, што је са друге стране допринело и довело до драстичних промене који се рефлектују кроз конфронтирање континенталног правног и англосаксонског система. Све ово допринело је да се структура расхода буџета као и износ истих намењених култури знатно модификује, нарочито у земљама захваћеним рецесијом и транзицијом.

С обзиром на сложеност истраживања, у раду су одабрани показатељи који се односе на област културе у земљи и део буџета на нивоу Републике Србије који се односи на расходе намењених за финансирање културе од када је почела економска криза 2008.године, закључно са 2021.годином.

## 2. МЕТОДЕ

Предмет истраживања у раду, директно је утицао на одабир методе истраживања, тако да ће у раду бити коришћена метода корелације<sup>1</sup> за коју аутори сматрају да је најодговарајућа у смислу доласка до релевантних

<sup>1</sup> Жижић, М., Ловрић, М., Павличич, Д. (2007) *Методи статистичке анализе*, Београд: Економски факултет, Центар за издавачку делатност, стр. 152.

закључака. Ову методу користимо за утврђивање у каквом су односу стање и структура расхода<sup>2</sup> из буџета и индивидуални елементи чиниоца културе у Републици Србији. Сагледавање економских чинилаца се врши из разлога и са циљем утврђивања могућности финансирања расхода намењених култури буџетом Републике Србије<sup>3</sup> и чинилаца система културе у Републици Србији на другој страни. Како би резултати рада били од научног значаја, а тиме и научно утемељени, мора се у разматрање узети и фактор као што је БДП (брuto домаћи производ) , чинилац на основу кога се мери финансијска успешност система у али и квалитета финансијског амбијента, те ће БДП бити полазна основа разматрања овог истраживања<sup>4</sup>. На овај начин извешће се закључак и довести у корелацију улога економске кризе и финансирање јавног сектора, а самим тим и сектора културе.

Као пондер стања сектора културе искоришћени су показатељи из културе:

Како би се БДП-а структурно приказао, примењен је расходни модел где је БДП приказан као  $BDP = C + G + I + X - M$ , где је са  $C$  означена лична потрошња, са  $G$  јавна потрошња,  $I$  у наведеној формули представља инвестиције,  $X$  – извоз, а  $M$  – у овом случају преставља увоз.<sup>5</sup>

Модел корелације Pearson-ов коефицијент<sup>6</sup> је примењен прилоком рада

<sup>2</sup> Станковић В., Г. Мрдак, и М. Миљковић. (2020) Економско правна анализа међународних инвестиција. Одитор 6, (3), стр 103.

<sup>3</sup> Пешић Х., и Миљковић М. (2020) Одрживост буџетских начела и процедура. Одрживи развој 2, (2) стр. 25

<sup>4</sup> Kisin J. Milić S. Ignjatović J. (2021) *Економски аспекти пандемије COVID-19: случај Републике Србије*, *Ecologica* Vol 28, No 103, str. 371

<sup>5</sup> Milojević I., (2016). Accounting analysis of expenditure budget funding for culture in Serbia. *Kultura*, (151), pp. 318-325

<sup>6</sup> Dominic E, Tamás F.M, Gábor J.S, (2021) On relationships between the Pearson and the distance correlation coefficients, *Statistics & Probability Letters*, Vol. 169

са подацима на следећи начин:  $r_{xy} = C_{xy} / SD_x * SD_y$ , при чему  $C_{xy}$  представља коваријансу,  $SD_x$  означава стандардну девијацију  $x$ , а  $SD_y$  показује стандардну девијацију  $y$ .

Метод линеарног тренда  $\hat{y} = b_0 + b_1x$ , где је  $\hat{y}$  линеарна функција,  $b_0$  просек, а  $b_1$  средња апсолутна вредност у времену  $x$ , је примењен ради доласка до података о кретањима укупних расхода уз буџета везаних за финансирање културе. Њиме ће се доћи до закључка на који начин ће евентуални расходи у текућој децени

изгледати као и изгледи за њихово увећање односно смањење, а за израчунавање оцене параметра тренда користи се метод најмањег квадрата<sup>7</sup>.

### 3. OUTPUT - РЕЗУЛТАТ ИСТРАЖИВАЊА

Користећи већ поменуте методе и њиховом применом на податке које су прикупљени у овом раду добијени су следећи подаци:

**Табела 1:** Економска кретања у Републици Србији у периоду 2007-2021. године

Година	БДП	БУЏЕТ РС	ИЗДАЦИ ИЗ РЕПУБЛИЧКОГ БУЏЕТА ЗА КУЛТУРУ		УКУПНИ ИЗДАЦИ ЗА КУЛТУРУ
			текући расходи	капитални расходи	
2007.	2,355,065.60	581,842.00	4,425.80	1,928.70	6,354.50
2008.	2,744,913.20	650,174.34	6,562.95	4,653.77	11,216.72
2009.	2,880,059.00	649,357.99	5,153.04	570.94	5,723.98
2010.	3,067,210.20	732,950.22	5,508.95	753.51	6,262.46
2011.	3,407,563.20	707,345.00	6,298.48	683.94	6,982.42
2012.	3,584,235.80	829,596.39	5,825.11	281.05	6,106.16
2013.	3,876,403.40	873,409.41	6,008.68	334.91	6,343.59
2014.	3,868,826.50	929,902.00	14,845.63	1,251.99	16,097.62
2015.	4,043,467.80	924,382.60	14,842.93	1,835.31	16,678.24
2016.	4,261,927.40	997,427.65	9,999.19	1,181.30	11,180.49
2017.	4,754,386.40	1,092,883.50	10,993.23	1,934.69	12,927.92
2018.	5,068,588.50	1,178,448.35	12,704.87	615.88	13,320.75
2019.	5,417,725.00	1,292,640.26	14,106.88	681.38	14,788.26
2020.	5,502,216.00	1,314,521.03	12,478.18	808.03	13,286.21
Σ	54,832,588.00	12,754,880.74	129,753.92	17,515.40	147,269.32

\*подаци су дати у милионима динара

Извор: [https://nbs.rs/sr\\_RS/indeks/](https://nbs.rs/sr_RS/indeks/) и <https://www.mfin.gov.rs/>

Након извршене анализе капиталних расхода ( $x$ ) и укупних издвајања из буџета за културу ( $y$ ), а применом Pearson-ове методе корелације долази се до закључка да је вредност коефицијента корелације  $r_{xy} = 0.24662$ , што несумњиво показује да је корелација између ових инпута слабо директна.

Ако се из Табеле 1 као инпут ( $x$ ) узме износ укупног буџета Републике Србије за анализирани период (2007-2021.), а као други инпут ( $y$ ) се узме издатак за културу, применом Pearson-ове методе корелације долази се до закључка да је вредност коефицијента корелације  $r_{xy} = 0.67607$  што несумњиво показује да је корелација између ових инпута умерено јако директна.

<sup>7</sup> Младеновић, З., Нојковић, А. (2015) *Примењена анализа временских серија*, Београд: Економски факултет, Центар за издавачку делатност, стр. 196.

**Табела 2:** Натурални показатељи о култури у Републици Србији

година	Број биоскопских представа	Број посетилаца позориштима у хиљадама	Број ТВ станица	Број музеја	Број библиотека	Број објављених књига	Број издатих часописа
2007.	-	1.562	-	-	-	-	-
2008.	-	1.620	-	-	-	-	-
2009.	-	1.454	96	108	2.794	11.709	1.107
2010.	63.548	1.409	95	-	2.450	10.530	1.104
2011.	75.524	1.400	115	104	2.487	10.989	1.028
2012.	93.879	1.452	110	-	2.466	12.411	1.162
2013.	50.432	1.411	91	145	2.535	14.430	1.244
2014.	56.984	1.411	123	144	2.553	11.603	1.351
2015.	57.643	1.214	100	140	2.560	11.016	-
2016.	89.298	1.300	87	141	2.573	11.158	1.418
2017.	123.400	1.445	120	144	2.595	12.169	1.274
2018.	115.217	1.464	118	149	2.566	11.816	1.457
2019.	153.951	1.186	117	149	1.806	11.833	1.424
2020.	73.140	-	-	146	1.848	-	-
Σ	756.476	14.008	1.172	1.370	24.223	104.704	12.569

Извор: <https://data.stat.gov.rs/?caller=SDDB>

Анализом укупних трошкова културе (x) из Табеле 1 и укупног броја приказаних биоскопских представа (y) из Табеле 2, применом Pearson-ове методе корелације долази се до података да је вредност коефицијента корелације  $r_{xy}=0.247629$  што нам указује да је корелација између појава слаба директна.

Анализом укупних трошкова културе (x) из Табеле 1 и укупног броја посетилаца у позориштима (y) из Табеле 2, применом Pearson-ове методе корелације долази се до података да је вредност коефицијента корелације  $r_{xy}=-0.46879$  што нам указује да је корелација између појава умерено инверзна.

Ако се у однос доведу укупни трошкови културе (x) и укупан број библиотека (y), подаци дати у Табелама 1 и 2 и примени се Pearson-ов метод корелације онда се добију подаци тј. вредност коефицијента корелације  $r_{xy}= -0,32821$  из чега се закључује да је веза између појава слабо инверзна.

Анализом података датих у Табелама 1 и 2, са циљем доласка до временског

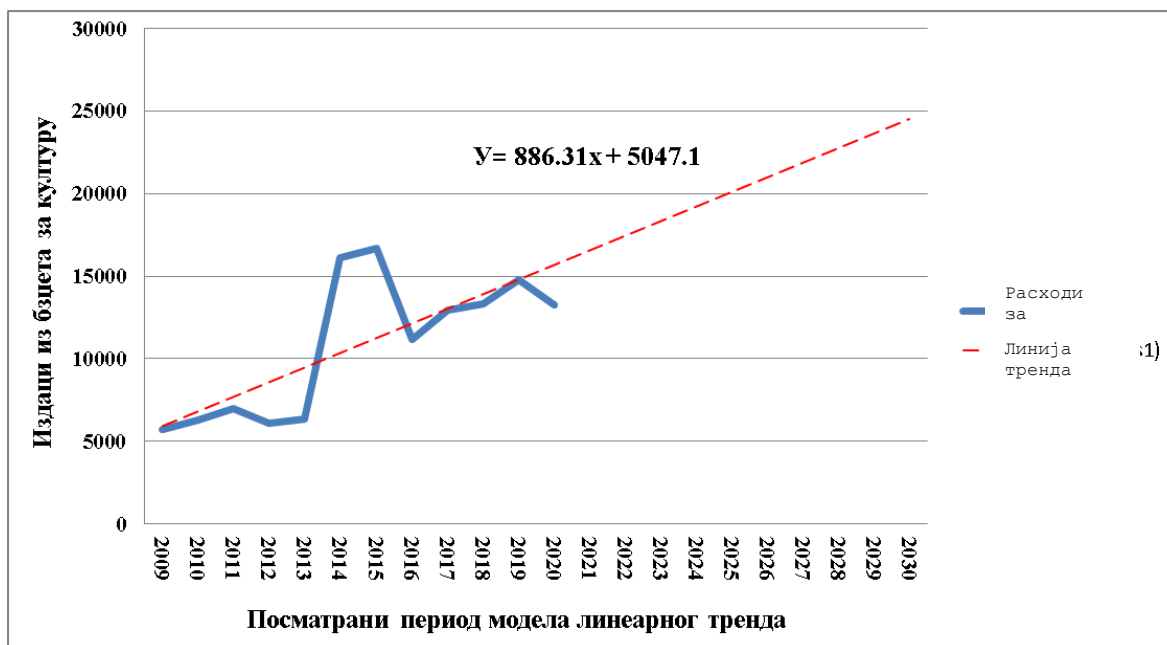
линеарног тренда, добију се вредности  $\hat{y}=5047,1+886,31x$ , из чега се долази до податка да је просечан износ издвајања из буџета за културу у анализираном периоду 5047,1 милиона динара, а да средњи апсолутни расту износи 886,31 милиона динара.

Временским линеарним трендом до 2030. године добија се резултат од 56.583,00 милиона динара издвајања за културу из буџета.

#### 4. ДИСКУСИЈА

На основу извршене анализе резултата до којих се дошло у овом раду, изводи се закључак да је ниво корелације између капиталних издатака за културу и укупних издвајања из буџета за културу веома низак, али је ипак тај ниво корелације позитиван те нас наводи на конклузију да како се повећавају укупна издвајања из буџета за културу, тако ће се повећавати и капитални расходи везани за културу. Фокус на оваквом издвајању из буџета треба дати из разлога што се





Графикон 1. Издвајања из буџета РС за културу и модел линеарног тренда

Извор: [https://nbs.rs/sr\\_RS/indeks/](https://nbs.rs/sr_RS/indeks/) и <https://www.mfin.gov.rs/>

издацима за друштвене делатности сматрају издвајања из буџета намењена за финансирање културе.<sup>8</sup>

Овове иде у прилог и тежња ка увођењу у употреби сложене, бихевиоралне варијанте теорије рационалног избора којом се у понашању економских субјеката укључују како рационални тако и нерационални фактори<sup>9</sup>

Смањење издатака за културу, након наступања последње економске кризе<sup>10</sup>, донекле је објашњиво, али економски тотално неоправдано. Анализом података из Табела 1 и 2 изводи се закључак да је корекција издвајања из буџета извршена надоле заправо у делу капиталних расхода, јер су то издаци који су најеластичнији у кратком року, али овакви поступци на дужи рок нису

оправдани. Тежња да се изврши корекција издвајања из буџета надоле за капиталне расходе, а при том управљање укупним људским капиталом на ненајбољи начин<sup>11</sup> итекако утиче на финансирање културе.

Резултати истраживања за анализирани периоду нам говоре да се издаци за културу издвајају из буџета пропорционално, тј. плански. Однос укупних трошкова културе и укупног броја приказаних филмова у биоскопима у посматраном периоду нам говори о јакој директној корелацији.

Ако посматрамо период 1999-2010., који није у потпуности био предмет анализе, буџетски расходи на нивоу републике расли су по реалној просечној годишњој стопи од 33,4%, док је просечан годишњи раст расхода за културу био 3,59%. Међутим, уколико се 10-годишњи период разматра кроз две временске етапе: прву, у периоду 1999-2004. и другу етапу, у периоду 2005-2010, резултати су посве другачији. Запажа се да у првој етапи расходи за културу расту

<sup>8</sup> Штиглиц, Е. Џ. (2013) *Економија јавног сектора*, Београд: Економски факултет, стр. 364.

<sup>9</sup> Крстић М.С. (2020) Теорија рационалног избора –ограничења и алтернативе, Социолошки преглед, 54 (1), стр. 48

<sup>10</sup> Прњат, А. (2012) Антисемитски дискурс и одбацивање трагања за истином, *Култура* бр. 136, Београд: Завод за проучавање културног развоја, стр. 434.

<sup>11</sup> Cvjetković M., M. Cvjetković, Z. Jovanović, i M. Kalinić. (2021) Aktivnosti i karakteristike menadžera u funkciji unapređenja strategijskog delovanja preduzeća. *Oditor* 7, (1): стр. 8.

просечно годишње по стопи од 65%, што је и сасвим логично, јер до стабилизације курса динара долази негде крајем 2002. године, те се овај раст може приписати мањим делом расту реалне инвестиционе активности, а већим делом инфлаторном притиску. У другој етапи (2005- 2010) просечни годишњи раст расхода за културу износи око 0,5%, док расходи на нивоу Републике расту по просечној годишњој стопи од 8,69%.<sup>12</sup>

С обзиром на еру ИТ сектора, у наредном периоду би било добро размишљати у правцу организовања онлајн фестивала. Исти су могући и успешни у дигиталном окружењу када не представљају пуку замену за догађаје у реалном простору, већ напротив, када користе нова дигитална средства и технике да прошире или одбаце традиционалне приступе садржају.<sup>13</sup>

## 5. ЗАКЉУЧАК:

Инвестиције у капиталне издатке за културу и већа издвајања из буџета по том основу, свако ће допринети уређењу објеката културе, као што су биоскопске сале, позоришта и сл. Та улагања ће резултира већим интересовањем посетиоца културним објектима и на крају допринети повећању куповине карата.

Корелација укупних трошкова културе и броја библиотека у посматраном периоду нам говори о слабој негативној корелацији. Закључак је да се библиотеке затварају због недовољног издвајања из буџета за њихово одржавање.

Поред наведеног, ако узмемо у обзир да су издвајања из буџета за културу знатно смањена у поређењу са годином пре настанка економске кризе, што преведено са номиналне на реалну вредност показује још већу депресију.

Глобална пандемија узрокована вирусом SARS-CoV-2 оголила је оно на што су

истраживачи већ годинама указивали, а то је рањивост и несигурност како културног рада тако и самог културног сектора и неодрживост досадашњег модела финансирања културе који у фокус ставља пројект и тржишни приступ.<sup>14</sup>

За период од 2020. до 2030.године коришћен је временским линеарни тренд како би се дошло до података како ће се највероватније кретати издвајања из буџета намењених за културу. На основу Графикана 1. закључује се да је износ укупних издатака за културу након почетка економске кризе опао драстично и да од тада бележи слабо повећање номинално, али ако узмемо у обзир инфлацију и изразимо у реалној вредности, издаци за расходе културе немају значајних видова повећања за посматрани период. Применом напред наведеног тренда долази се још и до резултата да, ако би се поново појавила економска криза, неминовно би утицала и на културу у земљи, а тада би се бележио и слаби раст издвајања за исту који није у директној корелацији са инфлаторним ефектима што би имало за резултат нарушавање реалног односа са номиналним.

- [1] Dominic Edelmann, Tamás F. Móri, Gábor J. Székely, (2021) On relationships between the Pearson and the distance correlation coefficients, *Statistics & Probability Letters*, Vol. 169.
- [2] Жижих, М., Ловрић, М., Павличић, Д. (2007) *Методи статистичке анализе*, Београд: Економски факултет, Центар за издавачку делатност.
- [3] Kisin J. Mihić S. Ignjatović J. (2021) *Ekonomski aspekti pandemije COVID-19: slučaj Republike Srbije*, *Ecologica* Vol 28, No 103, Beograd, Naučno-stručno društvo za zaštitu životne sredine Srbije.
- [4] Mikić H. (2011) Cultural policy and contemporary challenges of financing culture: International experiences and Serbia. *Kultura* (130) Beograd.
- [5] Milojević I., (2016). Accounting analysis of expenditure budget funding

<sup>12</sup> Mikić H. (2011) Cultural policy and contemporary challenges of financing culture: International experiences and Serbia. *Kultura* (130): 75-104.

<sup>13</sup> Seničić M., Obradović O. (2020) Online theatre and film festivals: (Un)sustainability of digital gatherings in a time of crisis. *Kultura* (169): 63-85.

<sup>14</sup> Primorac J., (2021) Izgubljeni prihodi i pronađena solidarnost: utjecaj prvog vala pandemije bolesti COVID-19 na kulturni sektor u jugoistočnoj Europi, *Sociologija i prostor: časopis za istraživanje prostornoga i sociokulturnog razvoja*, 219-240.

- for culture in Serbia. *Kultura*, (151) Beograd.
- [6] Младеновић, З., Нојковић, А. (2015) *Примењена анализа временских серија*, Београд: Економски факултет, Центар за издавачку делатност.
- [7] Пешић Х., и М. Миљковић. (2020) Одрживост буџетских начела и процедура. *Одрживи развој* 2, (2) Београд, Центар за одрживи развој.
- [8] Primorac, J. (2021). Izgubljeni prihodi i pronadena solidarnost: utjecaj prvog vala pandemije bolesti COVID-19 na kulturni sektor u jugoistočnoj Europi. *Sociologija i prostor: časopis za istraživanje prostornoga i sociokulturnog razvoja*, 59(219).
- [9] Прњат, А. (2012) Антисемитски дискурс и одбацивање трагања за истином, *Култура* бр. 136, Београд: Завод за проучавање културног развитка.
- [10] Seničić M., Obradović O. (2020) Online theatre and film festivals: (Un)sustainability of digital gatherings in a time of crisis. *Kultura* (169) Beograd.
- [11] Станковић В., Г. Мрдак, и М. Миљковић. (2020) Економско правна анализа међународних инвестиција. *ОДИТОР* 6, (3), Београд, Центар за економска и финансијска истраживања.
- [12] Cvjetković M., M. Cvjetković, Z. Jovanović, i M. Kalinić. 2021. Aktivnosti i karakteristike menadžera u funkciji unapređenja strategijskog delovanja preduzeća. *Oditor* 7, (1) Београд, Центар за економска и финансијска истраживања.
- [13] Штиглић, Е. Џ. (2013) *Економија јавног сектора*, Београд: Економски факултет, Центар за издавачку делатност.
- [14] Крстић М.С. (2020) Теорија рационалног избора –ограничења и алтернативе, *Социолошки преглед*, 54 (1), стр. 48-63.

#### Интернет странице:

1. [https://nbs.rs/sr\\_RS/indeks/](https://nbs.rs/sr_RS/indeks/) 04.11.2021.
2. <https://data.stat.gov.rs/?caller=SDDB> 04.11.2021.
3. <https://www.mfin.gov.rs/> 05.11.2021.

---

Адреса аутора: др Иван М. Милојевић, Редовни професор, Универзитет за пословне студије Бања Лука, 1982. 11000 Београд  
е-маил: drimilojevic@gmail.com  
Рад примљен: јул 2022.  
Рад прихваћен: септембар 2022.



БОГДАН МАГЛИЋ  
(1928 – 2017)

Наш чувени нуклеарни физичар.  
Први открио елементарну честицу  
Омега пи Мезон (честица  $C$ ).  
Аутор великог броја патената у области  
примене нуклеарне енергије у мирнодопске  
сврхе.

Професор америчких универзитета  
у Пенсилванији и Њу Џерсију.  
Члан САНУ.

# ИНВЕСТИЦИОНИ МЕНАЏМЕНТ У УСЛОВИМА МОНЕТАРНЕ НЕСТАБИЛНОСТИ

## *INVESTMENT MANAGEMENT IN CONDITIONS OF MONETARY INSTABILITY*

АЛЕКСАНДАР САВИЋ<sup>1</sup>  
БИЉАНА ИВАНОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Војнотехнички институт, Министарство одбране, Београд

<sup>2</sup>Војна академија, Универзитет одбране у Београду

### РЕЗИМЕ

Инвестирање приватног сектора обухвата све облике материјалног и интелектуалног улагања у предузетничке активности, чији је резултат обликовање добити или постизање одговарајућих социјалних ефеката. У том смислу, инвестициона активност се дефинише као улагање средстава, знања, технологије и искуства ради остварења практичних циљева у виду стицања добити или неких других конкретних ефеката.

Инвестициона улагања су нераздвојиво повезана са реализацијом инвестиционих пројеката. Инвестициони пројекти подразумевају техничко-технолошку, економску и финансијску подлогу обима и рокова материјалних и нематеријалних улагања, а укључују и неопходну документацију, израђену према одговарајућим стандардима и нормама који су прописани у свакој држави. Инвестициони пројекти обухватају и оперативно деловање и провођење инвестиционе активности.

**Кључне речи:** инвестиције, менаџмент, инфлација.

### ABSTRACT

Private sector investment includes all forms of material and intellectual investment in entrepreneurial activities, the result of which is the formation of profits or the achievement of appropriate social effects. In that sense, investment activity is defined as investing funds, knowledge, technology and experience in order to create practical goals in the form of acquisition or some other concrete effects.

Investments are inextricably linked to the implementation of investment projects. Investment projects include the technical-technological, economic and financial basis of the volume and deadlines of tangible and intangible investments, and include the necessary documentation, arranged according to the state agreement which is in accordance with the law of the states. Investment projects include operational activities and implementation of investment activities.

**Key words:** investments, management, inflation.

## 1. УВОД

Процес инвестирања и управљања инвестицијама представља један комплексан и веома динамичан процес који се мора сагледати као саставни део целокупног управљања једном организацијом а у циљу њеног довођења у ново жељено стање. Само управљање инвестицијама обухвата све оне активности које се требају предузети да би се процес инвестирања довео до успешне реализације пројекта. Целокупан процес управљања се састоји из три фазе, што важи и за процес управљања инвестицијама. У три опште фазе спадају: планирање; реализација и контрола. Све ове фазе могу да имају већи или мањи број активности које чине једну од наведених фаза, а све у зависности од конкретног случаја. Такође, веома је битно истаћи и међусобан утицај фаза које оне имају једна на другу, где међусобно служе да укажу на добро или лоше поступање које треба да се коригује или преиспита у потпуности. Ове три фазе се међусобно могу понављати, смењивати и преклапати у процесу управљања. Веома битан део овог глобалног процеса јесте доношење одлуке у процесу инвестирања. Одлука се доноси после дефинисања циља, задатака, обухвата све алтернативе, одабира критеријума избора и коначно одабира најбоље алтернативе тј. доношења одлуке.

Дефинисање циљева и критеријума који представљају меру успеха акције, представља кључне поступке за судбину сваке организације. Сваки систем, уобичајено има већи број циљева које настоји да реализује у већем или мањем обиму. Степен реализације сагледава кроз задате критеријуме, који осим формалног описа морају да буду и конкретно дефинисани, што некад не представља проблем, а некада јесте екстремно тежак поступак зато што се не може све дефинисати једном мером успешности. Зато се веома често тек после

дефинисаног циља приступа одабиру критеријума који ће бити адекватан.

## 2. СИСТЕМ ИНВЕСТИРАЊА СА МЕНАѢЕРСКОГ АСПЕКТА

Процес инвестирања се конкретно дефинише као скуп свих активности у целокупном периоду планирања, припреме и реализације једног инвестиционог пројекта, односно целокупан процес реализације, од стварања идеје за инвестирањем, до коначног завршетка инвестиционог подухвата [1].

Овај процес, да би остварио првобитне замисли, тачније да би се реализовао планирани пројекат, мора да буде реализован у свакој активности и потпроцесу који садржи. Ствари се морају одвијати плански а не стихијски и без усмеравања иначе не би могло да дође до жељених ефеката. Потпроцеси, односно фазе за које се може рећи да су глобалне и чине један процес инвестирања, јесу [2][3]: претходне анализе (претходна студија изводљивости); израда инвестиционог програма (студија оправданости); доношење одлуке о реализацији инвестиције; израда техничке документације; реализација инвестиције; почетак функционисања и пробни период. Свака од ових фаза садржи одређени број активности које директно зависе од карактера инвестиције и које могу да имају кључну улогу у некој од фаза за даљу будућност инвестиције.

Када би се процес инвестирања поделио на две најуопштеније фазе, онда би за прву могли рећи да је припремни део а за другу да је део реализације [4][5]. Припремни део обухвата све оне неопходне активности за дати процес инвестирања које морају да буду обављене да би реализација отопчела. То су пре свега претходна истраживања појава и фактора од утицаја, израде потребних студија (претходне студије оправданости, студије оправданости),

обезбеђење потребних средстава, доношење инвестиционе одлуке и прибављање неопходних дозвола и докумената. Други део подразумева конкретно извођење инвестиционог пројекта. Када се сагледава временска димензија процеса планирања, може се рећи да тај период траје од рађања идеје па до почетка реализовања исте. Када се узме у разматрање један инвестициони подухват и када се изврши његова временска подела добијају се две целине од којих једна представља период инвестирања а друга период ефектуирања односно експлоатације пројекта који је реализован. Период улагања почиње са првим улагањима у разраду дате идеје а за то се могу сматрати и улагања у људске ресурсе који су почели са разрадом идеје а завршава се са последњим издвајањима пре ефектуирања [6][7][8]. Период ефектуирања почиње са добијањем првих ефеката и траје до последњих остварених резултата. Наравно ови периоди се могу преклапати и преклапати у својим одређеним периодима о чему је већ било речи.

Инвестирање се у главном наставља на претходно извршено истраживање и испитивање одређених алтернатива, међутим веома често се приступа инвестирању без претходно извршених наведених радњи. Разлог овоме је непостојање потребе или немогућност развоја идеје. Немогућност развоја идеје се надокнађује куповином лиценце што представља иницијално виши трошак, али када се сагледа висина улагања у истраживање и неопходност што хитнијег улагања да би се остварио лидерски екстра профит, увиђа се да је улагање у лиценцу вишеструко исплативо.

Инвестирање у неки пројекат углавном представља само део инвестиционих подухвата преко којих се реализује планирани развој [9]. Континуитет реализације развоја се огледа у настављању инвестиционих пројеката једних на друге.

### 3. ПРОЦЕС ДОНОШЕЊА МЕНАѢЕРСКИХ ОДЛУКА

Предузетничке и менаѢерске одлуке представљају избор између алтернативних токова акција. Предузетник или менаѢер се увек налази пред доношењем одређених минималних одлука, притиском да се одлуке донесу на време и захтевом да се одлуке доносе на основу квалитетних информација, с тим да треба да се избегавају импулсивне одлуке, да се користе квантитативне и друге методе које помажу приликом одлучивања, али да се истовремено одлучује и на бази интуиције, при чему информације служе у сврху промене донете одлуке [10]. Веома је значајно, при том, да се предузетник придржава одређених фаза одлучивања.

Једна од квантитативних метода за менаѢерско одлучивање је матрица исплативности (payoff matrix). Она треба да допринесе решењу ситуације, тј. како изабрати најбољу алтернативу у условима ризика, тако што специфицира вероватну вредност различитих алтернатива, зависно од различитих могућности исхода који су везани за сваку од њих [11][12]. Одлучује се о неколико алтернатива, у односу на догађаје који могу да се дешавају, односно, као и да последице зависе од тога коју алтернативу изабере.

Претпоставке за коришћење матрице исплативности су следеће[13]:

- доносилац одлуке може да издвоји већину алтернатива које су релевантне за конкретну одлуку,
- све алтернативе се могу на неки начин квантификовати, тако да доносилац одлуке разматра само оне променљиве (варијабле) које могу да се квантификују приликом селекције алтернатива,
- суштина избора своди се на то да се доносилац одлуке опредељује за решење које обећава највишу очекивану вредност.



#### 4. ДОНОШЕЊЕ МЕНАѢРСКЕ ОДЛУКЕ У УСЛОВИМА МОНЕТАРНЕ НЕСТАБИЛНОСТИ

Матрица исплативости је димензионална и омогућава да доносилац одлуке упоређује како ће различити будући услови, вероватно, утицати на исходе две или више алтернатива [14]. Алтернативе одлучивања дате су у редовима матрице, док су могуће будуће околности приказане у колонама (видети табелу 2.).

**Табела 2.** Матрице исплативости за три алтернативе

Алтернативе	Будуће околности			Очекиване вредности (ОВ)
	Исплатив ост 01	Исплатив ост 02	Исплатив ост 03	
Ал	Пл 1	П12	П13	ОВл
А2	П21	П29	П23	ОВ2
А3	П31	П32	П33	ОВ3

Значајан концепт за матрицу исплативости у условима ризика је вероватноћа изражена процентуално да ће се одређени догађај десити или не: 0% = нема шансе да се догађај десити; до 100% = сигурно ће се догађај десити [15][16].

Већина вероватноћа које предузетници или менаѢри користе базира се на њиховој субјективној процени, интуицији, прошлом искуству или историјским подацима. Очекивана вредност (ОВ) представља збир свих могућих исплативости, пошто се свака претходна помножи својом одговарајућом вероватноћом дешавања [17]. На пример, инвеститор разматра улагање капитала у ново предузеће, тако што верује да вероватноћа да се заради 100.000 јединица износи 40% (0,40), вероватноћа да се заради 30.000 јединица износи 30% (0,30), а вероватноћа да се изгуби 20.000

јединица износи 30% (0,30), па се очекивана вредност (ОВ) ове алтернативе израчунава следећим обрасцем:

$$ОВ = 0,40 \times (100.000) + 0,30 \times (30.000) + 0,30 \times (-20.000) = 40.000 + 9.000 - 6.000 = 43.000 \text{ јединица}$$

Инвеститор може да одмери ОВ ове алтернативе у односу на ОВ осталих расположивих алтернатива, а највиша ОВ указује на подухват који би требало да буде одабран [19][20]. Примену матрице исплативости могуће је употребити и у алтернативама инвестирања 20.000 јединица у нову производњу различитих производа, на пример, фабрику сира, фабрику тестенина и бензинску станицу. Међутим, пошто се инвестирање врши у екстерно нестабилном економском окружењу, због инфлације, инвеститор треба да конструише матрицу исплативости проценом вероватноће високе стопе инфлације (0,60) и вероватноће ниске стопе инфлације (0,40), те да одмери могући исход у случају да се деси висока или ниска стопа инфлације (видети табелу 3.)

**Табела 3.** Матрице исплативости код доношења инвестиционих одлука у условима инфлације

Алтернативе	01 - висока инфлација, вероватноћа 0,60	02 - ниска инфлација, вероватноћа 0,40	Очекиване вредности (ОВ)
А1= Фабрика сира	-10.000	50.000	14.000
А2= Фабрика тестенине	90.000	-15.000	48.000
А3= Бензинска пумпа	30.000	25.000	28.000

Очекивана вероватноћа улагања у фабрику сира је следећа:

$$ОВ_1 = 0,60 \times (-10.000) + 0,40 \times (50.000) = 6.000 + 20.000 = 14.000$$

Очекивана вероватноћа улагања у фабрику тестенине је следећа:

$$OB_2 = 0,60 \times (90.000) + 0,40 \times (-15.000) = 54.000 + (-6.000) = 48.000$$

Очекивана вероватноћа улагања у бензинску пурпну је следећа:

$$OB_3 = 0,60 \times (30.000) + 0,40 \times (25.000) = 18.000 + (10.000) = 28.000$$

Показује се да инвестирање у фабрику тестенине има највишу очекивану вредност.

## 5. ЗАКЉУЧАК

Управљање процесом инвестирања се може сагледавати из два угла, ужег и ширег. Ужи представља управљање једним инвестиционим подухватом, док шири обухвата више инвестиционих подухвата повезаних у целину реализације развоја предузећа. Како се шири приступ састоји из скупа ужих, може се приступити анализи ужег приступа а опет дефинисати и шири. Управљање представља свеобухватно ефикасно и ефективно вођење и усмеравање процеса инвестирања ка унапред дефинисаном циљу.

Овакво управљање се односи на све делове процеса односно потпроцеса и конкретних акција. Треба се напоменути да сви делови целокупног процеса имају глобалне фазе планирања, реализације и контроле. Ово значи да се у сваком делу процеса треба бавити планирањем, реализацијом и контролом. Управљање се обавља низом метода као што су мрежно планирање, математичко програмирање и др. Посебно су битне квантитативне методе које могу да успешно изврше оцену свих могућих алтернатива код инвестиционих пројеката а што представља суштинску одлуку у процесу планирања. Мора се одабрати она алтернатива која ће при ограниченим ресурсима да да највеће ефекте. Потребно је да се дефинише жељени циљ инвестиције, затим да се одабере најбољи

критеријум који ће мерити успешност реализације циља датих алтернатива и на основу тога изабрати одређена (пожељна) алтернатива.

Битно је истаћи да се често одлуке не доносе на основу егзактних података већ на основу људске интуиције. У неким случајевима занемаривање података може да донесе успех али са повећањем варијабли које одређују неко будуће стање елаборати који дају величине очекиваних ефеката се морају узети у обзир. Они морају да се сагледају пре саме одлуке а не да накнадно служе за оправдавање већ донесених одлука.

## 6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Jovanović, P., *Upravljanje investicijama*, Beograd, 2006.
- [2] Jovanović, P., *Investiciono odlučivanje*, Grafoslog, Beograd, 1999.
- [3] Orsag, S., *Procena investicionih projekata*, Masmedija, Zagreb, 2002.
- [4] Vučićević, R., *Teorija verovatnoće sa osnovama teorije masovnog opsluživanja*, Vojna akademija, Beograd, 2003.
- [5] Krasulja, D. & Ivanišević, M., *Poslovne finansije*, Ekonomski fakultet, Beograd, 2000.
- [6] Petković, T., Ristić, Ž. & Vukša, S., *Makroekonomske politike*, Ekonomski fakultet, Beograd, 2004.
- [7] Radovanović, R., *Bilansi preduzeća i banaka*, Savremena administracija, Beograd, 1999.
- [8] Mihajlović, M. B., Milenković, N. P., & Andžić, S. V., *Uloga menadžmenta preduzeća u izboru organizacione strukture*. *Tehnika*, 76(1), 97-102, 2021. <https://doi.org/10.5937/tehnika2101097M>
- [9] Mihajlović, M. B., Tadin, D. B., & Gordić, B. M., *Uloga finansijskog menadžmenta u preduzeću*. *Tehnika*, 75(4), 498-503, 2020. <https://doi.org/10.5937/tehnika2004498M>
- [10] Adžić, S., Kostić, R., Milunović, M., Savić-Tot, T., Jeremić, D., & Stanojević, S., *Uloga timskog menadžmenta u*

- savremenim uslovima poslovanja. *Oditor*, 8(1), 63-83, 2022. <https://doi.org/10.5937/Oditor2201062A>
- [11] Dakić, P., Lojaničić, D., Issa, H. R., & Bogavac, M., Izbor, stvaranje i razvoj menadžera. *Oditor*, 7(3), 105-134, 2021. <https://doi.org/10.5937/Oditor2103105D>
- [12] Avakumović, J., Obradović, L., & Božić, G., Menadžment i organizacija timskog rada u funkciji održivog razvoja. *Održivi razvoj*, 3(2), 69-80, 2021. <https://doi.org/10.5937/OdrRaz2102069A>
- [13] Ivanova, B. & Ristić, S., Akumulacija i koncentracija kapitala. *Akcionarstvo*, 26(1), 26-34, 2020.
- [14] Živković, A., Kvalitet upravljanja operativnim rizicima u finansijskim institucijama. *Akcionarstvo*, 25(1), 5-32, 2019.
- [15] Premović, J. Đ., Društveno ekonomski aspekti upravljanja organizacionim promenama. *Zbornik radova Filozofskog fakulteta u Prištini*, 52(1), 411-426, 2022. <https://doi.org/10.5937/zrffp52-34631>
- [16] Đokić, N. & Mašić, B., Osnovi menadžmenta i strategije. Priština - Kosovska Mitrovica: Univerzitet u Prištini sa privremenim sedištem u Kosovskoj Mitrovici - Ekonomski fakultet, 2015.
- [17] Đuričin, D., Janošević, S. & Kaličanin, Đ., Menadžment i strategija. Beograd: Ekonomski fakultet - Centar za izdavačku delatnost, Četvrto, prerađeno i dopunjeno izdanje, 2009.
- [18] Ključnikov, A., Mura, L. & Sklenár, D., Information Security Management in SMEs: Factors of Success. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 6(4): 2081-2094, 2019.
- [19] Mura, L. & Kajzar, P., Small Businesses in Cultural Tourism in a Central European Country. *Journal of Tourism and Services*, 10(19): 40-54, 2019.
- [20] Wardati, N.K. & Mahendrawathi, E.R., The Impact of Social Media Usage on the Sales Process in Small and Medium Enterprises (SMEs): A Systematic Literature Review. *Procedia Computer Science*, 161: 976-983, 2019.
- [21] Belas, J., Amoah, J., Petráková, Z., Kliuchnikava, Y., Bilan, Y., Selected Factors of SMEs Management in the Service Sector. *Journal of Tourism and Services*, 11(21): 129-146, 2020.
- [22] Du, J., Mickiewicz, T., Douch, M., Individual and Institutional Ownership, Firm Age and Productivity. *Journal of Competitiveness*, 13(1): 23-41, 2021.

---

Адреса аутора: Савић Александар,  
 Војнотехнички институт, Министарство одбране,  
 Београд  
 е-маил: biljana.ivanova70@gmail.com  
 Рад примљен: јул 2022.  
 Рад прихваћен: септембар 2022.

# УТИЦАЈ МЕНАЏМЕНТА ЗНАЊА НА САВРЕМЕНИ КОНЦЕПТ ПРЕДУЗЕТНИШТВА

## *THE INFLUENCE OF KNOWLEDGE MANAGEMENT ON CONTEMPORARY CONCEPT OF ENTREPRENEURSHIP*

АЛЕКСАНДРА КОВАЧЕВИЋ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Универзитет у Новом Саду, Технички факултет „Михајло Пупин”, Зрењанин

### РЕЗИМЕ

Усавршавање и развој људских потенцијала представља добро организовану и плански усмерену трајну и стратешку активност менаџмента људских ресурса. Едукација има за циљ да потиче и мотивише запослене у предузећу да се усавршавају и стичу нова знања као и способности која су потребна за извршавање постојећих и будућих задатака. Ови задаци се односе на циљеве и мисије пословања предузећа. Применом концепта менаџмента знањем и концепта предузетништва остварује се економску вредност која се огледа у развоју креативности и иновативности. На овај начин се доприноси развоју личности, што омогућава појединцима улагање у људски капитал које на крају обезбјеђује виши квалитет пословања и подизање целокупног животног стандарда и стандарда целокупне друштвене заједнице.

**Кључне речи:** менаџмент знања, предузетништво, мотивација, едукација, људски потенцијал

### ABSTRACT

Improvement and development of human resources is a well-organized and planned permanent and strategic activity of human resources management. The education aims to encourage and motivate employees in the company to improve and acquire new knowledge and skills needed to perform existing and future tasks. These tasks relate to the goals and missions of the company's business. By applying the concept of knowledge management and the concept of entrepreneurship, economic value is achieved, which is reflected in the development of creativity and innovation. In this way, it contributes to the development of personality, which allows individuals to invest in human capital, which ultimately provides a higher quality of business and raising the overall standard of living and the standards of the entire community.

**Key words:** knowledge management, entrepreneurship, motivation, education, human potential

### 1. УВОД

Знање је постало основни стратешки ресурс за пословање у савременом

пословном свету. Процент знања и информација у производним технологијама и производима се у великој мери повећава. Када се говори о знању

мисли се на способности и вештине целокупног пословања предузећа. Потреба за знањем а посебно стратегије употребе знања на прави начин и у право време постала је значајна за све нове организованости у предузећу. Лјудски потенцијал је постао редак, вредан, захтеван али кључан стратешки ресурс за пословање. Такође је неопходно и изутено значајно повезивање лјудских ресурса са утицајем медија на мотивацију за додатним усавршавањем. Разлог томе је што су друштвени медији променили начин на који организација комуницира са својим јавностима [1].

Сматра се да важну улогу у односима с медијима имају топ менаџери у предузећу. Значајан утицај топ менаџера на организациони имиџ компаније признат је од стране истраживача за односе с јавношћу. Од великог је значаја повезивање менаџмента знања, предузетништва и односа са јавношћу на свим нивоима у организацији. Међутим, студије о утицају топ менаџера на односе с медијима су ретке [2]. Концепт кредибилитета топ менаџера укључује стручност и поузданост топ менаџера [3]. Истраживање како корпоративно руководство утиче на ефикасност интерних односа с јавношћу, повезивањем кредибилитета топ менаџера и евалуацијом запослених о организационом угледу. Присуство топ менаџера у друштвеним медијима позитивно утиче на квалитет односа и комуникације између руководства и запослених [4]. Ако се жели постићи ефикасност пословања потребно је на адекватан начин мотивисати запослене, створити задовољан колектив, такође је значајно предузетничке вештине уз концепт предузетништва повезати са менаџментом знања, лјудских потенцијала, односе са јавношћу у предузећу дизати на што виши ниво. Организације и менаџери у њима треба да теже стварању што више експлицитног знања, које је по својој природи колективно [5]

## **2. ПРЕДУЗЕТНИШТВО И МЕНАѢМЕНТ ЛЈУДСКИХ ПОТЕНЦИЈАЛА**

Менаџмент лјудских потенцијала се дефинише као низ повезаних активности и задатака менаџмента који су међусобно повезани и усмерени на осигурање довољног броја и структуре запослених лица њиховог знања, вештина, интереса, мотивације те облика понашања потребних за остварење актуалних, развојних, стратегијских циљева пословања [6]. Предузетништво је веома хетерогени и комплексни спој сналажљивости, способности предвиђања или, пак, слутњи будућих догађаја, спремности за прихватање неконвенционалних идеја, храбрости, упорости других природних дарова. а са друге стране, оно је плод и повољних амбијенталних околности, добрих делом везаних за факторе и констелације које умањују неизвесност и ризик [7].

Главни циљ организационе комуникације је да информише запослене о циљевима и политици организације и да им помогне да схвате позицију и карактеристике организације [8]. Према Аргенти интерна комуникација подразумева стварање атмосфере поштовања према свим запосленима у организацији. Велч и Јацксон дефинишу интерну комуникацију као однос међу запосленима и стратешки менаџмент интеракције, који се одвија на свим нивоима унутар једне организације.

## **3. УПРАВЉАЊЕ ЛЈУДСКИМ ПОТЕНЦИЈАЛИМА**

Управљање лјудским капиталом сматра да улагање у обуку и усавршавање кадрова Универзитетска хроника - часопис Универзитета у Травнику може да повећа финансијске резултате организације [9]. У октобру 2004. године у Сједињеним Америчким Државама одржана је конференција менаџера лјудских потенцијала на којој је у самом

уводу у конференцију представљено истраживање према којем је стручност и кредибилитет водства те способност привлачења и задржавања даровитости на самом врху господарске политике, док је удио на тржишту био тек на шестом месту. Учећа организација је начин понашања, тј. начин постојања у којем је свако радник знања и предузетник. Она је оспособљена да креира, усваја, преноси и модификује своје понашање у складу са оним што захтева од стране потрошачког друштва [10]. Лјудски ресурси, као појам, изазивали су одређене отпоре у неким државама и код неких аутора, управо је препознавање тог облика ресурса довело до спознаје да су људи као ресурс најважнији за реализацију циљева те да се управљању тим ресурсом треба посветити посебна пажња у облику проучавања и научних истраживања [11].

#### **4. ЗНАЧАЈ МОТИВАЦИЈЕ ЉУДСКИХ РЕСУРСА У ПОСЛОВАЊУ**

У већој мери је потребно познавање запослених и знати која награда за сваког појединца има вредност. Морају се знати преференције запослених у погледу појединих врста награда да не бисмо „гађали поредмете“ [12]. Мотивација је кључна за оставрење свих позитивних пословних резултата као и негативних. Запослена лица често тиком времена проведених у предузећу изгубе жељу за додатним образовањем и усавршавањем.

Данашње време пословања предузећа које карактеришу брзе и нагле промене и велика конкуренција на тржишту, предузећа морају да посвете време, уложе енергију и ангажују финансијске и људске и друге ресурсе приликом мерења перформанси, а све са циљем постизања стратегијских циљева предузећа.

Анализа организационе изводљивости се ради са циљем да се утврди да ли постоји довољно менаџерске посвећености, организационих капацитета и ресурса за успешно

лансирање новог подухвата. Максимирање ефеката комбиновања ресурса је комплексан процес на који утичу њихов квантитет и квалитет, али ни ефикасност и ефективност оних који њима управљају.

Способност предузећа да достигне планиране циљеве, повећа свој профит, буде конкурентно и повећа свој удео на тржишту, у великој мери зависи од стратегије којом набуца на тржишту. Успешна предузећа у једном континуитету процењују своје перформансе и мере своје напредовање. Сваки пословни успех може бити материјалне и нематеријалне природе. Циљ предузећа није само повећање профита, већ и унапређење пословних процеса на свим нивоима у предузећу.

Квалификације и вештине:

- Како и ко спроводи кључне активности
- Које вјештине недостају и како ће бити обезбјеђене [13].

#### **5. ЗАКЉУЧАК**

Менаџмент знања и људских потенцијала представља оквир унутар којег су организациони видови свих његових целокупних процеса као процеса знања, вештина и способности свих у предузећу. У овом погледу сви организациони процеси обухватају стварање, ширење, репродукцију и примену знања у циљу пословних средстава за дугорочан опстанак на тржишту.

Основни циљ савременог начина пословања је да се сви пословни процеси посматрају као засебни а у исто време обједињени процеси знања. Ово подразумева стварање, усвајање, чување, примену знања у свим сегментима а не само као фаза животног циклуса менаџмента знања. Запослене је потребно мотивисати да се воде циљем бити најбољи у послу који обављаш. Нови начин пословања ће све више са собом

донети и повезивање предузетничких вештина и области која обухвата менаџмент знања, људских потенцијала што укључује и менаџмент људских ресурса.

## 5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Wright, D. K., Hinson, M. D. (2010). An analysis of new communications media use in public relations: results of a five-year trending study. *Public Relations Journal*, 4(2), 1–27.
- [2] Park, D., Berger, B. K. (2004). The presentation of CEOs in the press, 1990–2000: Increasing salience, positive valence, and a focus on competency and personal dimensions of image. *Journal of Public Relations Research*, 16(1), 93–125.
- [3] O’Keefe, D. J. (2002). *Persuasion: Theory and research* (2nd ed.). California: Thousand Oaks.
- [4] Men, L.R., Tsai, W-H.S. (2016). Public engagement with CEOs on social media: Motivations and relational outcomes. *Public Relations Review*, 42, 932– 942.
- [5] Mašić, B., Đorđević-Boljanović, J.(2005). Menadžment znanja – konceptza kreiranje konkurentske prednosti unovoj ekonomiji. *Montenegrin Journal of Economics*, 1 (2), 71–85
- [6] Kokeza, G. (2012). Uticaj menadžmenta znanja na razvoj ekonomskih subjekata, *Novi ekonomist* br 12, Bijeljina, Fakultet poslovne ekonomije
- [7] Karavidić, S. (2011). Izazovi i rizici preduzetništva, *International scientific journal „Internacional review“*, Vol. 1, PEP i MIT, Beograd, str. 83-95
- [8] Borcca, C., Baesu, V., (2014). A possible managerial approach for internal organizational communication characterization. *Procedia – Social Behaviour Science*, 124, 496–503.
- [9] Ristić, K Ristić, Ž. (2012). Menadžment znanja, *Časopis za poslovnu teoriju i praksu*, Banja Luka, RADOVI Univerzitet za poslovne studije Banja Luka Godina IV, Broj 7-8
- [10] Radosavljević, Ž. (2008). Menadžment znanja i(li) znanje u menadžmentu, Beograd, FORKUP
- [11] Jambrek, I., Penić, I. (2008). Upravljanje ljudskim potencijalima u poduzećima –ljudski faktor 1182 *Zb. Prav. fak. Sveuč.Rij.* (1991) v. 29, br. 2, 1181-1206
- [12] Varga, M. (2011). Upravljanje ljudskim potencijalima kroz motivaciju *Stručni rad Čakovec. Tehnička škola*
- [13] Hanlon, D., Saunders, C. (2007). ‘Marshaling Resources to Form Small New Ventures: Toward a More Holistic Understanding of Entrepreneurial Support’, *Entrepreneurship Theory and Practice*, br: 31(4) , str: 619-640

---

Адреса аутора: Александра Ковачевић Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин  
е-маил: aleksandra.unija@gmail.com  
Рад примљен: јул 2022.  
Рад прихваћен: септембар 2022.



# УТИЦАЈ ИНДУСТРИЈЕ 4.0 И 5.0 НА ПОТРАЖЊУ ЗА ЉУДСКИМ РЕСУРСИМА

## *THE IMPACT OF INDUSTRY 4.0 AND 5.0 ON THE DEMAND FOR HUMAN RESOURCES*

DIJANA TADIĆ<sup>1</sup>  
EDIT TEREK STOJANOVIĆ<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Универзитет у Новом Саду, Технички факултет „Михајло Пупин”, Зрењанин

### REZIME

У овом раду, дате су основне карактеристике Индустије 4.0 и 5.0, и представљен положај људских ресурса у оквиру њих. Свака револуција се на свој начин одразила на производне процесе и конкурентна радна места на тржишту. То је утицало на гашење многих, али и отварање нових радних места. Циљ рада је да прикаже главне промене које су се одиграле последњих година на тржишту и представи новине које су произишле из њих. Нагласак рада је на променама у потражњи за људским ресурсима, као последица Четврте и Пете Индустијске револуције.

**Кључне речи:** Индустија 4.0, Индустија 5.0., људски ресурси

### ABSTRACT

In this paper, the basic characteristics of Industry 4 and 5.0 are given, and the position of human resources within them is presented. Each revolution has in its own way affected production processes and competitive jobs in the market. This affected the dismissal of many, but also the creation of new jobs. The aim of this paper is to present the main changes that have taken place in recent years in the market and to present the novelties that have arisen from them. The emphasis of the work is on changes in the demand for human resources, as a consequence of the Fourth and Fifth Industrial Revolutions.

**Key words:** Industry 4.0, Industry 5.0, human resources

## 1. УВОД

Четврта индустријска револуција базира се на максималној аутоматизацији производње. Њен циљ огледа се у растерећењу људских ресурса од понављајућих, монотоних и тешких физичких послова. Ослобођењем људства од поменутог, указана им је прилика за рад креативних и инспиративних радњи,

преко којих могу изразити свој пун потенцијал. Негативна страна ове револуције састоји се у гашењу многих радних места, које је преузела технологија, а за које није пронађено адекватно решење за поновно ангажовање људства. Индустија 5.0, помирује технологију са људским кадром,

стављајући нагласак на индивидуалну производњу, у којој је људски допринос више него пожељан. Персонализација производње сматра се за изазов и циљ којем тежи савремена производња.

Промене које су се одразиле на производњу као последица Индустије 4 и 5.0, генерално су промениле положај људства у производним погонима. Стога, допринос овог рада огледа се у сумирању новина које се тичу људског кадра и промена у потражњи знања, вештина и компетенција на тржишту.

## 2. ИНДУСТРИЈА 4.0

Четврту индустријску револуцију карактерише имплементација сајбер-физичких система (eng. *Cyber Physical Systems* - CPS) и Интернет ствари (eng. *Internet of Things* - IoT) у индустријске процесе [1, 2, 3, 4]. Поред наведеног, концепт Индустије 4.0 обухвата скуп технолошких достигнућа у вези са великим подацима, проширеном реалношћу (eng. *augmented reality* - AR) и роботиком [5]. Примена ових технологија је пресудна за даљи развој интелигентних производних процеса, укључујући паметне уређаје, машине и производе који могу самостално размењивати информације, покретати радње и контролисати једни друге [6, 7]. Стога, неки аутори [8], Индустију 4.0 дефинишу као напредну повезаност, која омогућује прикупљање великог броја података, интелигентно управљање, аналитику, рачунарске способности и повратне информације о њима. Овај концепт тежи већој продуктивности и оперативној ефикасности, скраћењем времена производње и доношењем квалитетних одлика, што резултира смањењем трошкова производње, одржавања, радне снаге и друго [9].

Повезивањем дигиталног и физичког света употребом ЦПС технологије, омогућава се побољшање продуктивности и ефикасности [10]. Неки аутори сматрају да је то кључна

карактеристика Индустије 4.0 и да управо она издваја ову револуцију од осталих [11]. Њен циљ се огледа у спремности производних система да функционишу у складу са променама пословног окружења [12, 13].

Према речима Колумбо W. Арманда [14]: „Индустријски сајбер-физички систем је кључни покретач нове ере комуникација, заснован на Интернету у реалном времену, и сарадњи између учесника у ланцу вредности, нпр. уређаја, система, организација и људи“. Овај систем представља виртуелни простор, у којем се прикупљени подаци из међусобно повезаних система, обликују у оперативне одлуке [15]. Сајбер-физички системи имају способност самоучења и способни су да самостално доносе одлуке [16, 17, 18, 19]. Захваљујући наведеним предностима, може се рећи да ЦПС технологије посредно утичу на задовољство купаца и на све односе који се граде између предузећа и њих [20, 21, 22].

## 3. ИНДУСТРИЈА 5.0

Након спознаје и имплементације Индустије 4.0, уочени су недостаци који су захтевали кориговање [23]. Побољшања која су уследила, довела су до Пете индустријске револуције [24]. Концепт Индустије 5.0 се као и претходна индустријска револуција, базира на спајању физичког и виртуалног света, али овога пута у служби решавања друштвених проблема [25]. Сматра се да комбинацијом ове две револуције, долази до формирања обрасца новог друштвеног поретка, који ће побољшати квалитет живота људи [26]. Наведене револуције имају различиту суштину, али исто језгро – технологију [27].

У Индустији 5.0, технологија је интегрисана у сваки аспект људског живота [28]. Захваљујући мноштву иновација до којих се дошло у прошлој индустријској револуцији, људи су у

могућности да отклоне проблеме на нивоу целог света [29]. Циљ је да се избалансира економски и технолошки напредак са изазовима са којима се друштво суочава [30, 31]. Снага човековог ума се повезује са технолошком моћи, образујући синергију која доприноси благостању друштва у целини.

Неки аутори [32], истакли су важност Индустрије 5.0 за производњу 21. века. У прилог томе говори чињеница да је велики економски изазов остварити пораст продуктивности, без елиминације људских ресурса из производње [33]. Сарадња машина са човеком, сматра се решењем за успешно пословање.

#### **4. ПРОМЕНЕ У ПОТРАЖЊИ ЗА ЉУДСКИМ РЕСУРСИМА КАО ПОСЛЕДИЦА ИНДУСТРИЈЕ 4 И 5.0**

Са прожимањем Индустрије 4 и 5.0, уочава се неизвесност у вези са будућим кадром – које вештине ће будући запослени морати да савладају, која знања да имају и компетенције да поседују. Према неким ауторима [34], инвеститори се већ суочавају са озбиљним проблемом у вези са проналажењем компетентних запослених.

Индустријске револуције и технолошки развој који их је обележио, допринели су гашењу многих радних места. Нека од њих, односе се на прикупљање и обраду података, где је људство у потпуности замењено вештачком интелигенцијом. Поред ефикасности која се на овај начин постиже, вештачка интелигенција омогућује брзу трансформацију мноштва података у разумљиве и корисне информације.

Примена роботике у производњи, подигла је производњу на виши ниво. Роботи су заменили људе у физички тешким пословима и понављајућим радњама, те довели до масовног отпуштања. Са једне стране остварена је добробит за људство у смислу да не

морају да раде послове који гуше њихову креативност, а са друге, они који нису били компетентни за другу врста посла, морали су да напусте организацију.

Поред тога, последњих година на тржишту влада потражња за индивидуализајом, коју роботика не може да оствари [35]. Улога људског фактора, у стварању персонализованих производа је од изузетног значаја [32], а креативност све више добија на важности [36]. То значи, да роботи нису у стању да остваре пун потенцијал у производним процесима без сарадње са човеком [37].

Уочивши овај недостатак у Индустрији 4.0, било је извесно да мора опет доћи до великих промена. Те промене одраз су Индустрије 5.0, у чијем је фокусу сарадња људи и робота. У прилог томе, говори чињеница да су се на тржишту, а све више и у производним погонима, појављују Колаборативни роботи, који су засновани на кооперативности са човеком. Људски фактор у оквиру Индустрије 5.0, образује се у целину Друштва 5.0, и његово благостање у сваком смислу, посматра се као приоритет [38].

Поред вештачке интелигенције и роботике, ту су и многе друге технологије које су заувек трансформисале производну индустрију. Њихова улога није да искорене људске ресурсе из производње, него да им помогну да на бржи, једноставнији и ефикаснији начин извршавају радне задатке [39].

Промене које су уследиле у релативно кратком временском периоду, утицале су и на позиције руководиоца производње, и прошириле свере њиховог значаја. Људи који се баве овом врстом посла, морају да преузму функцију лидера, менаџера, супервизора, иноватора, мотиватора и других улога [29].

Прашникар и сарадници [40], указали су на значај образовног система при предвиђању образовног кадра. У складу са тим, сматра се да је знање од изузетног значаја за привредни развој данашњице [41].

## **5. OBRAZOVANJE KAO ODGOVOR NA IZAZOVE INDUSTRIJE 4 I 5.0**

Промене које су наступиле са Индустријом 4 и 5.0 прожимају све аспекте људског живота, па ће се тако и школство променити из корена [42]. Успешно имплементирано и сврсисходно образовање ће бити од пресудног значаја. То значи да се, образовне институције, морају да мењати у складу са дигиталном трансформацијом која је наступила [43].

Због важности образовања у Индустрији 4 и 5.0, сугерише се школама да провере свој наставни план и програм, односно да изврше процену да ли њихов наставни план прати дигиталну трансформацију [43]. Поред поседовања знања и вештине лидерства, предузетништва, глобалног грађанства и др. [44], просветни радници ће морати упознати ученике са новом технологијом, бити њихови ментори, мотиватори и инспиратори [45]. То је неопходно из простог разлога што млађе генерације морају стећи знања о доступним технологијама и могућностима [46], како би били конкурентну на тржишту рада.

Извођење наставе суочава се са изазовом који приређују савремене технологије и роботи, омогућавајући доступнији и бржи долазак до информација. Стога, наставници морају, са традиционалног извођења наставе, прећи на мултистимулативно учење [45], укључујући Интернет ствари, виртуелну стварност, вештачку интелигенцију и остало [44].

Образовање на даљину (електронско учење), поред ефикасности и побољшања наставних процеса, нуди могућност решавања проблема образовања у удаљеним и неприступачним пределима. Ова новина, представља знатан помак у образовању за целокупно становништво и једна је од карактеристика Индустрија 4 и 5.0. Међутим, не сме се занемарити важност квалитета извођења наставе, јер

испоручени материјал је важнији од начина на који је достављен [47].

## **6. ЗАКЉУЧАК**

Индустрије 4 и 5.0 обилују мноштвом различитих технолошких могућности, чија је примена трајно променила производни свет. Утицаји тих промена могу се посматрати кроз две сфере: прва се огледа у брзини са којом се сада постижу радни задаци, сигурности обраде података и превођење истих у корисне информације, подршци при одлучивању, упозоравању на грешке и пропусте, технолошком извођењу мануелних радњи и слично; а друга се односи на промене у потражњи за људским ресурсима.

Практично, сва радна места чије задатке може обављати технологија, препуштају се истој, како би се људским ресурсима приписали они послови кој изискују одређену дозу иновативности, креативности и маште. Потврђено је да неке технологије не могу остварити свој пун потенцијал, без сарадње са човеком. Компететиван однос између човека и машина, сматра се решењем за успешну производњу 21. века.

Утицаји Индустрије 4 и 5.0 на потражњу за људским ресурсима, огледају се у потреби да запослени поседују одређену дозу знања и вештина управљања савременом технологијом. Спремност на целоживотно учење, постаје важна пожељна карактеристика нових запослених. Од школа се очекује максимална припремљеност кадра за тренутне и будуће послове – њихов задатак је да припреме образовне процесе у складу са променама које су наступиле. Знатски, ручно рађени послови, опет добијају на значају. Производи направљени на такав начин, сматрају се најпожељнијим и чак луксузним. Индивидуализација и персонализација производа, отварају пут креативност и машти човека, чије изражавање представља навиши облик стваралаштва.

Може се закључити да су Индустрије 4 и 5.0 утицале на потражњу за људским ресурсима. Изгубила се потражња за многим занимањима, али се исто тако формирала потреба за неким другим знањима и вештинама.

## 7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Bibby, L., & Dehe, B. (2018). Defining and assessing industry 4.0 maturity levels—case of the defence sector. *Production Planning & Control*, 29(12), 1030-1043.
- [2] Liu, C., Vengayil, H., Zhong, R. Y., & Xu, X. (2018). A systematic development method for cyber-physical machine tools. *Journal of manufacturing systems*, 48, 13-24.
- [3] Schwab, K. (2017). *The fourth industrial revolution*. Currency.
- [4] Watson, G. H. (2019). The ascent to quality 4.0. *Quality Progress*, 52, 24-30.
- [5] Schmidt, R., Möhring, M., Härting, R. C., Reichstein, C., Neumaier, P., & Jozinović, P. (2015, June). Industry 4.0-potentials for creating smart products: empirical research results. In *International Conference on Business Information Systems* (pp. 16-27). Springer, Cham.
- [6] Nunes, M. L., Pereira, A. C., & Alves, A. C. (2017). Smart products development approaches for Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 13, 1215-1222.
- [7] Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., & Gorecky, D. (2015). Towards Industry 4.0-Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. *Ifac-Papersonline*, 48(3), 579-584.
- [8] Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing letters*, 3, 18-23.
- [9] Miodragović, G., Bulatović, R., Ivanović, S., & Bošković, M. (2015). The use of biologically-inspired algorithms for the optimization of machining parameters. *IMK-14-Istraživanje i razvoj*, 21(3), 93-97.
- [10] Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L. (2015, August). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. In *2015 12th International conference on fuzzy systems and knowledge discovery (FSKD)* (pp. 2147-2152). IEEE.
- [11] Demartini, M., & Tonelli, F. (2018). Quality management in the industry 4.0 era. *Proceedings of the Summer School Francesco Turco*, 2018, 8-14.
- [12] Gonzalez-Jimenez, J. (2018, December). Analysis of Data from the Industrial Machinery within the Hot Rolling Process for Predictive Maintenance. In *Applications of Intelligent Systems: Proceedings of the 1st International APPIS Conference 2018* (Vol. 310, p. 122). IOS Press.
- [13] Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier, J., ten Hompel, M., & Wahlster, W. (2017). Industrie 4.0 maturity index. *Managing the digital transformation of companies*. Munich: Herbert Utz.
- [14] Colombo, A. W., Karnouskos, S., Kaynak, O., Shi, Y., & Yin, S. (2017). Industrial cyberphysical systems: A backbone of the fourth industrial revolution. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 11(1), 6-16.
- [15] Lee, J., Bagheri, B., & Jin, C. (2016). Introduction to cyber manufacturing. *Manufacturing Letters*, 8, 11-15.
- [16] Bousdekis, A., & Mentzas, G. (2017, September). Condition-based predictive maintenance in the frame of Industry 4.0. In *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems* (pp. 399-406). Springer, Cham.
- [17] Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- [18] Li, D., Fast-Berglund, Å., & Paulin, D. (2019). Current and future Industry 4.0 capabilities for information and

- knowledge sharing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 105(9), 3951-3963.
- [19] Nikolic, B., Ignjatic, J., Suzic, N., Stevanov, B., & Rikalovic, A. (2017). Predictive manufacturing systems in Industry 4.0: trends, benefits and challenges. *Annals of DAAAM & Proceedings*, 28.
- [20] Foidl, H., & Felderer, M. (2015, November). Research challenges of industry 4.0 for quality management. In *International Conference on Enterprise Resource Planning Systems* (pp. 121-137). Springer, Cham.
- [21] Sader, S., Husti, I., & Daroczi, M. (2019). Quality Management Practices in the Era of Industry 4.0. *Zeszyty Naukowe Politechniki Czestochowskiej research reviews of Czestochowa university of technology*, 117.
- [22] Sony, M., Antony, J., & Douglas, J. A. (2020). Essential ingredients for the implementation of Quality 4.0. *The TQM Journal*.
- [23] Özdemir, V., & Hekim, N. (2018). Birth of industry 5.0: Making sense of big data with artificial intelligence, “the internet of things” and next-generation technology policy. *Omics: a journal of integrative biology*, 22(1), 65-76.
- [24] Longo, F., Padovano, A., & Umbrello, S. (2020). Value-oriented and ethical technology engineering in industry 5.0: a human-centric perspective for the design of the factory of the future. *Applied Sciences*, 10(12), 4182.
- [25] Skobelev, P. O., & Borovik, S. Y. (2017). On the way from Industry 4.0 to Industry 5.0: From digital manufacturing to digital society. *Industry 4.0*, 2(6), 307-311.
- [26] Ellitan, L., & Anatan, L. (2019). Achieving business continuity in Industrial 4.0 and Society 5.0. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 4(2).
- [27] Damayanti, R., & Jumiyati, E. (2020, May). Peranan kepala sekolah dalam meningkatkan mutu pendidikan di era Masyarakat 5.0. In *Prosiding seminar nasional program pascasarjana universitas pgri palembang*.
- [28] Prastowo, A. I., Firman, A. J., Mulyanto, T., & Wiranata, R. R. S. (2020, September). The Independent Learning Curriculum Concept of Imam Zarkasyi's Perspective In Pesantren For Facing The Era of Society 5.0. In *Proceedings of the 4th International Conference on Learning Innovation and Quality Education* (pp. 1-6).
- [29] Rahayu, S. (2020, May). Peran kepemimpinan kepala madrasah terhadap mutu pembelajaran menuju era 5.0. In *Prosiding seminar nasional program pascasarjana universitas pgri palembang*.
- [30] Žižek, S. Š., Mulej, M., & Potočnik, A. (2021). The sustainable socially responsible society: Well-being society 6.0. *Sustainability*, 13(16), 9186.
- [31] Gurjanov, A. V., Zakoldaev, D. A., Shukalov, A. V., & Zharinov, I. O. (2020, November). The smart city technology in the super-intellectual Society 5.0. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1679, No. 3, p. 032029). IOP Publishing.
- [32] Doyle-Kent, M., & Kopacek, P. (2019, August). Industry 5.0: Is the manufacturing industry on the cusp of a new revolution?. In *Proceedings of the International Symposium for Production Research 2019* (pp. 432-441). Springer, Cham.
- [33] Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0 - A human-centric solution. *Sustainability*, 11(16), 4371.
- [34] Đuričin, D., & Lončar, D. (2020). Shaping the future of Serbia's economy: The new growth model and related economic policy platform. *Ekonomika preduzeća*, 68(1-2), 1-21.
- [35] Østergaard, E. H. (2018). Welcome to industry 5.0. Retrieved on February, 5, 2020.

- [36] Mekkkunnel, F. (2019). *Industry 5.0: man-machine revolution* (Doctoral dissertation, Wien).
- [37] Majid, M. I., Darmawan, C. K., Majid, S. A., & Yulianto, Y. (2019). Anticipating the Entry of Industry 5.0 in Transportation Sector. *Advances in Transportation and Logistics Research*, 2, 103-115.
- [38] Kurniawan, A., Komara, B. D., & Setiawan, H. C. B. (2019). Preparation and Challenges of Industry 5.0 for Small and Medium Enterprises in Indonesia. *Muhammadiyah International Journal of Economics and Business*, 2(2), 155-160.
- [39] Önday, Ö. (2020). Society 5.0-its historical logic and its structural development. *Journal of Scientific Reports*, 2(1), 32-42.
- [40] Prašnikar, J., Redek, T., & Koman, M. (Eds.). (2017). *Robots among us*. Časnik Finance.
- [41] Mitrović, R. (2019). SERBIA 4.0: A Future That Must Not Be Missed. Beograd: *Zavod za udžbenike*, [In Serbian].
- [42] Yazid, A. A. (2021). Existence of Islamic education in the era of society revolution 5.0. *AMCA Journal of Religion and Society*, 1(1), 13-15.
- [43] Aprilisa, E. (2020, April). Realizing Society 5.0 to Face the Industrial Revolution 4.0 and Teacher Education Curriculum Readiness in Indonesia. In *Proceeding International Conference on Science and Engineering* (Vol. 3, pp. 543-548).
- [44] Wiranto, A., Farana, D. E., & Kalimah, S. (2021). *Memfaatkan media ict dalam meningkatkan mutu pendidikan di era human Sociery 5.0*. Prosiding FKIP UMC.
- [45] Darmaji, D., Mustiningsih, M., & Arifin, I. (2019, December). Quality Management Education in the Industrial Revolution Era 4.0 and Society 5.0. In *5th International Conference on Education and Technology (ICET 2019)* (pp. 565-570). Atlantis Press.
- [46] Permatasari, D., & Iqbal, M. (2019, Avgust). Strengthening Entrepreneurship With A Grit System And Transformational Technology To Face Society 5.0 In Asian Community. In *International Conference of One Asia Community* (Vol. 1, No. 1, pp. 104-109).
- [47] Airawaty, D., & Widarjo, W. (2020, August). Facing Revolution Industrial 4.0 and Society 5.0 E-Learning be as Effective as Traditional Learning: Evidence from Indonesia. In *1st Progress in Social Science, Humanities and Education Research Symposium (PSSHRS 2019)* (pp. 1154-1157). Atlantis Press.

---

Адреса аутора: Тадић Дијана, студент докторских студија, Технички факултет „Михајло Пупин“, Зренјанин, Ђуре Ђаковића бб

е-маил: dijana.tadic@tfzr.rs

Рад примљен: јул 2022.

Рад прихваћен: септембар 2022.

Проф. др Милорад Ранчић

## БОГДАН МАГЛИЋ



Богдан Маглић је рођен у Сомбору 5. августа 1928. године у породици угледног адвоката и народног посланика Цвете Маглића. Основну школу завршио је у свом родном месту. Када је имао тринаест година усташе су га депортовале у нацистички логор. Након завршетка Другог светског рата Богдан је уписао студије физике на београдском Универзитету. Дипломирао је 1950. године. Још као студент запослио се у Институту „Винча“ у Београду који је тада био „тајни град“ пошто су се у њему обављала нуклеарна истраживања. Држава је 1954. године одлучила да се „Винча“ отвори за домаће и стране експерте. Први званични гост Института био је амерички професор Бернард Фелд са Универзитета МИТ који се иначе бавио истраживањима у области развоја атомских бомби. Њему су се посебно допали експерименти које је изводио тада млади сарадник Богдан Маглић па га је позвао на свој Универзитет МИТ. Међутим већ је било предвиђено да Богдан своје усавршавање и магистарске студије настави на Универзитету у Ливерпулу који је у то време поседовао највећи циклотрон на свету. У Ливерпулу је и магистрирао 1955. године. Као стипендиста Унеска Богдан ипак следеће године одлази у САД на Масачусетски институт за технологију (МИТ). На њему је 1959. године докторирао. Две године касније запослио се на Универзитету Калифорније и на њему је наставио свој научни рад у области нуклеарне физике.

Највредније научно достигнуће Богдана Маглића је откривање елементарне честице Омега пи Мезон којој је дао име  $S$  честица. Међутим и други његови проналасци имају изузетно велики значај. Патент употребе нуклеарног зрачења за детекцију експлозива данас се користи широм света. У области примењене науке развио је поступак хемијске идентификације експлозива помоћу неутронског зрачења (Digital Dog Nose). Богдан Маглић је патентирао анеутронску нуклеарну енергију (процес фузије без радиоактивности). То је уствари контролисана фузија (укроћена енергија хидрогенске бомбе) при којој се остварује температура реакције величине до 100 милиона степени Целзијусових што иницира експлозију хидрогенске бомбе. Реакција контролисане фузије омогућава



активирање хидрогенске бомбе без атомске експлозије и користи се искључиво у мирно-допске сврхе за производњу електричне енергије. Стихометријски телеанализатор је такође још један проналазак Богдана Маглића. Овај уређај може да утврди хемијски састав неке материје без контакта са њом. Примењен је на аеродромима када је потребно утврдити хемијски састав непознатих супстанци без отварања кофера и торби. Маглић је радио и на методама за рано откривање малигнитета код људи. Одређивање хемијског састава ткива без биопсије названо је неутронска дијагностика. Међутим, неке од великих научних идеја и пројеката није успео да реализује. За изградњу фузионе електричне централе у васиони велики фондови америчког ваздухопловства нису му одобрени због сујете једног члана Комитета. Идеја о изради малих атомских електричних централа за индивидуалне куће није прошла у Конгресу САД-а.

Професор др Богдан Маглић је остварио изузетну научну и пословну каријеру. Био је председник Корпорације за вишу физику на Принстону, руководиоц НАСА центра за васионску технологију у Њу Џерсију, сарадник Америчког удружења физичара, копредседник Теслиног меморијалног комитета, председавајући Алумни клуба Њу Џерси при Институту Масачусетс, члан Управног одбора Рипон удружења, учесник при подизању споменика Николи Тесли на Нијагариним водопадима...Маглић је биран у звање професора Пенсилванија Универзитета у Филаделфији, професора државног Универзитета у Њу Џерсију, водећег истраживача Европске организације за нуклеарна истраживања у Женеви, научног саветника у Евро-Американ Гроуп Инк итд. Након завршетка универзитетске каријере Богдан Маглић је основао компанију ХИЕНЕРГИ и био њен председник.

Богдан Маглић никада није заборавио своју домовину и родни крај. Читавог живота задржао је српско држављанство. Био је у контакту и сдарађивао са многим институцијама и појединцима. За иностраног члана САНУ на оделењу природно математичке науке изабран је 1985. године на оделењу за физику и гео науке 1998. године. У Историјском архиву града Сомбора основао је Фонд Др Богдана Маглића. У њему се чува његово завештање: комплетна документација највећег открића елементарне S честице.

За огроман допринос развоју нуклеарне физике Професор др Богдан Маглић добио је велики број признања. Године 1961. додељено му је Признање председника САД-а Џона Кенедија. Носилац је Златне медаље Конгреса САД-а. У току рада у истраживачком центру ЦЕРН постао је почесни грађанин Швајцарске. А 1976. године награђен је Орденом југословенске заставе са златном лентом.

Наш велики научник у области нуклеарне физике Професор др Богдан Маглић преминуо је 25. новембра 2017. године у Њупорт Бичу у Калифорнији.

## IN MEMORIAM



### НИКОЛА Б. АДАМОВИЋ

Изненада, 28. јула 2022. године напустио нас је Никола Адамовић, наш вишедеценијски сарадник, колега и пријатељ. Када са неким сарађујете више година, већ се може рећи да се ради о међусобном поверењу, а за вишедеценијску сарадњу и ангажовање на добровољном, волонтерском принципу, без материјалне добити и било каквог личног интереса, са сигурношћу се може рећи да се ради о посебном колегијалном и пријатељском односу који је имао за циљ афирмацију техничке, инжењерске струке, унапређење и развој еснафа и Организације којој смо безрезервно припадали, Друштву инжењера и техничара у Зрењанину и нашој кровној асоцијацији Савезу инжењера и техничара Србије. При том, Никола Адамовић је у целокупном свом ангажовању предњачио, несебично се ангажовао већ после оснивања Иницијативног одбора за формирање ДИТ у нашем Граду као учесник историјске оснивачке Скупштине Друштва инжењера и техничара 02. фебруара 1985. године у Културном центру у Зрењанину. Током више од 35 година интензивног ангажовања у ДИТ у Зрењанину и СИТ Србије, успешно је, више година, обављао функције председника и генералног секретара ДИТ и члана УО СИТ Србије. Добитник је најпрестижнијих признања: Повеље ДИТ у Зрењанину, Заслужног члана СИТ Србије и Повеље СИТ Србије.

Никола Адамовић је рођен 23. маја 1952. године у Банатском Карађорђеву. Основну школу је завршио у родном месту, а гимназију у Зрењанину. На Електротехничком факултету Универзитета у Београду је дипломирао 1977. године. Те исте године је започео радну каријеру у Југословенским железницама у Новом Саду, где је остао до 1982. године, када се вратио у Зрењанин и наставио са радом у Телекому, све до одласка у превремену пензију 2014. године. Током своје радне каријере обављао је многе послове на различитим позицијама, укључујући и позицију техничког директора Телекома у Зрењанину. У стручном, инжењерском смислу, посебно се бавио штетним утицајем електромагнетног зрачења на здравље људи, о чему је објавио више стручних радова у Научно-стручном часопису ДИТ.

Никола Адамовић је био пажљив супруг, узоран отац, брижан деда, постојан домаћин, као најбоља комбинација честитости личног порекла и банатске мирноће и вредноће. Посвећен сваком задатку и обавезама које је прихватао, одавао је сигурност и поузданост код нас, колега и сарадника, јер смо знали да ће све урадити на најбољи могући начин. Особине и врлине које су га красиле су доказ да је био озбиљан и одговоран човек, што ће све заједно у времену пред нама недостајати, како његовој породици, тако и нашем Удружењу, колегама, сарадницима и пријатељима.

Милорад Ранчић  
Милан М. Зечар

## УПУТСТВО ЗА ПИСАЊЕ РАДОВА

- Радови се достављају у електронском облику на усб диску или електронском поштом.
- Рад треба да буде откуцан у фонту Times New Roman са ћириличним писмом. Величина фонта 12.
- Препоручује се ауторима да при уређивању рада користе шему - темплејт - који се налази на сајту издавача [www.diz.org.rs](http://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<sup>®</sup>**

za merenja i ispitivanja iz Zrenjanina  
osnovan 1990.

Kej 2. oktobra br. 13  
23000 Zrenjanin      Tel: +381 23 580 830  
P. fah 3                      381 23 589 030  
e-mail: info@dec.rs      Fax: +381 23 580 831  
www.dec.rs                      +381 23 589 031

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

- Merenja, ispitivanja i kontrolisanja na elektroenergetskim objektima do 400 kV (sistemi izolacije - tgđ i VLF 0,1 Hz , otpornost namotaja, prenosni odnos, SFRA analiza, merenje impedanse uzemljenja na sistemima velikih uzemljivača, napon dodira i koraka, hemijska i fizička analiza trafo ulja, regeneracija trafo ulja, termovizijske kontrole, kontrolisanje metaloksidnih odvodnika prenapona...)

- Jednofazno i trofazno ispitivanje relejne zaštite, analiza kvaliteta isporučene el. energije...

- Kontrolisanje mernog mesta na niskom, srednjem i visokom naponu: brojila, merni transformatori...

- Revizija trafostanica: merenje, ispitivanje i pregled montažno-betonskih, stubnih, zidanih i ostalih tipova trafostanica svih naponskih nivoa...

- Laboratorija za etaloniranje i pregled električnih merila

- Overavanje brojila el. energije i mernih transformatora (strujnih i naponskih)

- Kontrolisanje električnih i gromobranskih instalacija stambenih, poslovnih, proizvodnih objekata...

- Ispitivanje opreme i oruđa za rad sa aspekta bezbednosti i zdravlja na radu: Licenca za pregled opreme i oruđa za rad od Ministarstva rada i socijalne politike br. 164-02-00230/2015-01

- Izdavanje sertifikata o energetskim svojstvima objekata visokogradnje - energetskog pasoša

- Merna kola BAUR: pronalaženje trase kablova i kvarova na njima, kao i saniranje kvarova

#### **NAŠ INSTITUT JE ZVANIČNI ZASTUPNIK KOMPANIJA METREL IZ SLOVENIJE**

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

[www.metrel.si](http://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@gmpm.rs](mailto:office@gmpm.rs);  
[predragmistic@gmpm.rs](mailto:predragmistic@gmpm.rs)

PIB: 111249840

MB: 21449237

Žiro račun: 275-0020222974638-56  
Societe Generale Banka

# IRON



[www.iron.rs](http://www.iron.rs) 023/531-890 , 023/ 530-511



[iron@iron.rs](mailto:iron@iron.rs) 063/521-435 , 062/8838-291

TEGOVI I KLUPE ZA VEŽBANJE

BORILAČKA OPREMA

KOORDINACIONI PROGRAM

SPRAVE ZA KUĆNO VEŽBANJE

**BSN TEH GRAD DOO**

**23000 Zrenjanin,**

**Toše Jovanovića br 26 L2/8**

**E mail:djurica1963@gmail.com**



## ДРУШТВО ИНЖЕЊЕРА ЗРЕЊАНИН



## ГРАД ЗРЕЊАНИН



## РЕПУБЛИКА СРБИЈА

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

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