

# ZBORNIK RADOVA

## PROCEEDINGS

**19. SKUP O PRIRODNOM PLINU, TOPLINI I VODI**  
**19<sup>th</sup> NATURAL GAS, HEAT AND WATER CONFERENCE**

**12. MEĐUNARODNI SKUP O PRIRODNOM PLINU, TOPLINI I VODI**  
**12<sup>th</sup> INTERNATIONAL NATURAL GAS, HEAT AND WATER CONFERENCE**

HEP-Group  
HEP-Plin Ltd.  
HR-31000 Osijek, Cara Hadrijana 7

University of Slavonski Brod  
Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod  
HR-35000 Slavonski Brod, Trg I. B. Mažuranić 2

University of Pécs  
Faculty of Engineering and Information Technology  
H-7624 Pécs, Boszorkány u. 2



Suorganizator  
Co-organizer



Uz potporu  
Supported by  
Ministarstvo znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske  
Ministry of Science and Education of the Republic of Croatia

Osijek, 22.- 25.09.2021.

## PLIN 2021

### ZBORNIK RADOVA 12. MEĐUNARODNOG SKUPA O PRIRODNOM PLINU, TOPLINI I VODI

### PROCEEDINGS OF 12<sup>th</sup> INTERNATIONAL NATURAL GAS, HEAT AND WATER CONFERENCE

Izdavač / Publisher: Sveučilište u Slavonskom Brodu

Email: [plin@unisb.hr](mailto:plin@unisb.hr)

URL: <https://konferencija-plin.unisb.hr/>

All papers are reviewed.

The authors are only responsible for the contents and accuracy of all published material. The Editors do not accept any liability for the contents and accuracy of articles, or responsibility for any mistakes (editorial or typographical), nor for any consequences that may arise from them.

#### Urednici / Editors:

Pero RAOS, glavni urednik  
Tomislav GALETA  
Dražan KOZAK  
Marija RAOS  
Josip STOJŠIĆ  
Igor SUTLOVIĆ  
Zlatko TONKOVIĆ

#### PLIN 2021 Organizacijski odbor / PLIN 2021 Organization committee:

Marija RAOS, Hrvatska, predsjednica organizacijskog odbora  
Josip STOJŠIĆ, Hrvatska  
Josip CUMIN, Hrvatska  
Miroslav DUSPARA, Hrvatska  
Renata ĐEKIĆ, Hrvatska  
Nada FLANJAK ROŠOČI, Hrvatska  
Tomislav GALETA, Hrvatska  
Ismeta HASANBEGOVIĆ, BiH  
Zvonimir KLAIĆ, Hrvatska  
Miroslav MAZUREK, Hrvatska  
Mirjana Mia PODGAJAC, Hrvatska  
Pero RAOS, Hrvatska  
Igor SUTLOVIĆ, Hrvatska  
Zlatko TONKOVIĆ, Hrvatska  
Nikola VIŠTICA, Hrvatska

Sponzori / Sponsors



Izlagачi / Exhibitors



PLIN 2021 Počasni odbor / PLIN 2021 Honor committee:

Ivan SAMARDŽIĆ, predsjednik, Hrvatska  
Frane BARBARIĆ, Hrvatska  
Vlado GUBERAC, Hrvatska  
Tomislav JUREKOVIĆ, Hrvatska  
Gabriella MEDVEGY, Mađarska  
Damir PEĆUŠAK, Hrvatska  
Tomislav ŠAMBIĆ, Hrvatska

PLIN 2021 Programski odbor / PLIN 2021 Program committee:

Dražan KOZAK, predsjednik, Hrvatska  
Antun STOIĆ zamjenik pred., Hrvatska  
Bálint BACHMANN, Mađarska  
Darko BAJIĆ, Crna Gora  
Eraldo BANOVAC, Hrvatska  
Károly BELINA, Mađarska  
Ivan BOŠNJAK, Hrvatska  
Aida BUČO-SMAJIĆ, BiH  
Zlatan CAR, Hrvatska  
Robert ČEP, Češka  
Majda ČOHODAR, BiH  
Ejub DŽAFEROVIĆ, BiH  
Tomislav GALETA, Hrvatska  
Antun GALOVIĆ, Hrvatska  
Hrvoje GLAVAŠ, Hrvatska  
Nenad GUBELJAK, Slovenija  
Sergej HLOCH, Slovačka  
Nedim HODŽIĆ, BiH  
Željko IVANDIĆ, Hrvatska  
Željka JURKOVIĆ, Hrvatska  
Ivica KLADARIĆ, Hrvatska  
Milan KLJAJIN, Hrvatska  
Janez KOPAČ, Slovenija  
Grzegors KROLCZYK, Poljska  
Stanislaw LEGUTKO, Poljska  
Leon MAGLIĆ, Hrvatska  
Damir MILJAČKI, Hrvatska  
Mladomir MILUTINOVIĆ, Srbija  
Ferenc ORBÁN, Mađarska  
Branimir PAVKOVIĆ, Hrvatska  
Denis PELIN, Hrvatska  
Miroslav PLANČAK, Srbija  
Dalibor PUDIĆ, Hrvatska  
Marijan RAJSMAN, Hrvatska  
Marko RAKIN, Srbija  
Miomir RAOS, Srbija  
Pero RAOS, Hrvatska  
Alessandro RUGGIERO, Italija  
Aleksandar SEDMAK, Srbija

Marinko STOJKOV, Hrvatska  
Josip STOJŠIĆ, Hrvatska  
Igor SUTLOVIĆ, Hrvatska  
Tomislav ŠARIĆ, Hrvatska  
Mladen ŠERCER, Hrvatska  
Damir ŠLJIVAC, Hrvatska  
Vedran ŠPEHAR, Hrvatska  
Zlatko TONKOVIĆ, Hrvatska  
Zdravko VIRAG, Hrvatska  
Nikola VIŠTICA, Hrvatska  
Jurica VRDOLJAK, Hrvatska  
Marija ŽIVIĆ, Hrvatska



## Sadržaj / Contents

### **POZVANO PREDAVANJE / INVITED LECTURE**

CO <sub>2</sub> EMISSIONS FROM BACK UP FACILITIES FOR COVERING WIND POWER PLANT PRODUCTION VARIABILITY VS. INSTALLED CAPACITY AND OUTPUT .....	1
I. Sutlović, V. Filipan, P. Raos, N. Vištica	

### **PLIN I PLINSKA TEHNIKA / GAS AND GAS TECHNIQUE**

KAPACITETI ZA RAFINACIJU BIOPLINA I KORIŠTENJE BIOMETANA U EU .....	7
M. Ivanović, Z. Tonković	

### **ENERGETIKA I TOPLINSKA TEHNIKA / ENERGETICS AND HEATING TECHNIQUE**

UPRAVLJANJE POTROŠNJOM U OBJEKTU KUPCA S VLASTITOM PROIZVODNjom .....	15
M. Matasović, Z. Klaić, H. Adrić	
NATURAL DYES PLANT ORIGIN FOR SOLAR CELL APPLICATION .....	25
A. Sutlović, I. Sutlović, P. Raos, B. Vojnović	
PRAKTIČNO ISPITIVANJE KARAKTERISTIKA AUTOMATSKIH PREKIDAČA .....	31
N. Veić, H. Glavaš, T. Benšić	
SPEKTRALNI SASTAV DOSTUPNIH IZVORA SVJETLOSTI .....	48
M. Tuđan, Z. Kraus, H. Glavaš	
ANALIZA POTROŠNJE ENERGIJE TERMOTEHNIČKOG SUSTAVA S APSORPCIJSKOM DIZALICOM TOPLINE .....	54
M. Đuranović, M. Stojkov, M. Živić, A. Barac, M. Holik, D. Bukvić	
ORGANIC RANKINE CYCLES FOR GEOTHERMAL ENERGY USE .....	65
D. Cirimotić, V. Filipan, I. Sutlović, Z. Kuntić	

### **VODA / WATER**

VRIJEDNOSTI DRVEĆA U URBANIM SREDINAMA - GRADOVIMA .....	75
V. Prgić, K. Novak, D. Obradović	
OPLATNI SUSTAVI ZA IZVOĐENJE BETONSKIH HIDOTEHNIČKIH GRAĐEVINA .....	86
D. Vidaković, A. Jurić, D. Hećimović	
ZAŠTITA OD SUVIŠNIH VODA (DIJELA JELAS POLJA) .....	98
S. Maričić	
SUVREMENI PRISTUP URBANOJ ODVODNJI .....	108
M. Šperac, T. Mijušković-Svetinović	

### **REGULATIVA / REGULATIONS**

ISHODENJE GRAĐEVINSKIH DOZVOLA U DRŽAVAMA EUROPSKE UNIJE I IZVAN NJE KAO POKAZATELJ LAKOĆE POSLOVANJA .....	118
D. Obradović, I. Unukić, U. Klanšek	

PROVEDBA ZAŠTITE OSOBNIH PODATAKA PREMA OPĆOJ UREDBI O ZAŠTITI PODATAKA 2016/679 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA .....	130
S. Franjić	

### **KONSTRUIRANJE I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE / DESIGN AND PRODUCTION TECHNOLOGIES**

3D SINKRONA TEHNOLOGIJA MODELIRANJA POGONSKOG SKLOPA TROKRILNE ZUPČASTE PUMPE ZPC - 32 .....	140
B. Hršak, A. Čikić, M. Šunjo	

OPTIMAL DESIGN OF INDUSTRIAL PIPELINE BRIDGE .....	150
F. Orban, Gy. Vasvari, T. Zsebe, F. Dako, I. Samardžić	

THERMALLY ACTIVATED PROCESSES - METAL FORMING .....	157
B. Grizelj, S. Rešković, I. Samardžić, D. Marić, M. Duspara, L. Špoljarić, K. Vuletić, I. Putnik	

ANALIZA DEFORMACIJA I NAPREZANJA DVOSTRUKO STATIČKI NEODREĐENOG MOMENTNOG OKVIRNOG NOSAČA .....	164
M. Vilić, J. Marijić, I. Grgić, M. Karakašić, Ž. Ivandić	

NON-DESTRUCTIVE EXAMINATION OF MEMBRANE WALLS WELDING DURING WATER TUBE BOILER MANUFACTURING .....	173
A. Herceg, D. Marić, T. Šolić, M. Samardžić, A. Bašić, I. Samardžić	

CALCULATION OF CRITICAL PIPELINE GEOMETRY IN THERMAL POWER PLANTS .....	183
B. Damjanović, D. Turk, P. Konjatić, M. Katinić	

METEOROLOŠKA STANICA REALIZIRANA UZ POMOĆ ARDUINA .....	196
M. Tačković, M. Mesić, Z. Kraus	

# ***CO<sub>2</sub> Emissions From Back Up Facilities for Covering Wind Power Plant Production Variability vs. Installed Capacity and Output***

**I. Sutlović<sup>1\*</sup>, V. Filipan<sup>1</sup>, P. Raos<sup>2</sup>, N. Vištica<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Faculty of Chemical Engineering and Technology, University of Zagreb, Zagreb, Croatia

<sup>2</sup>Mechanical Engineering Faculty, University of Slavonski Brod, Slavonski Brod, Croatia

<sup>3</sup>Croatian Energy Regulatory Agency, Zagreb, Croatia

\*Corresponding Author. E-mail: isutlo@fkit.hr

## **Abstract**

Last year paper presented estimation of CO<sub>2</sub> emission from back up facilities for covering wind power plant (WPP) production variability: This research is now widened to six year long period using available data from Croatian WPP production annual reports issued by Croatian Transmission System Operator Ltd. (HOPS d.o.o.). Special attention is given to installed WPP capacity and average annual output of WPP in order to find out how they affect to overall CO<sub>2</sub> emission from back up facilities. It is worth of mentioning that WPP installed capacity grew from approximately 400 MW in 2015. to over 800 MW in 2020. where WPP in testing operation or under construction are included. Gas power plants (GPP) is considered for purpose of back up facility as already presented in previous research and natural gas is used as primary energy source.

**Keywords:** Renewable energy sources, annual WPP production, CO<sub>2</sub> emission

## **1. Introduction**

This research is extension of last year research [1] where covering of production variability of wind power plants (WPP) was analysed. It is useful to repeat basic facts about renewable energy sources (RES), good ones they are environment friendly and cannot be exhausted, and bad ones concerning their technical constraints such as intermittence and no possibility of storage. Keeping in mind these facts further investigation will be fulfilled taking in account growing share of RES in national power system both in installed capacity and WPP production. Analysis is based on available data for Croatian power system delivered by Croatian Transmission System Operator Ltd. (HOPS d.o.o.) for period from 2015 to 2020.

## **2. WPP in Croatia**

### **2.1. Installed capacities and production of WPP**

Installed capacities in WPP in Croatia grew from 427 MW in 2015 to over 800 MW in 2020 [2] with share of 16,55% in total installed capacities for power generation in Croatia. Total

installed capacities include thermal and hydro power plants and RES while Nuclear power plant Krško is not included [3]. Installed capacities growth was followed by production growth on yearly, monthly and daily base as can be seen in Table 1.

**Table 1.** Installed capacities in WPP and their production in Croatia

Year	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.
Installed capacity, MW	427,85	483,05	576	576	646,25	801,25
Production, GWh	787,93	1012,51	1203,81	1334,44	1459,94	1720,47
Prod. /Inst. cap., GWh/MW	1,842	2,096	2,090	2,317	2,259	2,147
Average hourly production, MWh	90	115,83	137,42	152,33	167,06	195,84
Average monthly production, GWh	65,66	84,38	100,32	111,2	121,66	143,37

In Table 1 in fourth row can be seen production of WPP (GWh) per installed capacity (MW). This ratio can be described as “rule of thumb” because of various availability of wind in every year and fact that some WPP came into full operation during year. But generally, generated electricity per installed capacity grew as total installed capacity grew. It can be explained by fact that all new WPP are positioned inside area defined by first realised projects increasing energy density in that way.

## 2.2. Covering of WPP intermittence

Operation of power system is characterized by variable demand of consumers as can be seen in load diagram shown by Figure 1 [2].

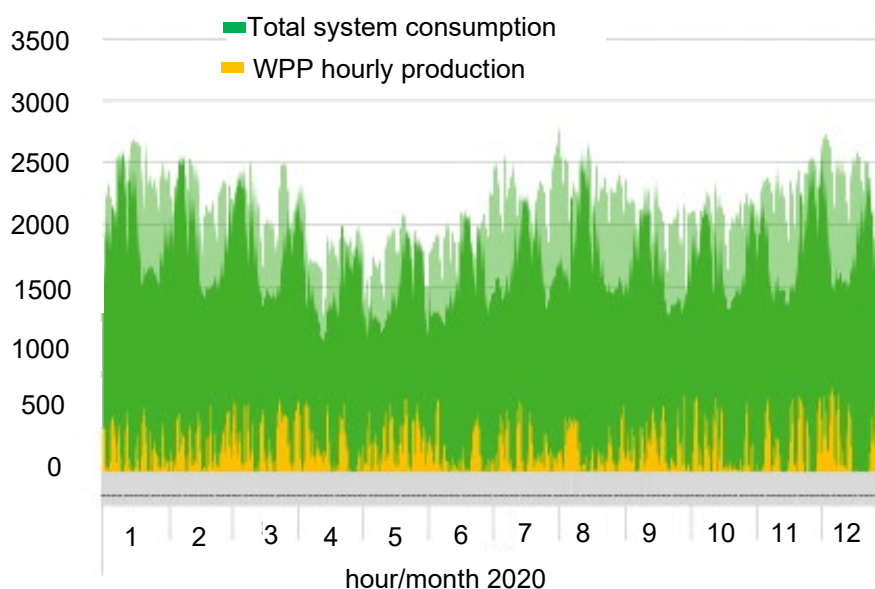


Figure 1. Load diagram of Croatian power system

In every moment balancing of power system is needed and this is not result of WPP or generally RES intermittence only. The problem is intermitting operation of WPP on input side of power system making precise planning of delivered electricity impossible.

Therefore this intermittence has to be balanced. In Croatian power system balancing is fulfilled through regulating power of producers connected to grid especially hydro power plants. Gas turbines power plant as appropriate back up facility for covering intermittence of WPP does not exist yet. In further research the emphasis is put on GPPs as back up facility as already described in [1]. Doing their primary function of balancing intermittence of WPP at the same time they are source of CO<sub>2</sub> emission.

### 3. GPP as back up facility for WPP

In following analysis GPP is used as back up facility for covering of WPP production variability in order to confirm dependence of RES on power plants using fossil fuels. This dependence should be as low as possible but at this moment it cannot be avoided. Also, idea of paper is not to diminish importance of RES and their role in present and future energy and climatic goals. The methodology used is presented in [1] and now will be widened to larger set of data as described in following text.

From available data for monthly and average monthly production issued in annual reports by Croatian Transmission System Operator Ltd. (HOPS d.o.o.) for years 2015 to 2020, partly shown in Table 1., values important for further analysis will be calculated using following equations.

For each month of current year difference between average monthly production and actual monthly production  $\Delta_{month_i}$  can be calculated

$$\Delta_{month_i} = WPP_{avgmonthly_j} - WPP_{prod_i} \quad [\text{GWh}] \quad (1)$$

where:

$WPP_{avgmonthly_j}$  is average monthly production for current year "j" given in Table 1. "j" is in range 1 to 6 (2015 to 2020) but can be different depending on available data and chosen number of years and  $WPP_{prod_i}$  is monthly production of all WPP in operation in month "i" where "i" is in range from 1 to 12 (January to December).

Value from equation (1) can be less, equal or greater than zero. When less than zero WPP production in current month is lower than average monthly production and has to be covered by some other source for instance from GPP in total or partly. That leads to CO<sub>2</sub> emission. If greater than zero WPP production is higher than average monthly reduction and that leads to CO<sub>2</sub> saving.

Summing by index "i" for current year "j" total difference between average monthly production and production in current month  $\Delta_{month/year_j}$  can be calculated

$$\Delta_{month/year_j} = \sum_{i=1}^{12} (WPP_{avgmonthly_j} - WPP_{prod_i}) \quad [\text{GWh}] \quad (2).$$

Values from (1) and (2) are basis for calculating monthly and yearly CO<sub>2</sub> emissions from GPP used as back up facility. Multiplying values from (1) and (2) by emission of CO<sub>2</sub> per

kWh of electricity  $g_{CO_2e} \left[ \frac{kg_{CO_2}}{kWh_e} \right]$  generated in GPP monthly and yearly CO<sub>2</sub> emissions can be calculated

$$G_{CO_2,month_i} = \Delta_{month_i} \cdot g_{CO_2e} \left[ \frac{10^3 t_{CO_2}}{month} \right] \quad (3).$$

Finally yearly CO<sub>2</sub> emission is calculated

$$G_{CO_2,year_j} = \sum_{i=1}^{12} \Delta_{month_i} \cdot g_{CO_2e} \left[ \frac{10^3 t_{CO_2}}{year} \right] \quad (4).$$

#### 4. CO<sub>2</sub> emissions estimation from GPPs

Available data on WPP generated electricity for years 2015 to 2020 are collected from annual reports and presented in Table 2. [2] as difference  $\Delta_{month_i}$  defined by equation (1).

Table 2. Values of  $\Delta_{month_i}$  from 2015 to 2020

	Month												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Year	$\Delta_{month_i}$ , GWh												Total
2015	-16,3	-18,3	-22,3	-11,3	3,66	4,16	30,7	30,2	-23,3	-21,3	18,7	27,7	1,92
2016	-2,6	-29,6	-18,6	-1,62	2,38	32,4	30,4	1,38	21,4	-8,62	-23,6	5,38	8,56
2017	-19,7	-1,68	-11,7	-9,68	22,3	40,3	33,3	15,3	7,32	26,3	-29,7	-67,7	4,84
2018	-20,8	-46,8	-30,8	25,2	38,2	-1,8	31,2	23,2	29,2	-20,8	-7,8	-6,8	11,4
2019	-38,3	-28,3	-35,3	-2,3	-4,3	45,7	41,7	46,7	28,7	55,7	-52,3	-57,3	-0,08
2020	23,4	8,37	-61,6	8,37	-36,6	48,4	18,4	13,4	5,37	16,4	3,37	-36,6	10,4

Inserting values from Table 2. into equations (1) to (4) and value monthly and yearly emissions are calculated and presented in Table 3.

Table 3. Values of monthly and yearly CO<sub>2</sub> emissions

	Month												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Year	$G_{CO_2,month_j}$ , 10 <sup>3</sup> tCO <sub>2</sub>												Total
2015	-8,0	-9,0	-11,0	-5,57	1,80	2,04	15,1	14,8	-11,5	-10,5	9,16	13,6	0,94
2016	-1,29	-14,5	-9,14	-0,80	1,17	15,9	14,9	0,68	10,5	-4,23	-11,6	2,64	4,20
2017	-9,66	-0,82	-5,73	-4,75	11,0	19,8	16,4	7,52	3,59	12,9	-14,6	-33,2	2,38
2018	-10,2	-23,0	-15,1	12,4	18,8	-0,88	15,3	11,4	14,3	-10,2	-3,83	-3,34	5,60
2019	-18,8	-13,9	-17,4	-1,15	-2,13	22,4	20,5	22,9	14,1	27,3	-25,7	-28,2	-0,04
2020	11,5	4,11	-30,3	4,11	-18,0	23,7	9,02	6,56	2,64	8,04	1,65	-18,0	5,13



Specific emission is taken as  $g_{CO_2e} = 0,490956 \text{ kg}_{CO_2} / \text{kWh}_e$  [1].

And finally, negative values of monthly CO<sub>2</sub> emissions from Table 2. are reduced on total yearly WPP generation shown in Table 1. The idea to so is that negative values occur when electricity generation from WPP is lower than average monthly value and has to be covered by GPP (GPP) emitting CO<sub>2</sub>. This is not usual way of thinking since we talk about clean energy from RES but let us be allowed to take this point of view. Results are given In Table 4.

Table 4. Recapitulation of CO<sub>2</sub> emissions

Year	CO <sub>2</sub> /kWh <sub>WPP</sub>	10 <sup>3</sup> tCO <sub>2</sub> from GPP	Yearly saving, 10 <sup>3</sup> tCO <sub>2</sub>
2015	0,07043	55,4976	732,43
2016	0,04108	41,5938	970,92
2017	0,05713	68,773	1135,04
2018	0,03267	43,5968	1290,84
2019	0,07344	107,215	1352,73
2020	0,03849	66,225	1654,25

In second column are CO<sub>2</sub> emissions divided by total yearly WPP generation from Table 1. CO<sub>2</sub> emissions are given in third column and are sum of negative values in current year, here presented as absolute values. Last column shows total CO<sub>2</sub> emission saving as difference of total yearly saving i.e. total WPP generation multiplied by  $g_{CO_2e}$  and then subtracted by value from third column.

## 5. Conclusions

As expected WPP generation varies from year to year, furthermore same months in different years cannot be compared. This is result of unpredictable meteorological circumstances i.e. availability of wind in some period. Installed capacities in Croatia grew strongly in past few year enlarging production to 1,7 TWh in 2020 affecting all dependent variables taken into account in presented methodology. It is shown that balancing of WPP generation is inevitable in order to assure stability of transmission system especially in respect of high share of installed capacities in WPP. Balancing of WPP with GPP is chosen and resulting CO<sub>2</sub> emissions are calculated with presumption that total balancing energy comes from GPP. This is not necessarily the case, especially in Croatia where WPP and power system is balanced by hydro power plants. Presented results show that WPP operation is accompanied by CO<sub>2</sub> emissions from GPP and can be considered as estimated values in spite of fact they are calculated because there is a room for making chosen methodology more precise. Calculated emissions are reduced to electricity generated in WPP that is not usual and can be considered as negligible in comparison to facilities using fossil fuels where values are from 0,45 to 1,16 kg/kWh<sub>e</sub> [4]. Also, saving in emission based on total yearly production is calculated and is much predominant to



emission from GPP serving as back up facility. Fulfilled calculations and analysis show that RES are unavoidable option for reaching determined climatic goals in scope of energy policies but also in this moment strongly connected to conventional primary energy sources.

## 6. References

- [1] Sutlović, Igor; Benić, Mateja; Raos, Pero; Vištica, Nikola. Estimation of CO<sub>2</sub> Emission From Back Up Facilities for Covering Wind Power Plant Production Variability, //Proceedings 11th International Natural Gas, Heat and Water Conference/, Raos, Pero et al. (ed.). (ISSN 1849-0638). Slavonski Brod : Sveučilište u Slavanskom Brodu, 23.09.-26.9..2020. p. 85-89
- [2] <https://www.hops.hr/izvjestaji-o-proizvodnji-ve-u-rh>, accessed 22.7.2021.
- [3] Energy institute Hrvoje Požar, Energy in Croatia 2019, 2019.
- [4] Khartchenko, Nikolai V. Umweltschonende Energietechnik. Würzburg, Kamprath-Reihe, 1997. (ISBN 3\*8023-1587-1)





# Kapaciteti za rafinaciju bioplina i korištenje biometana u EU

## *Capacities for Biogas Refining and Biomethane Use in The European Union*

M. Ivanović<sup>1,\*</sup>, Z. Tonković<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Panon – institut za strateške studije, Osijek, Hrvatska

\*Autor za korespondenciju. E-mail: [milanivanovi4@gmail.com](mailto:milanivanovi4@gmail.com)

### Sažetak

U ranijim radovima smo ukazali na važnost bioplina u kružnoj ekonomiji EU i trendovima rasta proizvodnje i potrošnje bioplina u razvijenim članicama EU – kako u proizvodnji električne energije i korištenja otpadne topline u tim procesima tako sve više kao pogonsko gorivo u cestovnom prometu. U ovom radu se ukazuje se na trendove u izgradnji kapaciteta za rafiniranje bioplina - koji se, zatim, kao biometan - koristi u lokalnom cestovnom prometu i kao dodatak lokalnom distribucijskom sustavu prirodnog plina. Također se ukazuje da bioplin (i biometan) nisu odgovarajuće zastupljeni u Prijedlogu strategije nisko-ugličinog razvoja Hrvatske. U zaključku se predlaže uspostavljanje nacionalnog biometanskog konzorcija koji bi radio na izgradnji više postrojenja za rafinaciju bioplina i na promociji uporabe biometana u cestovnom prometu i plinskoj mreži prirodnog plina.

**Ključne riječi:** Biometan, Bioplin, Kružna ekonomija, Rafinacija bioplina

### Abstract

In our previous papers, we pointed out the importance of biogas in the EU circular economy and the growth trends of biogas production and consumption in developed EU member states - both in electricity production and heat and increasingly as a fuel in road transport. This paper points to trends in capacity building for biogas refining - which is then used as biomethane in local road transport and as an adjunct to the local natural gas distribution system. It is also pointed out that biogas (and biomethane) are not adequately represented in the Draft Low-Carbon Development Strategy of Croatia. In conclusion, it is proposed to establish a national biomethane consortium to build more biogas refining plants and to promote the use of biomethane in road transport and the natural gas network.

**Key words:** Biomethane, Biogas, Circular Economy, Biogas Refining



## 1. Uvodne napomene

U našim prethodnim radovima [1] [2] ukazali smo na važnost bioplina u energetskej tranziciji u Republici Hrvatskoj te na bitne elemente bioplina kao važnog energenta koji je po svojim ekonomskim i energetskej učinkima značajno ispred ostalih obnovljivih izvora energije. U ovom radu ukazujemo na potrebu izgradnje bioplinskih postrojenja za proizvodnju bioplina, ali i postrojenja za rafinaciju bioplina (proizvodnju biometana) koji se u razvijenim zemljama već godinama koristi kao pogonski gorivo u cestovnom prometu te kao dopuna u distribucijskim mrežama prirodnoga plina. No, prije toga potrebno je ukazati na okvire energetske tranzicije u Republici Hrvatskoj i tretman bioplina u tim scenarijima.

## 2. Hrvatski scenarij zelene tranzicije

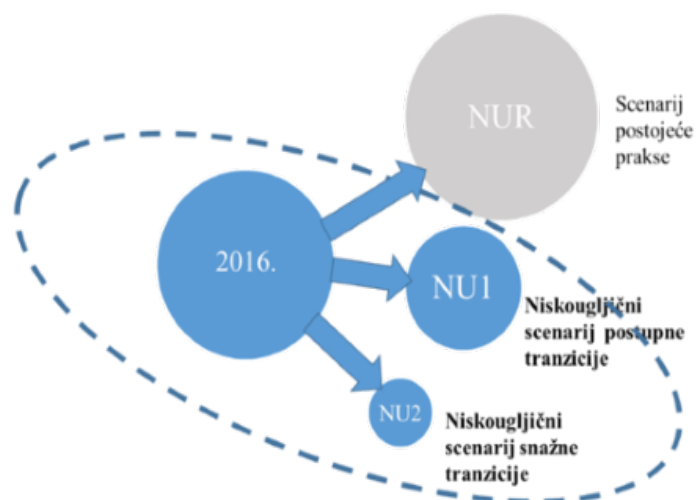
Vlada RH u dokumentu „Prijedlog strategije niskougličinog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu“ ističe – „Veliki broj čimbenika određuje konstrukciju i odabir scenarija, ovdje se navode neki važniji:

- nužnost kompatibilnosti s postojećim trendovima i politikom;
- postizanje ciljeva koje EU postavlja za pojedine države članice: ukupnog cilja smanjenja emisija, smanjenje emisija u sektorima izvan ETS-a, udio obnovljivih izvora energije i energetske učinkovitosti;
- nacionalni ciljevi iz važećih strategija i planova po sektorima;
- raspoloživost tehnologija;
- troškovi i koristi“; [3]

Ispunjenje cilja sigurnosti opskrbe energijom i jačanje gospodarstva, te ostalih ciljeva koji su utvrđeni u Poglavlju 1.2. Strategije“. [3] Scenariji predstavljaju kombinacije različitih mjera s različitom 'dubinom' primjene pojedinih mjera. U scenarijima, za razdoblje do 2030. g. okvir je provedbeno jasniji, a nakon 2030. g. mnogo je otvorenih pitanja i pretpostavki. Dakle, u dokumentu se prikazuju tri scenarija (slika 1) - koji predstavljaju sintezu više scenarija - to su:

- referentni scenarij (NUR)
- scenarij postupne tranzicije (NU1) i
- scenarij snažne tranzicije (NU2)

Prema uobičajenom obilježavanju, na način kako se izvještava za potrebe UNFCCC-a, ovdje utvrđeni referentni scenarij pripada kategoriji scenarija 's mjerama', a scenariji postupne i snažne tranzicije pripadaju kategoriji scenarija 's dodatnim mjerama'. Na slici 1 prikazani su odnosi među scenarijima, shematski veličina kruga približno predstavlja emisiju u 2016. i 2050. godini. [3]



**Slika 1.** Scenariji niskougljične tranzicije u Republici Hrvatskoj [3]

## 2.1. Obnovljivi izvori energije

U NUR scenariju raste korištenje energije iz obnovljivih izvora kao i njihova diversifikacija. Do 2030. godine korištenje obnovljivih izvora energije se povećava za 55 %, a do 2050. godine za 77 %. U tablici 1, 2 i 3 prikazane su projekcije potrošnje obnovljivih izvora energije u NU scenarijima.

**Tablica 1.** Projekcije potrošnje obnovljivih izvora energije u NUR scenariju [3]

GWh	2030.	2040.	2050.
Geotermalna energija	208,5	374,1	446,3
Biogoriva	257,9	304,5	305,9
Bioplina	78,1	78,4	24,5
Kruta biomasa	1417,9	1284,6	1066,1
Energija Sunca	84,4	184,2	285,7
Energija vjetrova	250,3	382,8	521,1
Hidroenergija	619,3	650,8	702,3
<b>Ukupno</b>	<b>2916,4</b>	<b>3259,4</b>	<b>3351,9</b>

U NU2 scenariju očekuje se snažan porast korištenja energije iz OIE i diversifikacija korištenih izvora energije. Do 2030. korištenje OIE se povećava za 42 %, a do 2050. godine za 93 %. U Prilogu V. u međusektorskim mjerama (MWM-5 - Korištenje bioplina za proizvodnju biometana, električne energije i topline) navodi se: „Mjera je povezana s mjerom poticanja korištenja OIE za proizvodnju električne energije i topline te obveze korištenja obnovljivih izvora energije u prometu, a odnosi se na obvezno korištenje bio-otpada kao supstrata u bioplinskom postrojenju koja proizvode bioplina koji će se koristiti za proizvodnju biometana, električne energije i topline. Potencijal smanjenja emisije CH<sub>4</sub> uključen je u mjeru Smanjenje količine odloženog biorazgradivog otpada.“ [3]



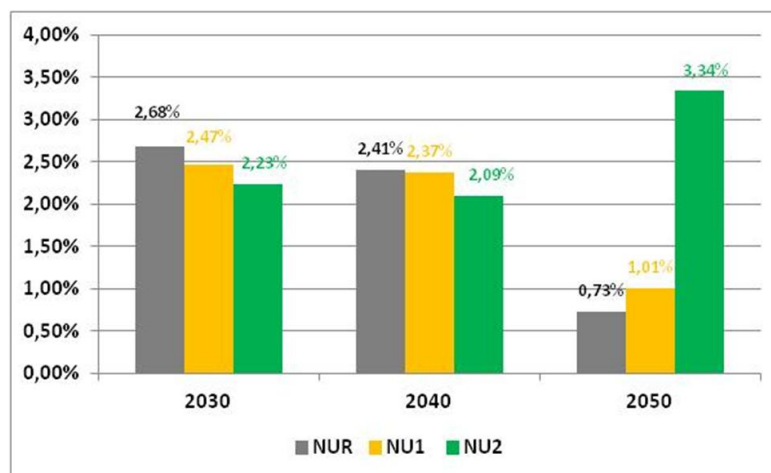
**Tablica 2.** Projekcije potrošnje obnovljivih izvora energije u NU1 scenariju [3]

GWh	2030.	2040.	2050.
Geotermalna energija	153,0	374,4	442,6
Biogoriva	248,3	277,3	193,7
Bioplin	69,5	77,6	34,5
Kruta biomasa	1292,6	1136,3	957,4
Energija Sunca	119,7	265,5	413,2
Energija vjetra	305,1	476,7	675,7
Hydroenergija	629,3	662,3	708,9
Ukupno	2817,6	3270,2	3426,0

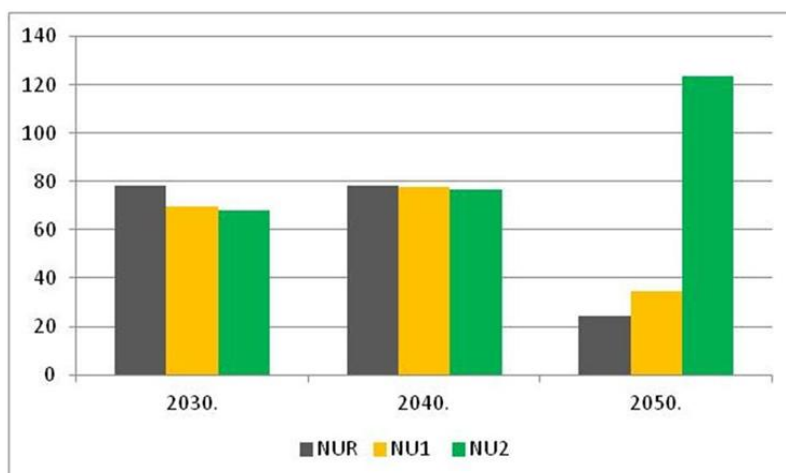
**Tablica 3.** Projekcije potrošnje obnovljivih izvora energije u NU2 scenariju [3]

GWh	2030.	2040.	2050.
Geotermalna energija	152,3	373,5	441,2
Biogoriva	132,7	269,6	109,8
Bioplin	67,9	76,7	123,5
Kruta biomasa	1083,1	677,0	656,0
Energija Sunca	157,4	368,0	584,8
Energija vjetra	327,4	617,7	908,3
Hydroenergija	628,3	565,7	840,3
Ukupno	2693,2	3039,1	3663,9

U skladu s rečenim scenarijima, projekcijama i mjerama predviđa se porast pro-izvodnja i korištenje bioplina. Slika 2 i 3;



**Slika 2.** Postotak bioplina u projekciji korištenja obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj (%) [3]

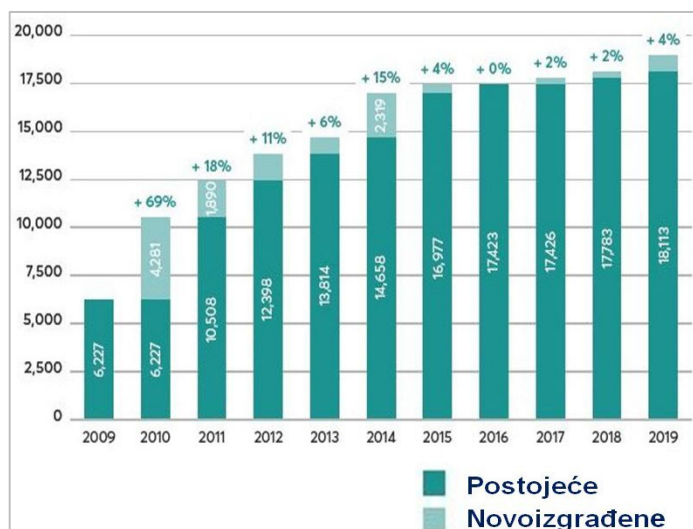


**Slika 3.** Projekcije proizvodnje\_potrošnja bioplina u Republici Hrvatskoj (GWh) [3]

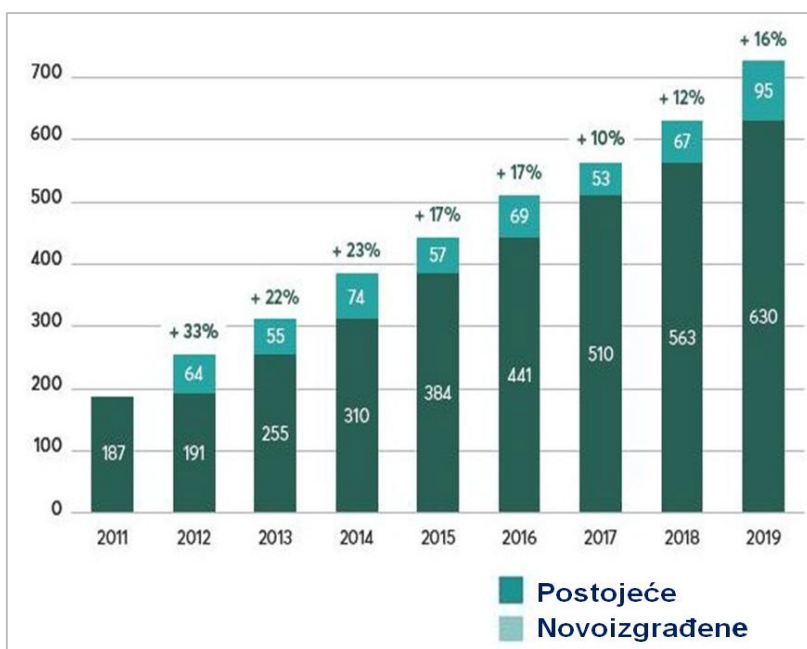
Dakle – tek u NU2 scenariju predviđa se značajniji porast proizvodnje\_potrošnja bioplina u Republici Hrvatskoj. Sagleđavajući značaj bioplina u potrošnji energije – kao i kretanja u ovom sektoru u razvijenim EU zemljama – treba se zalagati za opciju NU2 scenarija i provedbu svih mjera bez odstupanja. U tome smislu treba ukazati i da je Hrvatska gospodarska komora u travnju 2021. osnivanje radne skupine u okviru resornih ministarstava (Ministarstva poljoprivrede i Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja) za razvoj područja bioplina i njegovu provedbu radi postizanja ugljične neutralnosti. [5]

### 3. Proizvodnja i potrošnja biometana u Europi

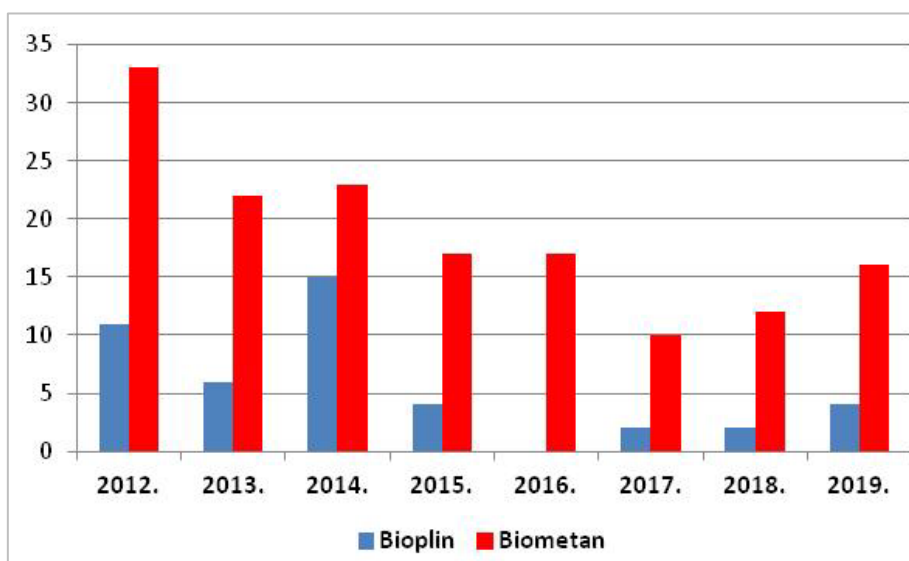
Prema podacima EBA u Europi je posljednjih desetak godina ostvaren vrlo intezivan rast proizvodnje\_potrošnje bioplina, a posebice biometana – slike 4 i 5.



**Slika 4.** Broj bioplinskih elektrana u Europi [4]

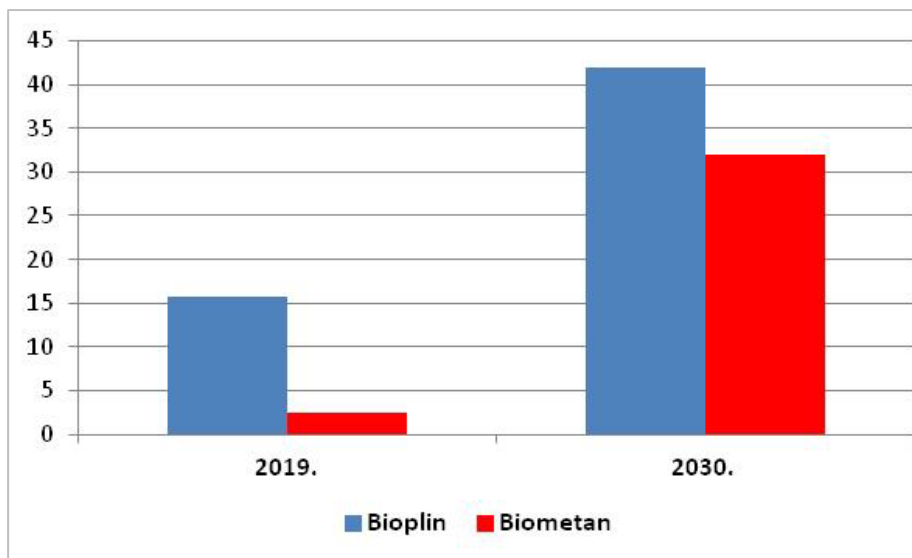


**Slika 5.** Broj biometanskih postrojenja u Europi[4]



**Slika 6.** Godišnje stope rasta bioplinskih i biometanskih postrojenja u Europi (%) [4,5]

Prema izloženom – u razvijenim europskim zemljama u proteklom desetljeću ostvaren je snažan rast izgradnje kapaciteta bioplina i uporabe bioplina, a posebno snažan rast kapaciteta za rafiniranje bioplina tj. proizvodnju biometana. Prema podacima EBA (Statističko izvješće 2020.) - proizvodnja bioplina se stabilizira, dok proizvodnja biometana i dalje ima ubrzani rast; 18.943 postrojenja za proizvodnju bioplina s proizvodnjom od 15,8 milijardi m<sup>3</sup>, a porast postrojenja na biometan bilježe najveći rast do danas - 725 postrojenja s proizvodnjom od 2,4 milijarde m<sup>3</sup>. Kako predviđa EBA - kapacitet za proizvodnju bioplina i posebno biometana imat će vrlo visoke stope rasta – kako se vidi na slici 6;



**Slika 6.** Projekcija potrošnje bioplina i biometana u Europi (mlrd m<sup>3</sup>) [4]

### 3.1. Proizvodnja biometana

Da bi se bioplin koristio kao pogonsko gorivo za cestovna vozila ili u distribucijskoj mreži prirodnog plina potrebna je dodatna obrada tj. uklanjanje CO<sub>2</sub> i sumpora. Doradeni bioplin (sada biometan) se komprimira na razinu tlaka plinske mreže i može se plasirati u distribucijski sustav plinske mreže. Kako je koncentracija metana u bioplinu između 50-75 %. – za korištenje bioplina u prometu koncentracija metana mora biti najmanje 95 %. Postupak dorade bioplina za transportno gorivo relativno složen a troškovi ulaganja u postrojenje za doradu bioplina u transportno gorivo ovisi o više elemenata, a najvažniji veličina postrojenja.

Do danas u Republici Hrvatskoj nije izgrađeno nijedno postrojenje za rafinaciju bioplina, a prema dostupnim informacijama nije ni u planovima. Stoga ovi autori predlažu osnivanje nacionalnog biometanskog konzorcija za izgradnju postrojenja za rafiniranje bioplina za uporabu biometana u cestovnom prometu i kao dodatak plinskoj mreži pri korištenju prirodnog plina. Konzorcij bi sačinjavali velike tvrtke iz poljoprivrednog sektora, cestovnog prometa i odgovarajućih sektora HEP –a.

## 4. Zaključci

Naša su razmatranja pokazala:

- U hrvatskoj strategiji energetske (zelene) tranzicije izraženija uporaba bioplina predviđena je samo u scenariju NU2 (snažan prijelaz), a uporaba biometana nije detaljnije razrađena.
- Europske razvijene zemlje ostvaruju snažan rast izgradnje kapaciteta bioplina i uporabe bioplina, a posebno snažan rast kapaciteta rafiniranja bioplina (proizvodnja biometana).





Kapacitet postrojenja za biometan udvostručit će se do 2030., a do 2050. godine učtetvostručiti.

- Sagledavajući značaj bioplina u potrošnji energije – kao i kretanja u ovom sektoru u razvijenim EU zemljama – treba se zalagati za opciju NU2 scenarija i provedbu svih mjera bez odstupanja.

S naslova ovih nalaza predlaže se osnivanje nacionalnog biometanskog konzorcija radi izgradnje postrojenja za rafiniranje bioplina koji bi se (tada) kao biometan koristio u cestovnom prometu i kao dopuna u distribucijskoj mreži prirodnog plina.-

## 5. Literatura

- [1] Ivanović, Milan. Bioplin u kružnoj ekonomiji Europske Unije. Zbornik radova 35. međunarodnog susreta stručnjaka za plin. Hrvatska stručna udruga za plin. Opatija, 21-23.10.2020. s. 225 - 236
- [2] Ivanović, Milan. Kružna ekonomija i bioplinske elektrane u Slavoniji i Baranji. Zbornik radova 35. međunarodnog susreta stručnjaka za plin. Hrvatska stručna udruga za plin. Opatija, 21-23.10. 2020. s. 237 - 247
- [3] Vlada Republike Hrvatske Ministarstvo gospodarstva; Prijedlog strategije niskougljičnog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu, Zagreb, 22. travnja 2021.
- [4] EBA Statistical Report 2019  
[www.european-biogas.eu/](http://www.european-biogas.eu/) (pristup 7.7.2021.)
- [5] <https://hgk.hr/predlozeno-osnivanje-meduresorne-radne-skupine-za-bioplin-najava>
- [6] Bioplin u kružnoj ekonomiji Europske unije  
<https://www.youtube.com/watch?v=tXFCZe6-zM> (pristup 7.7.2021.)
- [7] Bioplinske elektrane u Slavoniji i Baranji  
[https://www.youtube.com/watch?v=Q7gA\\_FP-n\\_8](https://www.youtube.com/watch?v=Q7gA_FP-n_8) (pristup 7.7.2021.)



# Upravljanje potrošnjom u objektu kupca s vlastitom proizvodnjom

## *Management of consumption in prosumer household*

M. Matasović<sup>1</sup>, Z. Klaić<sup>2</sup>, H. Adrić<sup>2,\*</sup>,

<sup>1</sup>HEP ODS Elektroslavonija Osijek

<sup>2</sup> Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Osijek, Hrvatska

\*Autor za korespondenciju. E-mail: [heidi.margus@ferit.hr](mailto:heidi.margus@ferit.hr)

### Sažetak

Osnovni cilj rada je prikaz upravljanja potrošnjom u kućanstvu s obzirom na proizvodnju fotonaponske elektrane. U radu je prikazano upravljanje uređajima i njihovom potrošnjom na primjeru sunčanog i oblačnog dana. Rad uređaja je premješten u razdoblja kada fotonaponska elektrana proizvodi električnu energiju. Višak proizvedene energije iz fotonaponskog sustava prodaje se u mrežu, dok se energije iz mreže preuzima kada proizvodnja fotonaponske elektrane nije dovoljna. U radu je također prikazana i ostvarena financijska ušteda koja se postiže upravljanjem rada uređaja u kućanstvu s vlastitom proizvodnjom.

**Ključne riječi:** kupac s vlastitom proizvodnjom, upravljanje potrošnjom, fotonaponska elektrana, cijena električne energije, financijska ušteda

### Abstract

Consumption management in household with production from photovoltaic system is presented in this paper. Examples of device management during the sunny and cloudy day is shown. Work of devices is moved to periods when PV system is producing energy. Overrun of produced energy from PV system is sold back to grid, while energy is taken from the grid when there is lack of produced energy from PV system. Financial savings from management of consumption in prosumer household is also shown.

**Key words:** prosumer, consumption management, photovoltaic system, price of electrical energy, financial savings

### 1. Uvod

Kupac s vlastitom proizvodnjom prema HEP-Operater distribucijskom sustavu definira se kao postojeći ili novi korisnik mreže koji unutar svoje instalacije ima priključenu elektranu/e koje koristi za vlastite potrebe, a višak energije predaje u elektroenergetsku mrežu, [1]. Kako bi se maksimalno iskoristila proizvodnja iz vlastitog sustava proizvodnje, potrebno je pravilno

rasporediti potrošnju te prilagoditi je proizvodnji električne energije. Upravljanje potrošnjom predstavlja ključnu ulogu u sustavu upravljanja energijom te financijske uštede. Postoje različite tehnike upravljanja potrošnjom kojima se nastoji promijeniti krivulja opterećenja i prilagoditi krivulji proizvodnje. U ovom radu provedena je tehnika premještanja opterećenja. U radu [2] prikazano je upravljanje potrošnjom tehnikom premještanja opterećenja, izvedene su simulacije za stambeni prostor te je prikazana ostvarena ušteda smanjivanjem vršnog opterećenja. Analiza osjetljivosti metode upravljanja potražnjom uzimajući u obzir profil potrošnje i vremenske uvjete prezentirana je u radu [3]. Metoda se koristi za poboljšanje profila potrošnje pomicanjem rada upravljivih uređaja u kućanstvu. Autori u radu [4] bave se tematikom upravljanja potrošnjom pomicanjem opterećenja na većoj skali kao što je zajednica kućanstava s vlastitom proizvodnjom, gdje bi takva zajednica postigla optimalan trošak kao i maksimalnu potrošnju vlastite proizvedene energije. Ideja virtualnog agregata za zgradu koja ima zajednički sustav proizvodnje električne energije objašnjena je u radu [5]. Izvedena je procjena izvedbi sustava s obzirom na nekoliko različitih scenarija pomicanja opterećenja i parametara virtualnog agregata. U drugom dijelu rada opisan je pojam upravljanja potrošnjom kao i tehnike i strategije upravljanja potrošnjom. Upravljanje potrošnjom kod kupca s vlastitom proizvodnjom na primjeru jednog kućanstva za vrijeme sunčanog i oblačnog dana prikazano je u trećem odlomku. Nakon toga, u četvrtom odlomku dan je zaključak rada.

## 2. Upravljanje potrošnjom

Upravljanje potrošnjom predstavlja ključnu ulogu u sustavu upravljanja energijom u pametnoj mreži. Ono također pruža podršku funkcionalnosti naprednih mreža na različitim područjima kao što su kontrola tržišta električne energije, upravljanje, izgradnje infrastrukture i drugo. Upravljanje potrošnjom smanjuje vršnu potrošnju te upravlja radom uređaja prema mrežnim uputama bez narušavanja komfora pri njihovom korištenju.

Upravljanje potrošnjom mijenja model potrošnje korisnika kako bi se stvorile željene promjene opterećenja sustava raspodjele energije. Umjesto povećanja proizvodnih kapaciteta te jačanja prijenosne i distributivne mreže, upravljanje potrošnjom usredotočuje se na korištenje tehnologija za uštedu energije, tarife električne energije te novčane poticaje. Glavne prednosti upravljanja potrošnjom su smanjenje troškova, unaprjeđenje i zaštita okoliša i društva, pouzdanost te poboljšano tržište, [2].

### 2.1. Tehnike upravljanja potrošnjom

Karakteristike opterećenja pokazuju dnevnu ili sezonsku potrebu za električnom energijom različitih korisnika mreže koji mogu biti u kategoriji rezidencijalnih kupaca, kupaca iz uslužnih djelatnosti ili industrijskih kupaca. Prikazuju se podaci od vršnih vremena do vremena isključenja te se oni mogu mijenjati pomoću šest različitih tehnika, a to su:

- snižavanje vršne potrošnje (eng. *Peak clipping*),
- potrošnja u vremenu niže razine potrošnje (eng. *Valley filling*),
- premještanje opterećenja (eng. *Load shifting*),
- strateško očuvanje (eng. *Strategic conservation*),



- strateški rast opterećenja (eng. *Strategic load growth*),
- fleksibilni oblik opterećenja (eng. *Flexible load shape*), [2].

Tehnika premještanja opterećenja trenutačno je najučinkovitija tehnika upravljanja potrošnjom te se ona široko primjenjuje. Ima prednosti vremenske neovisnosti i prebacuje opterećenja iz vršnih razdoblja u razdoblje izvan vrha opterećenja, [2].

## 2.2. Strategije upravljanja potrošnjom u kućanstvu

Strategija upravljanja potrošnjom koristi tehniku premještanja opterećenja (eng. *Load shifting*) kao primarnu tehniku koju može koristiti središnji operater pametne mreže te se pravi objektivna krivulja opterećenja prema ciljevima upravljanja potrošnjom.

Strategija upravljanja potrošnjom planira raspored uključenja uređaja čiji se rad može odgoditi u sustavu na način koji dovodi krivulju potrošnje vrlo blizu krivulji planirane potrošnje. Predviđanje dnevne potrošnje osigurava da trenutna proizvodnja električne energije bude jednaka, odnosno približno blizu, krivulji potrošnje električne energije. Time se osigurava stabilnost opskrbe električnom energijom. Matematička formulacija za tehniku premještanja opterećenja prikazana je pomoću izraza:

$$\sum_{t=1}^N ((\text{stvarna potrošnja}(t) - \text{planirana potrošnja}(t))^2) \quad (1)$$

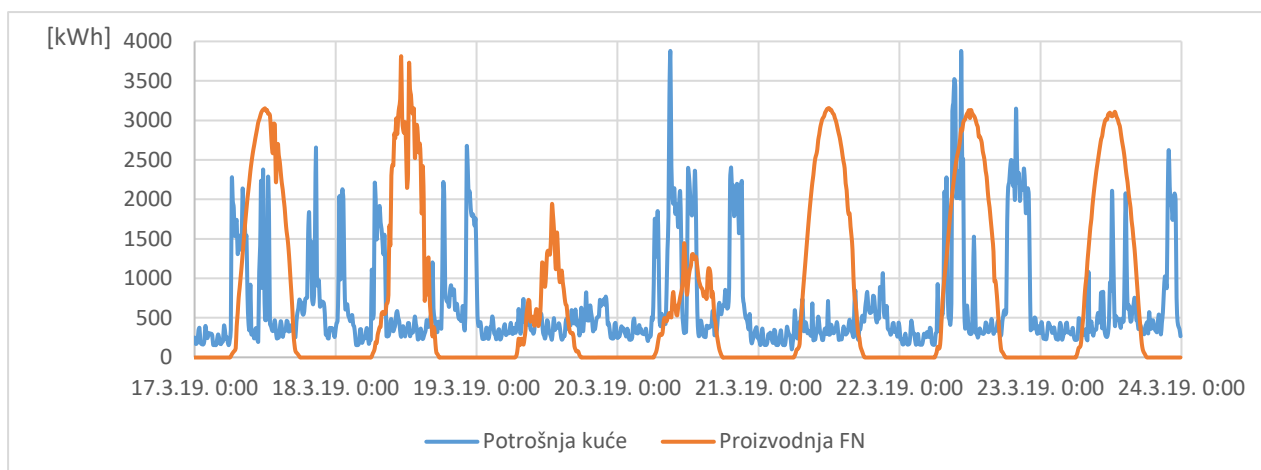
Planirana potrošnja je vrijednost planirane krivulje potrošnje za vrijeme  $t$ , a stvarna potrošnja za vrijeme  $t$  definirana je na sljedeći način

$$\text{stvarna potrošnja}(t) = \text{predviđena potrošnja}(t) + \text{povezani uređaji}(t) - \text{nepovezani uređaji}(t). \quad (2)$$

Predviđena potrošnja je za vrijeme  $t$ , dok povezani i nepovezani uređaji predstavljaju opterećenja za vrijeme  $t$  tijekom perioda premještanja opterećenja, [2].

## 3. Upravljanje potrošnjom kod kupca s vlastitom proizvodnjom

Fotonaponska elektrana smještena na krovu Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku instalirane je snage 10 kW. Elektrana se sastoji od 40 fotonaponskih modula snage 250 W spojenih u dva niza, a nizovi su spojeni na pretvarač. Izmjerene vrijednosti fotonaponske elektrane FERIT-a proračunom su svedene na vrijednosti elektrane nazivne snage 5 kW. Navedena vrijednost predstavlja snagu fotonapona koji bi se instalirao na krov stambenog objekta prema rezultatima dobivenih proračunom i mjerenjem potrošene električne energije u kući. Koristeći te podatke, na slici 1. prikazane krivulje proizvodnje fotonaponskog sustava te potrošnje kuće.



Slika 1. Dijagram proizvodnje fotonaponske elektrane i potrošnje kućanstva

Vremensko razdoblje u kojemu su se vršila mjerenja je od 17. ožujka 2019. u 00:00 h do 23. ožujka 2019. u 00:00 h, a vrijednosti su deset minutne. Tijekom ovog razdoblja, zabilježena maksimalna vrijednost snage proizvodnje iznosila je 3813,2 W (18.3.2019. u 11:10 h) i maksimalna vrijednost potrošnje 3879,5 W (22.3.2019. u 10:30h).

Iz danih podataka o proizvodnji električne energije te potrošnji, izračunato je da bi ukupna proizvedena energija unutar obračunskog razdoblja od mjesec dana iznosila 485,22 kWh dok bi ukupna potrošena energija iznosila 433,49 kWh.

Nadalje, za razdoblja u kojima je proizvodnja električne energije veća od potrošnje kućanstva, HEP Elektra plaća korisniku za predanu energiju. Taj se iznos energije računa tako da od proizvodnje oduzme potrošnja u navedenim razdobljima. Tako za razdoblje od 17.3.2019. – 23.3.2019. energija koja je isporučena u mrežu iznosi 81,374 kWh, odnosno ukupna isporučena energija unutar obračunskog razdoblja od mjesec dana iznosi  $E_{ii} = 325,49$  kWh.

Kako se navodi na stranicama HEP-a: „Člankom 3. Pravilnika o naknadi za priključenje na elektroenergetsku mrežu i za povećanje priključne snage za kupca s vlastitom proizvodnjom utvrđena je minimalna vrijednost električne energije preuzete od krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom  $C_i$  u obračunskom razdoblju i na sljedeći način:

- ako za obračunsko razdoblje i vrijedi  $E_{pi} \geq E_{ii}$

$$C_i = 0.9 * PKC_i \quad (3)$$

- ako za obračunsko razdoblje i vrijedi  $E_{pi} < E_{ii}$

$$C_i = 0.9 * PKC_i * \frac{E_{pi}}{E_{ii}} \quad (4)$$

gdje je:

- $C_i$  – minimalna vrijednost električne energije preuzete od krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom,
- $E_{pi}$  – ukupna električna energija preuzeta iz mreže od strane kupca unutar obračunskog razdoblja, [kn/kWh],



- $E_{ii}$  – ukupna električna energija isporučena u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu kupca, unutar obračunskog razdoblja  $i$ , [kn/kWh],
- $PKC_i$  – prosječna jedinična cijena električne energije koju kupac plaća opskrbljivaču za prodanu električnu energiju, bez naknada za korištenje mreža te drugih naknada i poreza, unutar obračunskog razdoblja, [kn/kWh].[1]

Budući da je  $E_{pi} > E_{ii}$  u slučaju proizvodnje fotonaponske elektrane i potrošnje kuće, tada je

$$C_i = 0.9 * 0,4900 = 0.441 \quad [\text{kn/kWh}] \text{ za višu dnevnu tarifnu stavku} \quad (5)$$

$$C_i = 0.9 * 0.2400 = 0.216 \quad [\text{kn/kWh}] \text{ za nižu dnevnu tarifnu stavku.} \quad (6)$$

Za promatrano razdoblje od 17. ožujka 2019. do 23. ožujka 2019. uzima se zimsko računanje vremena što znači da su razdoblja trajanja više i niže dnevne tarife sljedeća: VT od 07-21 sat, odnosno NT od 21-07 sati.  $E_{pi}$  unutar obračunskog razdoblja iznosi 286,865 kWh, a za slučaj kada je u višoj tarifi cijena koju kupac plaća formulira se kao

$$286,865 [kWh] * 1,06 \left[ \frac{kn}{kWh} \right] = 304,08 [kn]. \quad (7)$$

Na cijenu za višu tarifu od 0,8400 kn/kWh dodaje se naknada za obnovljive izvore u iznosu od 0,105 kn/kWh te se dodaje PDV od 13%, što ukupno daje cijenu od 1,06 kn/kWh.

Električna energija preuzeta iz mreže unutar obračunskog razdoblja za vrijeme niže dnevne tarife iznosi  $E_{pi} = 146,585$ , kWh, a cijena koju kupac plaća tada je

$$146,585 [kWh] * 0,58 \left[ \frac{kn}{kWh} \right] = 85,01 [kn]. \quad (8)$$

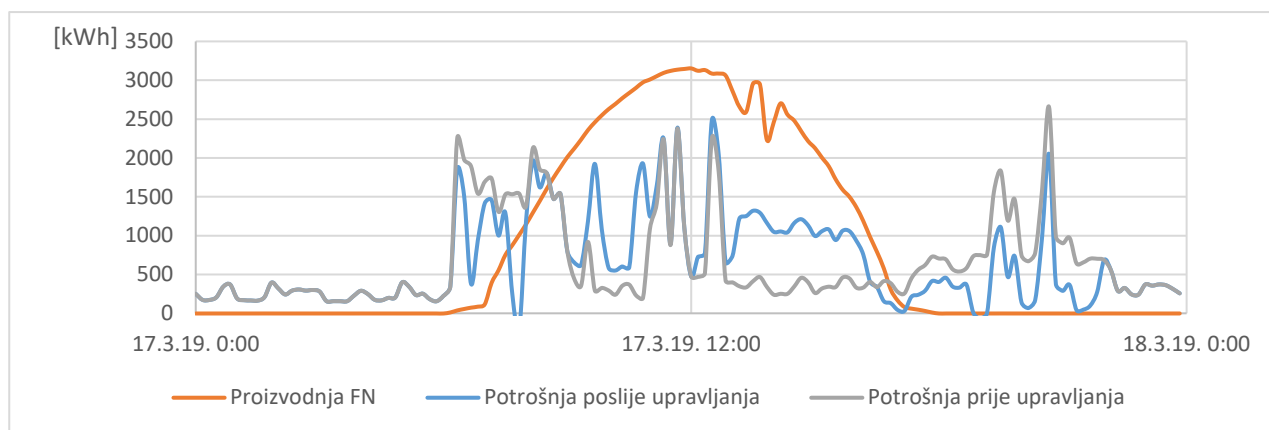
Na cijenu za nižu tarifu od 0,4100 kn/kWh dodaje se naknada za obnovljive izvore u iznosu od 0,105 kn/kWh te se dodaje PDV od 13%, što ukupno daje cijenu od 0,58 kn/kWh.

Isporučena energija u mrežu predstavlja onu razliku energija kada je proizvodnja električne energije veća od potrošnje za razdoblje od mjesec dana te ona iznosi  $E_{ii} = 325,496$  kWh. Budući da se sav iznos isporučene električne energije nalazi u vremenu više tarife, HEP Elektra korisniku će platiti sjedeći iznos:

$$325,496 [kWh] * 0,441 \left[ \frac{kn}{kWh} \right] = 143,21 [kn]. \quad (9)$$

### 3.1 Sunčan dan

Datum 17.3.2019. koristi se kao primjer jednog sunčanog dana. Ukupna proizvodnja električne energije toga dana iznosila je 21,351 kWh, a ukupna potrošnja toga dana iznosila je 15,911 kWh. Maksimalna proizvodnja električne energije iznosila je 3152 W u 12:00 h. Na slici 2. vidljivo je kako se najveća vrijednost potrošene električne energije nalazi u trenucima kada fotonaponska elektrana ne proizvodi, odnosno potrošnja maksimum postiže u 20:40 h te iznosi 2657,24 W.



Slika 2. Proizvodnja FN i potrošnja kućanstva s pomaknutom potrošnjom za sunčani dan

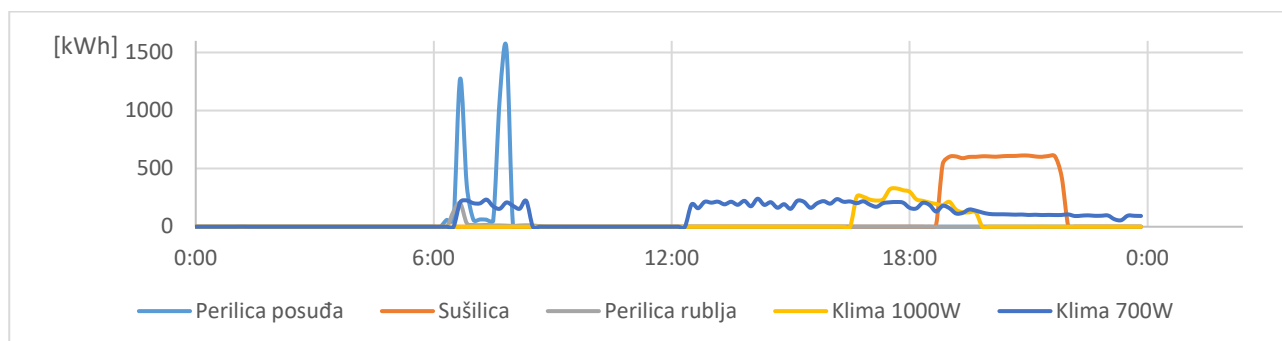
Također, prema slici 2. prikazano je kako proizvodnja veća od potrošnje u razdoblju od 08:40 – 16:40 h te za to razdoblje HEP Elektra plaća korisniku za predanu energiju. Iznos te energije računa se kao razlika krivulje proizvodnje i krivulje potrošnje u vremenu kada je proizvodnja veća od potrošnje, a može se zapisati

$$\Sigma \text{proizvodnja} - \Sigma \text{potrošnja} \text{ ( u vremenu 08:40 h – 16:40 h)}. \quad (10)$$

Prema gore navedenom, iznos energije predane u mrežu za ovaj sunčani dan iznosi 14,499 kWh te za tu energiju HEP Elektra plaća korisniku

$$14,499 \text{ [kWh]} * 0,441 \left[ \frac{\text{kn}}{\text{kWh}} \right] = 6,39 \text{ [kn]}. \quad (11)$$

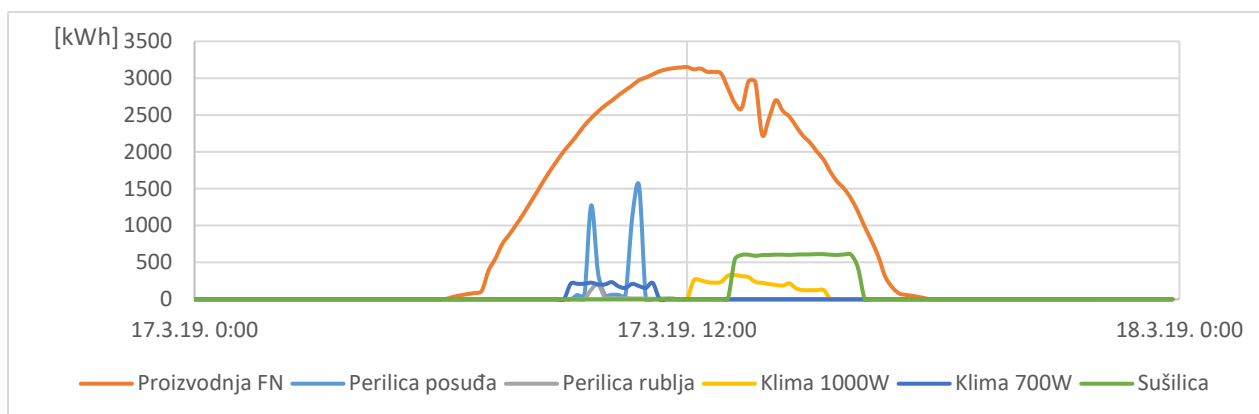
U ovom primjer cilj je potrošnju električne energije nekih kućanskih aparata, poput perilice rublja, sušilice, perilice posuđa te klima uređaja prebaci u razdoblje najveće proizvodnje električne energije. Kao rezultat toga, iskoristit će se vlastita proizvodnja električne energije te se smanjiti potrošnja u razdobljima kada fotonaponska elektrana ne proizvodi. Ovakav model upravljanja potrošnjom stvara uštedu i smanjenje troškova za električnu energiju. Na slici 3. nalaze se krivulje potrošnje kućanskih uređaja čijim će se radom u upravljati.



Slika 3. Potrošnja trošila u kućanstvu

Na slici 4. prikazan je dijagram proizvodnje električne energije iz fotonapona te krivulje potrošnje kućanskih uređaja čiji je rad pomaknut u vrijeme najveće proizvodnje električne energije te time nije narušen komfor korisnika.





Slika 4. Proizvodnja FN i raspodjela rada uređaja za sunčan dan

Proračun potrošnje unutar kućanstva zajedno s upravljivim uređajima računa se tako da se potrošnja navedenih kućanskih uređaja zbroji s potrošnjom kuće u onom vremenskom intervalu kada je proizvodnja električne energije iz fotonapona veća od potrošnje. S druge strane, želi se smanjiti potrošnja kada nema proizvodnje, stoga će potrošnja upravljivih uređaja iz tog vremena biti oduzeta od potrošnje kuće tog istog vremena.

Na slici 2. prikazana je i ukupna potrošnja električne energije zajedno sa uređajima čiji je rad prebačen u razdoblje najveće proizvodnje. Vidljivo je kako se dio potrošnje koji je bio najveći oko 06:20 h te oko 20:40 h smanjio, odnosno prebačen je u razdoblje vlastite proizvodnje električne energije.

Razdoblje u kojemu je proizvodnja električne energije veća od potrošnje je vrijeme od 08:20 – 16:10 h te za energiju u tom razdoblju HEP Elektra plaća korisniku. Iznos te energije dobije se kao razlika proizvedene i potrošene energije u navedenom razdoblju te ona iznosi 9,863 kWh, odnosno iznos koji HEP Elektra plaća korisniku je

$$9,863 [kWh] * 0,441 \left[ \frac{kn}{kWh} \right] = 4,35 [kn]. \quad (12)$$

U sljedećoj tablici (Tablica 1.) prikazane su vrijednosti potrošnje električne energije upravljanih uređaja te je izračunata cijena te energije po prethodno definiranim cijenama za višu i nižu tarifu.

**Tablica 1.** Ostvarena ušteda pomicanjem opterećenja za vrijeme sunčanog dana

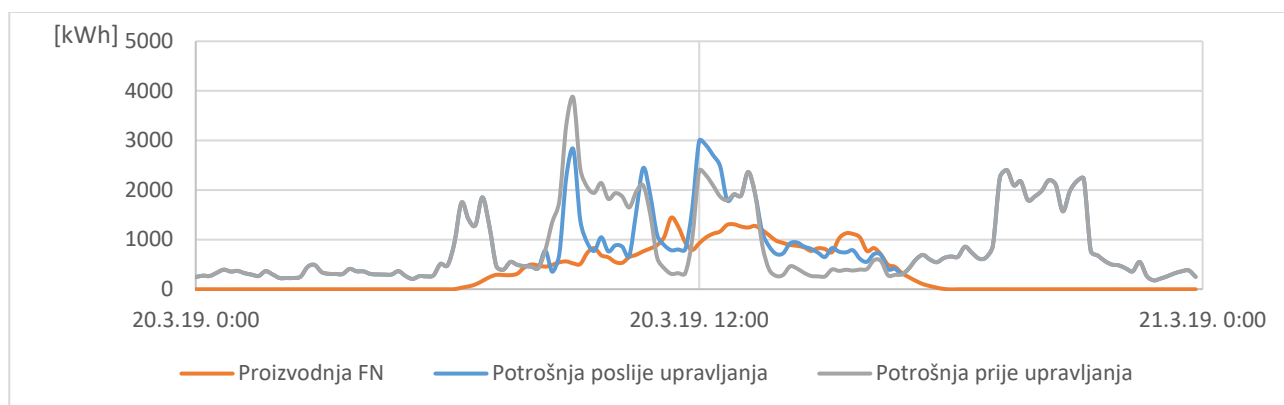
Uređaj	Potrošnja el. energije [kWh]	Cijena potrošene el.energije [kn]
Perilica posuđa	0,772	0,68
Perilica rublja	0,081	0,06
Potrošnja klime 700 W	0,394	0,39
Potrošnja klime 1000 W	0,730	0,77
Potrošnja sušilice	1,882	1,97

Kada se zbroje potrošnje navedenih uređaja dobije se iznos od 3,87 kn te ono predstavlja uštedu u ovome sunčanom danu. Kada bi se pretpostavio ovakav trend potrošnje kroz mjesec od 30 dana, ušteda bi iznosila 116,10 kn, odnosno

$$3,87 [kn] * 30 = 116,10 [kn]. \quad (13)$$

### 3.2 Oblačan dan

Kao primjer oblačnog dana uzet je datum 20.3.2019. Ukupna je proizvodnja toga dana bila 8,072 kWh, a potrošnja električne energija iznosila je 21,291 kWh. Na slici 5. vidljivo je kako potrošnja nadvisuje proizvodnju električne energije u gotovo svim trenucima. Maksimalna proizvodnja električne energije za ovaj dan bila je 1441,25 W u 11:20 h, dok je maksimalna potrošnja iznosila 3861,47 W u 09:00 h.



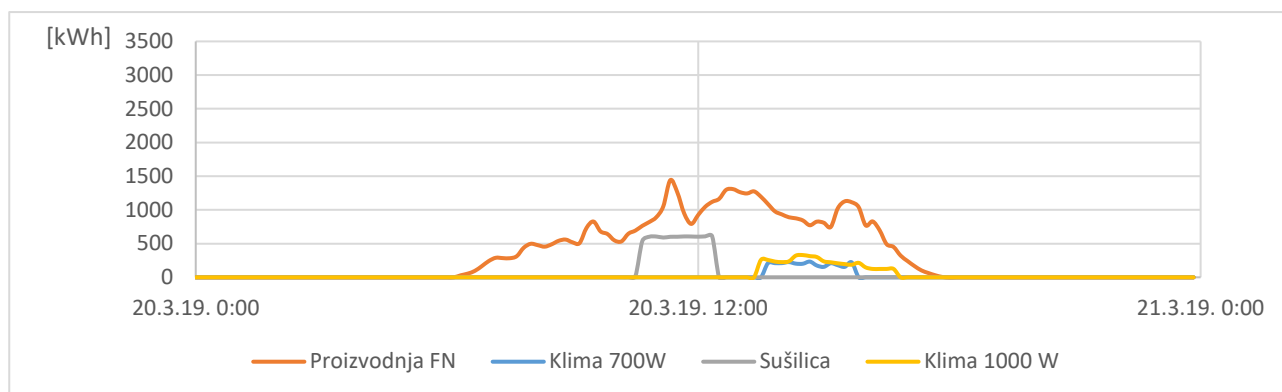
Slika 5. Proizvodnja FN i potrošnja kućanstva s pomaknutom potrošnjom za oblačan dan

Za razdoblja u kojima je proizvodnja električne energije veća od potrošnje, HEP Elektra za predanu energiju plaća korisniku. Prema slici 5. može se vidjeti kako su ta razdoblja u vremenu od 11:00 – 11:40 h te u vremenu od 13:30 – 16:50 h. Iznos predane energije dobije se kao razlika proizvedene energije i potrošene energije u navedenim vremenskim periodima te iznosi 2,082 kWh. Za isporučenu energiju korisniku će bit isplaćeno

$$2,082 [kWh] * 0,441 [kn/kWh] = 0,92 [kn]. \quad (14)$$

Prikaz proizvodnje električne energije i potrošnje kućanskih uređaja čim se radom upravlja prikazan je na slici 6.





Slika 6. Proizvodnja FN i raspodjela rada uređaja za oblačan dan

Za primjer oblačnog dana uređaji čijim će se radom upravljati su: klima uređajima od 700 W i 1000 W, te sušilica rublja. Ukupna potrošnja kućanstva za oblačni dan računa se jednako kako je i računato u primjeru sunčanog dana Krivulje proizvodnje električne energije i ukupne potrošnje kućanstva sa dodanim kućanskim uređajima za primjer oblačnog dana prikazane su na slici 5.

U ovom slučaju, vremena u kojima je proizvodnja električne energije veća od potrošnje su u razdoblju od 11:00 – 11:40 h te u 13:30 – 16:50 h te za energiju predanu u tom razdoblju HEP Elektra plaća korisniku. Iznos te energije dobije se kao razlika proizvodnje električne energije i potrošnje kućanstva za navedene vremenske intervale. Tada je ukupna predana energija 0,645 kWh, a iznos koji će HEP Elektra platiti korisniku jest

$$0,645 [kWh] * 0,441 \left[ \frac{kn}{kWh} \right] = 0,284 [kn]. \quad (15)$$

U tablici 2. prikazana je potrošnja električne energije upravljivih uređaja te je prikazana izračunata cijena potrošene energije koju kupac plaća HEP Elektri.

**Tablica 2.** Ostvarena ušteda pomicanjem opterećenja za vrijeme oblačnog dana

Uređaj	Potrošnja el. energije [kWh]	Cijena potrošene el.energije [kn]
Potrošnja klime 700 W	0,394	0,41
Potrošnja klime 1000 W	0,730	0,78
Potrošnja sušilice	1,199	1,27

Zbrojanjem potrošnje navedenih uređaja iz tablice 2., ukupn iznos je 2,46 kn te ono predstavlja uštedu u ovome oblačnom danu. Kada bi se pretpostavio ovakav trend potrošnje kroz mjesec dana, ušteda bi iznosila 73,80 kn, odnosno

$$2,46 [kn] * 30 = 73,80 [kn]. \quad (16)$$



#### 4. Zaključak

U ovom radu prikazano je upravljanje potrošnjom tehnikom premještanja opterećenja. Premještanje opterećenja ostvaruje se pomicanjem rada uređaja u kućanstvu bez narušavanja samog komfora korisnika. Rad uređaja je premješten iz razdoblja kada je proizvodnja iz fotonaponskog sustava mala (ili uopće ne postoji) u razdoblja gdje se proizvodi električna energija iz fotonaponskog sustava kućanstva. U radu su prikazana dva primjera upravljanja potrošnjom, po jedan za sunčan i za oblačan dan. Za vrijeme sunčanog dana, proizvodnja iz fotonaponske elektrane je značajna te je pomaknut rad za pet uređaja u kućanstvu. Na primjeru oblačnog dana, gdje je manja proizvodnja fotonaponske elektrane, upravlja se radom tri uređaja kućanstva. Za sve primjere provedena je i financijska analiza i prikazana je ušteda ostvarena premještanjem opterećenja. Dodatna ušteda bi se mogla ostvariti priključivanjem spremnika energije (kao što su baterije) te će se dodatna analiza upravljanja i uštede nastaviti u budućim radovima.

#### 5. Literatura

- [1] <https://www.hep.hr/ods/korisnici/kupac-s-vlastitom-proizvodnjom/29> (pristup: 30.03.2021.)
- [2] Swathi, K; Balasubramanian, K; Veluchamy, M. Residential Load Management Optimization in Smart Grid // International Journal for Trends in Engineering & Technology, 13 (2016), 1. (ISSN 2349 – 9303) (rad u časopisu)
- [3] Lucas, C; Gueiri, M; Tran, Q.T. Impact of consumer profiles and forecast accuracy on day-ahead scheduling of household appliances // 2019 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering, 2019.
- [4] Albachrony, M.A; Ha, D.L; Tran, Q.T; Brun, A; Petit, M. Coordinated Prosumer Transaction based on Load Shifting and Optimization // 2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe, 2019.
- [5] Sahin, G; Boynuegri, A.R. A Smart Building Energy Management and Pricing System with Renewable Energy Resources // 2020 6th International Conference on Electrical Power and Energy Conversion Systems, 2020.

## ***Natural dyes plant origin for solar cell application***

**A. Sutlović<sup>1,\*</sup>, I. Sutlović<sup>2</sup>, P. Raos<sup>3</sup>, B. Vojnović<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>University of Zagreb Faculty of Textile Technology, Department for textile chemistry and ecology, Zagreb, Croatia

<sup>2</sup>University of Zagreb Faculty of Chemical Engineering and Technology, Department of Thermodynamics, Mechanical Engineering and Energy, Zagreb, Croatia

<sup>3</sup>University of Slavonski Brod Mechanical Engineering Faculty, Department for production engineering, Slavonski Brod, Croatia

<sup>4</sup>University of Zagreb Faculty of Textile Technology, Department for applied chemistry, Zagreb, Croatia

\*Corresponding Author. E-mail: [ana.sutlovic@tff.unizg.hr](mailto:ana.sutlovic@tff.unizg.hr)

### **Abstract**

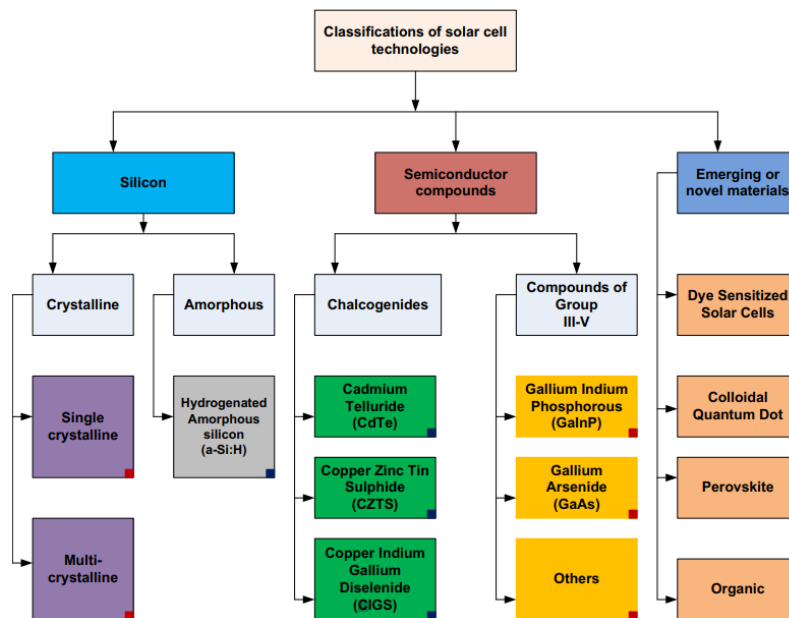
The paper presents the application of natural dyes plant origin in the realization of modern solar cells. A dye sensitized solar cell (DSSC or Grätzel cell) is a low-cost solar cell belonging to the group of thin film solar cells. It is based on a semiconductor formed between a photo-sensitized anode and an electrolyte, a photoelectrochemical system. The DSSC has a number of attractive features: it is simple to make using conventional roll-printing techniques, is semi-flexible and semi-transparent which offers a variety of uses not applicable to glass-based systems, and most of the materials used are low-cost. Commercial applications, which were held up due to chemical stability problems, had been forecast in the European Union Photovoltaic Roadmap to significantly contribute to renewable electricity generation by 2020. Choice of natural dye for the sensitizer layer is an important factor to the performance of DSSC. Natural dyes offers a suitable alternative to high cost inorganic based DSSCs because of their simple production technique, affordable cost, complete biodegradation, easy availability, purity grade, environmental friendly, high reduction of noble metal, and chemical synthesis cost. The paper explains the principle of selective light adsorption of natural plant dyes, the influence of the dye molecule structure (chromophore) on the wavelength range of adsorption and light emission and the stability of the dye molecule to various external influences. This interdisciplinary approach can contribute to addressing some of the shortcomings of the DSSC.

**Key words:** dye-sensitized solar cell, natural dyes, selective light adsorption, chromophore structure

### **1. Introduction**

The concept of solar energy harvesting has been evolving since eighteenth century. Edmond Becquerel, a French scientist, has first discovered the photovoltaic (PV) effect in 1839 [1-3]. This effect has become a starting point for the solar energy harvesting applications. Solar photovoltaics (PVs) energy conversion is based on the principle that

when a solar cell is illuminated by sunlight, it generates electricity, creating the photovoltaic effect - a phenomenon that converts light (photons) into electricity. A number of factors: including cell material (e.g. silicon, semiconductor compounds, etc.); cell size (the larger the cell size, the more the individual cells transforming into either more voltage or current); intensity and quality of the light source, determines the amount of electricity generated. As such, PVs are generally classified based on either the active materials (i.e. the primary light-absorbing materials) used for the solar cells (figure 1) or overall device structures. More recently, classifications based on material complexity have been proposed [1]. In terms of device structure and architecture, PVs are categorised into wafer-based and thin-film technologies. Whereas wafer-based PVs are produced from slices of semiconducting wafers derived from ingots, thin-film cells adopt an inherently different approach in which insulating substrates like glass or flexible plastics is used for the deposition of layers of semiconducting materials that will form the device structure [1-5].



**Figure 1.** Classification of solar cells based on the primary active material [1].

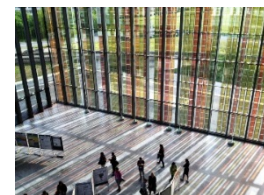
In practice, it has proven difficult to eliminate a number of expensive materials, notably platinum and ruthenium, and the liquid electrolyte presents a serious challenge to making a cell suitable for use in all weather (figure 2).



a. Silicon solar cells



b. III-V solar cells



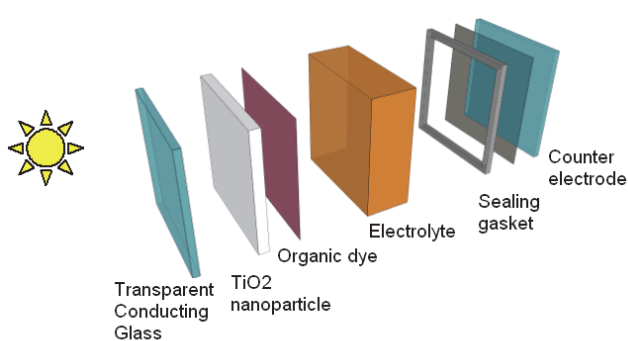
c. Dye sensitized solar cell

**Figure 2.** Application of different based solar cells

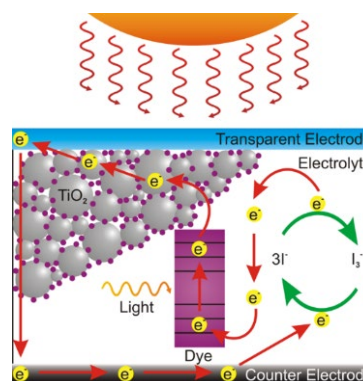
Also, although its conversion efficiency is less than the thin-film cells, in theory its price/performance ratio should be good enough to allow them to compete with fossil fuel electrical generation by achieving grid parity. Recent development of solar cells in dye-sensitized type devices (DSSC) is one great step forward in the field. The DSSCs take advantages in simple fabrication technique and low production costs in contrast to those conventional silicon-based solar cells [1-3].

## 2. Dye-sensitized solar cell (DSSC)

A DSSC is a thin-layer solar cell formed by sandwich arrangements of two transparent conducting oxides electrodes (figure 3). The main highly colored electrode has a few micron thick mesoporous TiO<sub>2</sub> layer coated with a photosensitizer. The counter electrode (cathode) is composed of islands of finely divided Pt deposited onto anode. The inter layer space is filled with an organic electrolyte containing a redox mediator, usually a mixture of iodine and iodide in a low viscosity organic solvent such as acetonitrile. Best solar conversion efficiency obtained for this type of DSSC is in the range of 11-12 % for laboratory scale cells (area < 1 cm<sup>2</sup>) and around 8.5 % for large-area modules (100 cm<sup>2</sup>) [1-3].



**Figure 3.** Typical configuration of a DSSC



**Figure 4.** Schematic illustration of a generic DSSC

Exposure of solar-cell assembly to visible light leads to a sequence of reactions. Figure 4 shows schematically these processes. After light exposure, the dye is coming in electronically excited state:



The molecule in the excited state can decay back to the ground state or undergo oxidative quenching, injecting electrons into the conduction band of TiO<sub>2</sub>:



The injected electrons travel through the mesoporous network of particles to reach the back collector electrode to pass through the external circuit. The donor (iodide) present in the electrolyte reduces the oxidized dye rapidly to the ground state:



The electrons reaching the counter-electrode through the external circuit reduce in turn the oxidized iodide ( $I^-$ ) so that the entire sequence of electron transfer reactions involving the dye and the redox mediator ( $I_2-I^-$ ) is rendered cyclic:



If cited reactions alone take place, the overall effect of irradiation with sunlight is to drive the electrons through the external circuit, i.e., direct conversion of sunlight to electricity [1-3].

### 3. Reviews of Dyes Used in DSSCs

Dye molecules are the key component of a DSSC to have an increased efficiency through their abilities to absorb visible light photons. Early DSSC designs involved transition metal coordinated compounds (e.g., ruthenium polypyridyl complexes) as sensitizers because of their strong visible absorption, long excitation lifetime and efficient metal-to-ligand charge transfer. However, high cost of Ru dyes is one important factor hindering the large-scale implementation of DSSC. Although highly effective, with current maximum efficiency of 11%, the costly synthesis and undesired environmental impact of those prototypes call for cheaper, simpler, and safer dyes as alternatives. Organic dyes, including natural pigments and synthetic organic dyes, have a donor-acceptor structure called as push-pull architecture, thus improving short circuit current density by improving the absorption in red and infrared region. Natural pigments, like chlorophyll, carotene, and anthocyanin, are freely available in plant leaves, flowers, and fruits and fulfill these requirements. Experimentally, natural-dye sensitized TiO<sub>2</sub> solar cells have reached an efficiency of 7.1% and high stability. The performance of natural dye sensitizer in DSSC has been estimated using short circuit current ( $J_{sc}$ ) (hrv. gustoća struje kratkog spoja), open circuit voltage ( $V_{oc}$ ) (hrv. napon praznog hoda), fill factor (FF) (hrv. faktor ispunje), and energy conversion efficiency ( $\eta$ ) (hrv. učinkovitost) [2-4].

Table 1 shows some plants, sources of natural dyes, and photovoltaic parameters of natural dyes. However, the modern application of natural dyes implies the use of easily renewable raw materials or bio-waste. In addition, it must be precisely defined which part of the plant was used, for example, flower, fruit, bark, because compounds of different chemical structures can be extracted from different parts of the same plant [2-4].

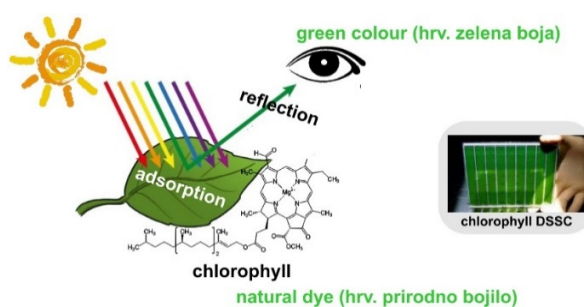
**Table 1.** Average photovoltaic parameters of some natural dye based DSSCs

Natural dyes	$J_{sc}$ (mAcm <sup>-2</sup> )	$V_{oc}$ (V)	FF	$\eta$ (%)
Mango (hrv. mango)	2.69	0.69	0.6	1.2
Hibiscus rosasinesis (hrv. hibiskus)	4.04	0.4	0.6	1
Sesbania grandiflora (hrv. biljni kolibri)	4.4	0.41	0.6	1
Rhododendron (hrv. rododendron)	1.61	0.59	0.6	0.6
Perilla (hrv. crna kopriva)	1.36	0.52	0.7	0.5
Sicilian Indian (hrv. kruška kaktus, opuntija)	2.7	0.38	0.5	0.5
Rose (hrv. ruže)	0.97	0.6	0.7	0.4
Bougainvillea (hrv. bugenvilija)	2.1	0.3	0.6	0.4

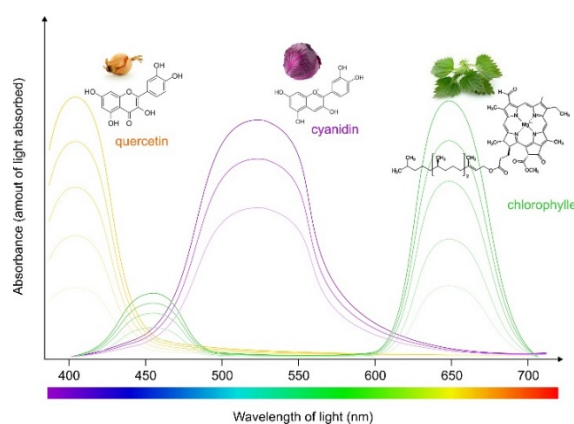


Cofee (hrv. kava)	0.85	0.56	0.7	0.3
Violet (hrv. ljubičice)	1.02	0.5	0.6	0.3
Petunia (hrv. petunija)	0.85	0.62	0.6	0.3
Tangerine peel (hrv. kora tanderine)	0.74	0.59	0.6	0.3
Yellow rose (hrv. žute ruže)	0.74	0.61	0.6	0.3
Begonia (hrv. begonija)	0.63	0.54	0.7	0.2
Marigold (hrv. neven)	0.51	0.54	0.8	0.2
Annatto (hrv. anato)	0.53	0.56	0.7	0.2
Lily (hrv. ljiljan)	0.51	0.5	0.7	0.2
Carrot (hrv. mrkva)	0.45	0.58	0.6	0.2
Mixed rosella blue pea (hrv. plavi grašak)	0.82	0.38	0.5	0.2
Lithospermum (hrv. vrapčje sjeme)	0.14	0.34	0.6	0

Organic dyes (natural and synthetic) have the property of selective adsorption of solar energy (equation 1). Depending on the chemical structure of the dye molecule, part of the energy is adsorbed in the molecule leading to electron excitation and second part is reflected (figure 5). We see the reflected part of the spectrum as colour. It is important for DSSC systems that the excited electrons in the dye are at an energy level corresponding to the TiO<sub>2</sub> molecules that become electron acceptors (equation 2) [1-5].



**Figure 5.** Schematic representation of selective adsorption of solar energy in dye molecules



**Figure 6.** The visible absorbance spectra of some natural dyes

Dyes are usually characterized by a wavelength (nm) at which the molecule absorbs the highest amount of solar energy  $\lambda_{max}$  (figure 6). The wave region, in which the dye molecule

has the lowest energy adsorption, actually represents the area of the highest reflection, i.e. the characteristic of colour (visible characteristic of that molecule). Common natural dyes are betaines, cyanides, carotenoids, chlorophyll and flavonoids. In addition, by spectrophotometric analysis of the dye, in addition to the width of the absorption band, it can be seen that the height of the absorption peak depends on the dye concentration. The combination of different natural dyes that absorb solar energy in different parts of the visible part of the spectrum and their concentrations ensures an increase in the efficiency of DSSC.

#### 4. Conclusion

The extensive use and growing dependence on electrical and electronic equipment have increased the energy/power requirements on a global scale. The harnessing of solar energy, in this context, becomes a very attractive proposition. The sunlight reaching the earth's surface every day far exceeds the annual demand. A moderately efficient solar cell array (with 8-10 % efficiency) covering a limited area of the earth's surface would be able to provide an enormous amount of electric power and thus help reduce greenhouse-gas emissions. The dye sensitized solar cell is an important contemporary technology, and one that is rapidly evolving. Many features of DSSC are unique and advantageous over the solar cells based on crystalline or amorphous silicon. Nearly all the components of the DSSC are "tunable", including the semiconducting oxide substrate, the dyes, the electrolytes, the redox mediator and the counter electrode. This has opened great opportunities for chemists and material scientists. Transparency and multi-color design alone offer huge potential for the integration of DSSCs e.g. as part of the building architecture or modern product e.g. solar textiles.

#### 5. References

- [1] Kosyachenko, Leonid A. Solar Cells – Dye-Sensitized devices. Rijeka, InTech, 2011. (ISBN 978-953-307-735-2)
- [2] Jinchu, I., Sreekala, Co, Sreelatha, K. Savithryamma. Dye Sensitized Solar Cell using Natural Dyes as Chromophores – Review // *Materials Science Forum*, 771(2014), 8; 39-51 (ISSN 1662-9752)
- [3] Adedokun Oluwaseun, Titilope Kamil, Awodugba Ayodeji Oladiran. Review on Natural Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs) // *International Journal of engineering technologies*, 2(2016), 2; 34-41 (ISSN 2149-5262)
- [4] Karki Indra Bahadur, Nakarmi Jeevan Jyoti, Mandal Pradip Kumar and Chatterjee Suman. Dye-Sensitized Solar cell using extract of *Punica Granatum* L. Pomegranate (Bedana) as a Natural Sensitizer // *Research Journal of Chemical Sciences*, 2(2012), 12; 81-83 (ISSN 2231-606X)
- [5] Rogale, Dubravko, Firšt Rogale, Snježana. High-tech sources of electrical energy integrated into footwear and clothing // *Leather & Footwear*, 66(2017), 4; 8-14 (ISSN 1849-9767)



# Praktično ispitivanje karakteristika automatskih prekidača *Examination of circuit breakers characteristics*

N. Veić\*, H. Glavaš, T. Benšić

<sup>1</sup>Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek,  
Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Osijek, Hrvatska

\*Autor za korespondenciju. E-mail: [nikola.veic@ferit.hr](mailto:nikola.veic@ferit.hr)

## Sažetak

Automatski prekidači predstavljaju osnovni zaštitni element strujnih krugova dostupnih široj populaciji. Često ih kolokvijalno nazivamo i automatski osigurači. Kada prorade jednostavno ih vraćamo u uklopno stanje. Dva su osnovna načina njihove prorade, prvi uslijed toplinskog učinka prekomjerne struje i drugi elektromagnetski. Zadatak rada je prikazati provedbu praktičnog ispitivanja automatskog prekidača s ciljem utvrđivanja ispravnosti rada u odnosu na nazivne karakteristike koje deklarira proizvođač. Podatci prikupljeni analizom obrađeni su i grafički prezentirani radi opće preglednosti informacije. Zaključna razmatranja potvrđuju da je energija akumulirana u izvršnim članovima odgovorna za proradu, a trenutna vrijednost struje prorade u slučaju malih iznosa značajno odstupa. Vrijeme prorade odgovara nazivnim vrijednostima s čime je potvrđena ispravnost ispitivanih elemenata i načelna homogenost njihovih karakteristika.

## Abstract

Circuit breakers are a basic protection element of electric installations available to the general population. We often colloquially call them automatic fuses. After the operation, they can be easily returned to the active state. There are two basic ways of their operation, the first due to the thermal effect of excessive current and the second electromagnetic. The paper aims to present the implementation of practical testing of the circuit breaker to determine the correctness of operation concerning the rated characteristics declared by the manufacturer. The data collected by the analysis were processed and graphically presented for general visibility of the information. The conclusion confirms that the energy accumulated in active elements is responsible for the activation, and the activation current value in the case of small currents deviates significantly. The activation time corresponds to the nominal values, which confirms the correctness of the tested circuit breakers and the principle homogeneity of their characteristics.

**Ključne riječi:** automatski prekidač, ispitivanje, osigurač

**Key words:** circuit breaker, examination, fuse



## 1. Uvod

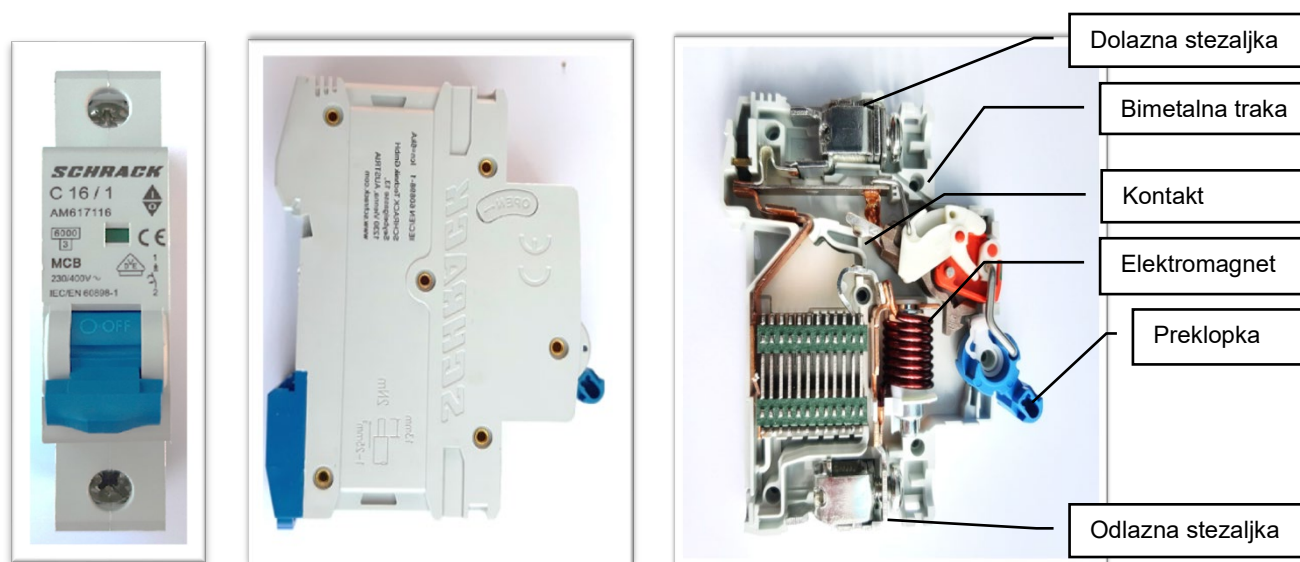
Primjena električne energije dovodi do izazova zaštite opreme i ljudskih života. Klasični osigurači koji predstavljaju najslabije mjesto strujnog kruga povećanjem selektivnosti zaštite polako su istisnuti automatskim prekidačima. Brojne tvrtke u svijetu bave se proizvodnjom automatskih prekidača, a kroz kontinuirani razvoj poboljšavaju im karakteristike djelovanja i na taj način zaštitu strujnih krugova. Zadatak rada je prikazati praktičnu analizu široko dostupnim automatskim prekidačima tj. ispitivanje njihovih karakteristika kako bi na osnovu rezultata mogli donijeti zaključke o ispravnosti te odrediti odstupanje u odnosu na tvornički definirane nazivne vrijednosti. Odabrani su automatski prekidači tvrtke Schrack sa B i C karakteristikama. Analizirani prekidači su novi, nekorišteni. Analiza je obuhvatila B10 i C10. Ispitivat će se njihova ispravnost rada na različitim vrijednostima struje, vodeći računa o proradi te da li njihova prorada zadovoljava vrijednosti na karakteristici prorade. Ispitivanje se provelo reguliranim strujnim izvorom, mjernim sondama i računalnim programima za prikupljanje i obradu mjernih rezultata Labview i Matlab.

## 2. Konstrukcija automatskog prekidača

Davne 1923. godine Hugo Stotz i inženjer Heinrich Schachtner upisani su u povijest kao osobe koje su izumile novi i inovativni prekidač, revolucionarni proizvod za električne instalacije i sigurnost. Kombiniranjem termalne i magnetske sklopke u istom uređaju nastaje toplinsko elektromagnetski prekidač. Patent je zaštićen 1924. godine kao prvi prekidač ikad napravljen da se može upotrebljavati više od jednog puta. Kako je posjedovao sposobnost ugradnje u obične utičnice starijih verzija prekidača postigao je veliki napredak. Najveća prednost ovog novog dizajna prekidača bila je i ta da više nisu bili potrebni električari kako bi se zamijenio prekidač već je to mogao obaviti i član kućanstva što je uobičajeno i u današnje doba, [5],[6]. Kako automatski prekidači ili kako se još nazivaju i minijaturni prekidači već dugi niz godina pružaju veliku sigurnost i zaštitu za mnoge primjene, osiguravaju jednostavno rukovanje i visoku razinu sigurnosti. Najviše se koriste za sve vrste stambenih, komercijalnih i industrijskih pogona, a svojim svojstvima i izvedbom dokazali su održivost, jednostavnu i laku instalaciju te veliku dostupnost. U današnje vrijeme svako kućanstvo opremljeno je minijaturnim prekidačima, štiteći ljude i opremu od električnog udara. Kad dođe do reagiranja automatskog prekidača na kratki spoj (KS) ili preopterećenje, on prekida struju u vrlo kratkom vremenskom periodu od nekoliko milisekundi, što je za usporedbu 10 puta brže od treptaja oka. U tom stanju izložen je vrlo visokoj temperaturi između 5000-6000 °C, [5].

Osnovna su dva načina po kojima rade automatski prekidači. Prvi je poradi toplinskog djelovanja prekomjerne struje, a drugi poradi elektromagnetskog učinka prekomjerne struje. Toplinsko djelovanje odvija se na način preko bimetalne trake, gdje se uslijed prekomjerne struje koja prolazi unutar prekidača zagrije i mehanički se savije. Takav pomak dijela bimetalne trake pomiče mehanički zasun koji otpušta opružni mehanizam koji dovodi do fizičkog razdvajanja kontakata. Nedostatak ovog tehničkog rješenja je da ponovni uklop mora sačekati hlađenje bimetalne trake i njezino izravnavanje, [1]. Drugi način je da se

koristi elektromagnetsko privlačenje kotve koje stvara dovoljnu privlačnu silu tek kod većih struja (npr. kratki spoj). Pomak kotve pomiče mehanički zasun i opružni mehanizam dovori do fizičkog razdvajanja kontakata. Za razliku od termičkog, elektromagnetski isklon se trenutno može ponovno uklapati. Na slici 1 prikazan je izgled i presjek automatskog prekidača (AP).



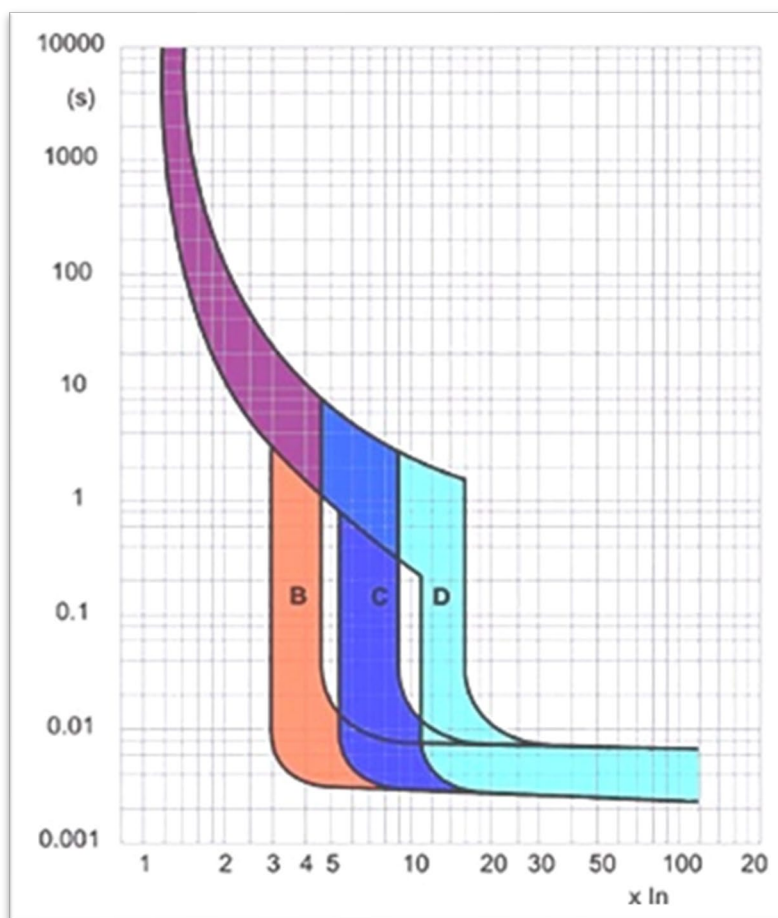
Slika 1. Izgled i presjek automatskog prekidača

Tri su osnovne karakteristike koje opisuju svaki AP: **Karakteristika za preopterećenje (A)** – kod preopterećenja dolazi kada se snaga trošila poveća iznad projektirane, pa struja prijeđe dozvoljenu vrijednost iznosa struje koja smije teći vodičima strujnog kruga iznad kojega dolazi do njihovog termičkog oštećenja. Na taj način isključivanjem automatskog prekidača prekida se napajanje čime sprečavaju pregrijavanja u spojnim vodičima i na spojnim stezaljkama uslijed čega dolazi do potencijalnih požara.

**Karakteristika za kratki spoj (kA)** – kod pojave kratkog spoja kao rezultata kvara u električnom krugu ili uređaju koji je mnogo opasniji od preopterećenja gdje su puno veće brzine porasta struje i iznosi prekomjerne struje. Uglavnom se pojavljuje kada dođe do izravne povezanosti između faznog i nultog vodiča. Uslijed vrlo malog otpora kratkog spoja (u odnosu na projektirani otpor trošila u normalnom režimu rada) porast struje može dosegnuti i nekoliko desetaka puta veće vrijednosti u vrlo kratkom vremenskom periodu od nekoliko milisekundi.

**Karakteristika za krivolju prorade (ciklus)** – U niskonaponskim mrežama različiti uređaji imaju određene režime rada kada je potrebno premostiti kratkotrajne strujne udare. Na primjer električni motori kod pokretanja ili kod udarnih mehaničkih opterećenja imaju svojstvo da im poraste struja i do nekoliko puta u odnosu na nazivnu. To je krakrotrajno opterećenje, koje priključeni uređaj a i priključni vodovi mogu podnijeti.

U praksi prilikom odabira automatskog prekidača važno je osim nazivne vrijednosti struje odabrati odgovarajući tip krivulje koja omogućava prekostrujne udare u različitim režimima rada, slika 2.



Slika 2. Krivulje djelovanja: B, C, D

**Automatski prekidači sa B krivuljom djelovanja** – koriste se u zaštiti strujnih krugova gdje nema potrebe za dozvoljenom prekomjernom strujom pri uključenju tereta. Bilo koje naglo povećanje struje definirat će se kao kvar pa je dopuštena količina prekomjerne struje relativno mala. B krivulja djelovanja je između 3 i 5 puta veća od struje punog opterećenja. Vrijeme iskapčanja bit će najbrže u odnosu prema ostalim krivuljama.

**Automatski prekidači sa C krivuljom djelovanja** – najčešće se koriste u zgradarstvu i kućanskim instalacijama te za osnovna industrijska postrojenja. Na slici 2.4. prikazane su krivulje djelovanja, najčešće korištene u svakodnevnoj uporabi su automatski prekidači sa C krivuljom djelovanja, na slici 2 nalaze se automatski prekidači u pripremi za ispitivanje. Isto kao i kod B krivulje bilo koje naglo povećanje definirat će se kao kvar, ali je dopuštena količina prekomjerne struje malo povećana u odnosu na B krivulju. C krivulja djelovanja je između 5 i 10 puta veća od struje punog opterećenja.

**Automatski prekidači sa D krivuljom djelovanja** – najčešće se koriste u velikim industrijskim postrojenjima i tvornicama koje koriste velike motore i transformatore, bolnice sa rendgenskim uređajima ili kompresorima. Zbog velikih prenapona u startu struje porastu između 10 i 20 puta u odnosu na puno opterećenje pa se vrijeme iskapčanja prolongira dok kratkotrajni udar ne prođe i stabilizira se na radno opterećenje. Sve tri vrste automatskih prekidača pružaju optimalnu zaštitu prekidanja unutar jedne desetinke sekunde, a prekida

se strujni krug unutar 0,1 sekunde. Svaku instalaciju treba projektirati kvalificirani električar prema važećim standardima i normama, [10]. Pored navedenog treba uzeti u obzir i ukupan broj AP jer svojom disipacijom međusobno mogu djelovati. Tablica 1 prikazuje snage disipacije i unutarnjeg otpora za različite nazivne vrijednosti prekidača pri  $U_n$  što je bitno prilikom realizacije ugradnje i procijene termičkog opterećenja razvodnog mjesta.

**Tablica 1.** Prikaz disipacije snage i otpora za različite nazivne vrijednosti mjerenih prekidača pri  $U_n$

Ukupni gubitak snage pri $U_n$ za 1 P		Unutarnji otpor
6 A	2,0 W	51,787 m $\Omega$
10 A	2,0 W	9,989 m $\Omega$
16 A	3,5 W	6,310 m $\Omega$
20 A	4,0 W	3,832 m $\Omega$

Za odabir odgovarajućeg AP neophodno je poznavanje detaljnih karakteristika. Tablica 2. prikazuje detaljnije karakteristike AP sukladno podacima proizvođača od broja ciklusa, IP zaštite, vrijednosti temperature kao i površine presjeka te potrebne vrijednosti sile prilikom spajanja, [11][12].

**Tablica 2.** Prikaz detaljnih karakteristika automatskih prekidača

Električna izdržljivost	4.000 ciklusa
Mehanička izdržljivost	20.000 ciklusa
Razina zaštite	IP 20
Referentna temperatura	30°C
Temperatura okidanja	-5°C do + 40°C
Radna temperatura	-25°C do +70°C
Tipovi priključaka	Kabeli / u tip sabirnice / Pin tip sabirnice
Kontakt	Od vrha prema dolje
Presjek vodiča	1 – 25 mm <sup>2</sup>
Moment pritezanja stezaljki	2,5 Nm
Veličina ulaza za sabirnicu	10 mm <sup>2</sup>
Montiranje	Na DIN šinu EN 60715 (35 mm)

Tijekom rada a uslijed akumulacije toplinske energije u izvršnim članovima moguće je odstupanje u vremenu prorade. Tablica 3 prikazuje utjecaja temperature okoline na vrijeme prorade, [11][12].

**Tablica 3.** Utjecaj temperature na vrijeme prorade

I(A)	Vanjska temperatura (°C)											
	-35	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70
6	7,80	7,56	7,38	7,14	6,84	6,60	6,24	6,00	5,76	5,64	5,28	4,98
10	13,20	12,70	12,50	12,00	11,50	11,10	10,60	10,00	9,60	9,30	8,90	8,40
16	21,12	20,48	20,00	19,20	18,40	17,76	16,90	16,00	15,36	14,88	14,24	13,44
20	26,40	25,60	25,00	24,00	23,00	22,20	21,20	20,00	19,20	18,60	17,80	16,80

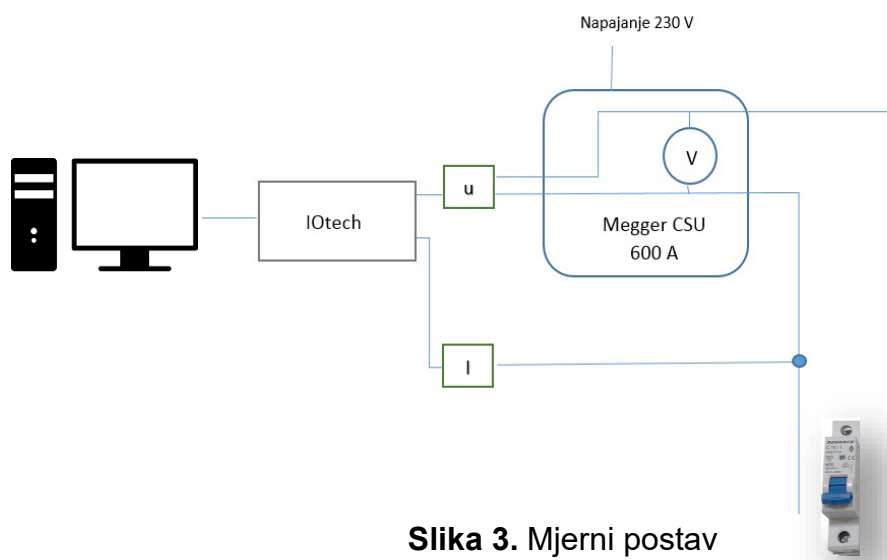


### 3. Standardi koji određuju ponašanje automatskog prekidača

Tehničke karakteristike automatskih prekidača kao i ostalih niskonaponskih prekidača opisuje IEC 60269-1. Postoje posebni dodatci za neke vrste niskonaponskih prekidača kao što su LV HRC i D prekidači. Dokumentima za Europsko usklađivanje definirani su posebni standardi vezano uz prekidače i to: IEC 60269-2-1 Low-voltage fuses – Part 2-1: Supplementary requirements for fuses for use by authorized persons (fuses mainly for industrial application) – Sections I to VI: Examples of types of standardized fuses, 2004 te IEC 60269-3-1 Low-voltage fuses - Part 3-1: Supplementary requirements for fuses for use by unskilled persons (fuses mainly for household and similar applications) - Sections I to IV: Examples of types of standardized fuses, 2004. U Njemačkoj dodaci vezani za LV HRC i D definira DIN VDE 0636. Dosadašnji standardi za zgradarstvo još su u postupku izrade, a stari ne vrijede pa se u obzir uzimaju postojeći standardi kao što su IEC 60269 i VDE 0636, jer su mnogo jasniji a sadrže i dva pregledna dijela gdje se prvi dio odnosi na generalne zahtjeve a drugi dio sadrži posebne uvjete uporabe. Planiraju se donijeti nove smjernice za primjenu niskonaponskih prekidača i oni će biti peti sastavni dio standarda. Uz IEC 61818 dodatno će sadržavati i IEC 61459, [13]. Ispitivanje provedeno u ovom radu zasniva se na propisima definiranim u sklopu HRN EN 60898-1:2019.

### 4. Mjerni postav

Za ispitivanje automatskih prekidača pored standardne mjerne opreme za mjerenje napona i struje, sklopovlja za prikupljanje podataka, neophodan je izvor napajanja s kojeg ćemo pobuditi automatski prekidač i dovesti ga u stanje prorade kako bismo provjerili njegova svojstva.



**Slika 3.** Mjerni postav

Slika 3 prikazuje shemu spoja mjerne opreme vizualno i logički. Ispitnom postavom dominira izvor napajanja do 600 A Megger CSUT600A/AT. Tablica 4 prikazuje vrijednosti struje koju izvor može pružiti te trajanje i napon na stezaljkama.

**Tablica 3.** Karakteristike izvora Megger CSUT600A/AT

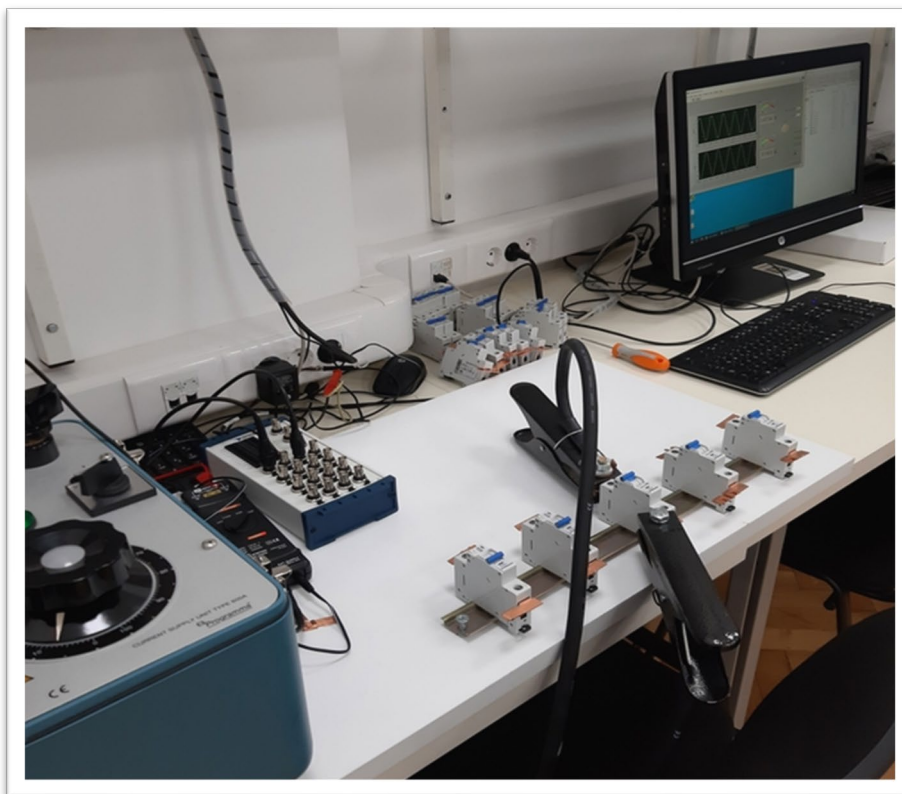
Struja (A)	Vrijeme održanja struje na izlazu	Izlazni napon (V)
0	konstantno	9,5
75	konstantno	9,3
100	1 h	9,0
200	5 min.	8,5
300	2 min.	8,0
400	1 min.	7,5
500	30 s	7,0
600	20 s	6,5



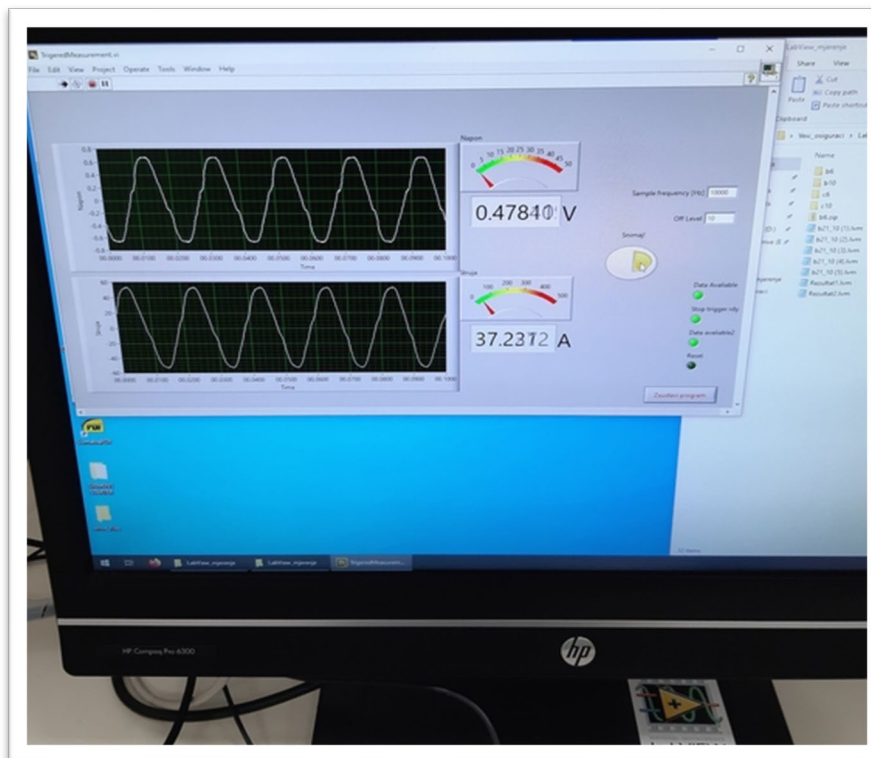
**Slika 4.** Izvor Megger CSUT600A/AT

Na izvoru se okretanjem regulatora odabire željena struja. Budući da struja ovisi o otporu trošila na okretnom regulatoru na kojem je označeno 100 podjeljaka vrijednost podjele varira sukladno parametrima mjerenja. Na stezaljke izvora paralelno je spojena mjerna sonda GWINSTEK Differential Probe GDP-025 i na fazni vodič LEM HEME CURRENT PROBE PR 430. Sonde su priključene na NATIONAL INSTRUMENTS CORP uređaj NI USB-6212 BNC. NI USB-6212 BNC spojen je na PC računalo koje uz pomoć programa Labview prikuplja mjerene podatke i sprema ih u pojedinačne datoteke. Ova metoda mjerenja i prikupljanja podataka može prikupiti i male i velike količine podataka, te pomoću programske podrške Labview omogućuje dodatnu kalibraciju, dodavanje okidača, početka i kraja mjerenja, [9][4][7]. Na slici 4. koja prikazuje fotografiju mjernog postava može se vidjeti strujni izvor lijevo, pet istih osigurača koji se ispituju na zajedničkoj sabirnici i lijevo računalo koje pohranjuje i prikazuje podatke. Slika 5 i slika 6. prikazuju programsku podršku upotrijebljenu tijekom prikupljanja i obrade mjernih podataka.

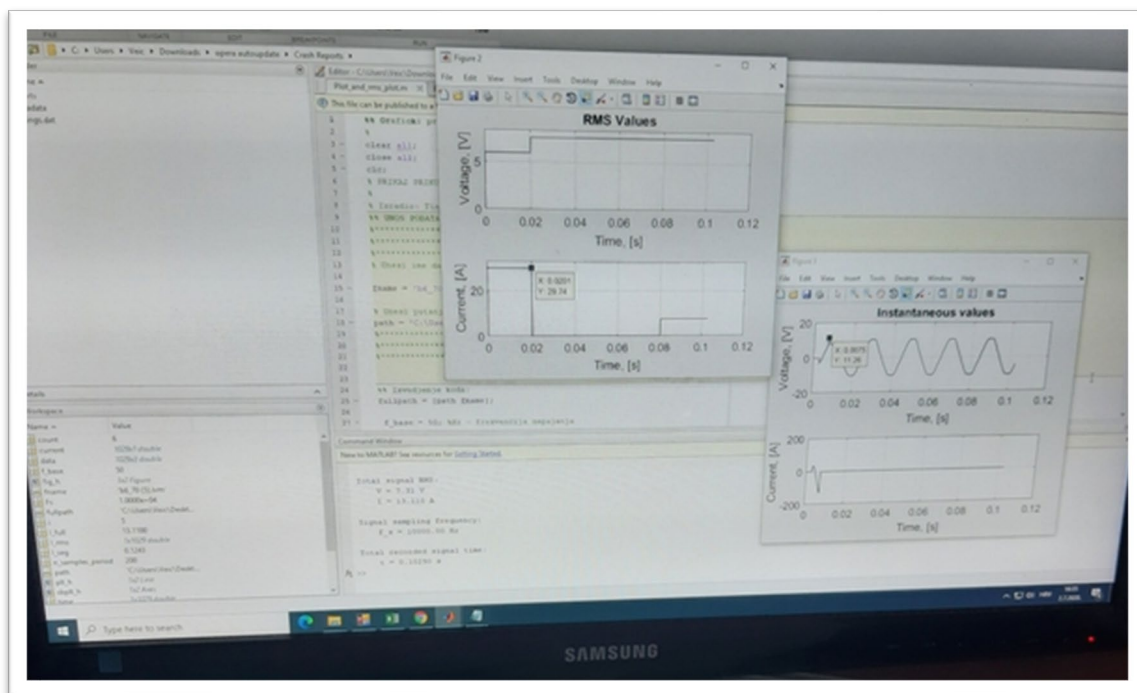




**Slika 5.** Fotografija mjernog postava



**Slika 6.** Fotografija zaslona računala na kojem se prikazuju mjerni rezultati



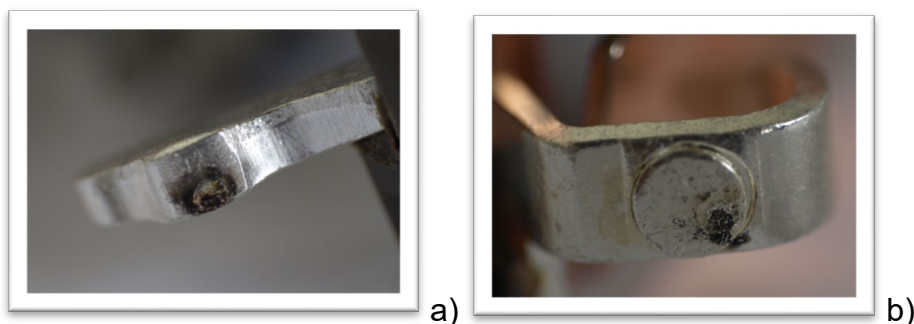
**Slika 7.** Fotografija zaslona računala tijekom obrade mjernih podataka

Mjerenje započinje spajanjem stezaljki izvora u kratki spoj i pokretanjem snimanja na računalu. Postupak je potreban radi stabilizacije i provjere parametara. Stezaljke se zatim spajaju na AP koji ispitujemo, slika 4. Provjerava se stanje spoja kako bi umanjili utjecaj kontaktnog otpora. U beznaponskom stanju podešavamo izlaznu vrijednost izvora i na računalu pokrećemo program Labview sa sučeljem za mjerenje što je vidljivo na slici 5. Na sučelju provjeravamo mjerne parametre i pokrećemo prikupljanje podataka. Po pokretanju prikupljanja podataka sa mjernih sondi uključujemo izvor napajanja.

Kako bi se smanjili vanjski utjecaji temperature na mjerenje, postupak se provodi za seriju od pet automatskih prekidača sa istih nazivnih vrijednosti za pet različitih podešavanja vrijednosti struje. Za daljnju obradu mjernih podataka i vizualizaciju upotrijebljen je Matlab, slika 6.

## 5. Rezultati ispitivanja

Provedena su ispitivanja AP različitih nazivnih vrijednosti. U ovom radu osvrt je napravljen na ponašanja B10 i C10 koji su najčešći u svakodnevnoj primjeni s obzirom da pojedini potrošači imaju inicijalno velike struje uklopa pa je često B seriju prekidača potrebno supstituirati sa C serijom. Za pet različitih podešenja strujnog izvora analizirano je ponašanje AP te su rezultati prikazani tablično ali i grafički kako bi bolje približili odstupanja koja se događaju u praksi. Prikazane vrijednosti struje prorade su trenutni iznosi u trenutku aktivacije osigurača. One ne odražavaju ukupnu energiju koja je potrebna za aktivaciju izvršnog člana, ali održava broj ciklusa aktivacije jer veće struje u trenutku aktivacije ostavljaju trag na kontaktima AP. Slika 7 prikazuje stanje kontakata AP nakon provedenih ispitivanja i pruža najbolju vizualizaciju prve informacije iz tablice 2.

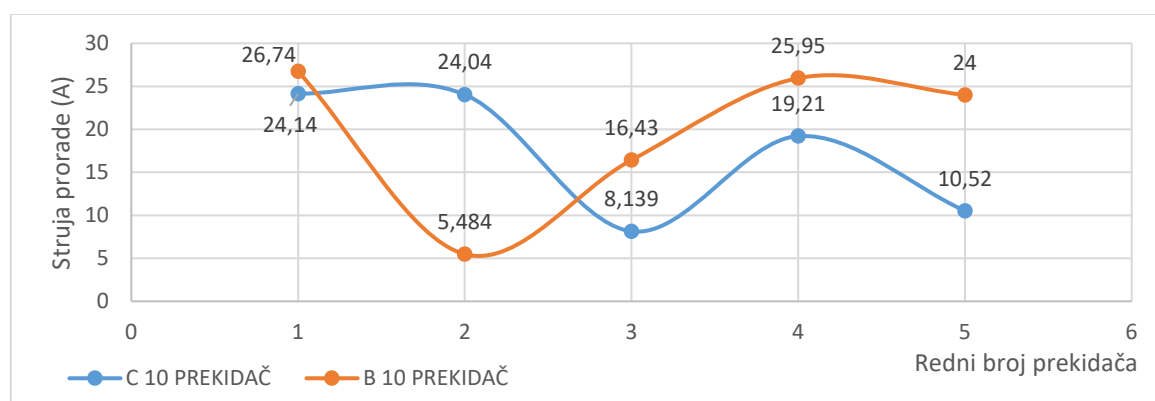


**Slika 8.** Fotografija kontakata AP nakon ispitivanja

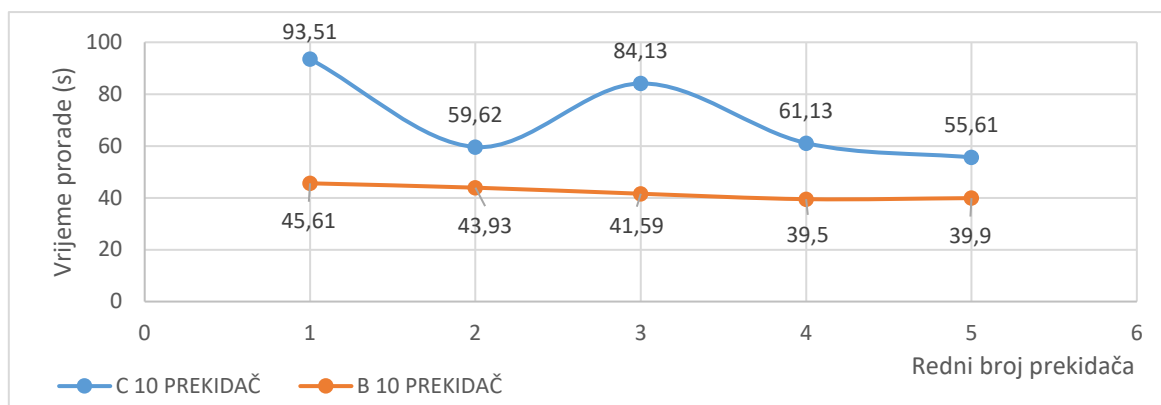
Ispitivanje smo provodili za pet različitih vrijednosti struje izvora. Izvor koji pruža i do 600 A kratkotrajno ili 70 A u kontinuiranom kratkom spoju podesili smo na peti, deseti, dvadeseti, trideseti i sedamdeseti podjeljak na skali te snimili vrijednosti struje, napona i vremena prorade. U tablici 5 prikazane su trenutne struje prorade i pripadajuća vremena za efektivnu vrijednost struje kratkog spoja  $I_{B10}=17,29$  A i  $I_{C10}=19,21$  A koje su bile prisutne za podešenje izvora na petom podjeljku skale.

**Tablica 5.** Trenutne vrijednosti struje u trenutku prorade za podešenje izvora na petom podjeljku skale.

Automatski prekidač B 10				Automatski prekidač C 10			
Red.br.	Struja prorade (A)	Vrijeme prorade (s)	Ispravnost rada	Red.br.	Struja prorade (A)	Vrijeme prorade (s)	Ispravnost rada
1.	24,14	93,51	DA	1.	26,74	45,61	DA
2.	24,04	59,62	DA	2.	5,484	43,93	DA
3.	8,14	84,13	DA	3.	16,43	41,59	DA
4.	19,21	61,13	DA	4.	25,95	39,50	DA
5.	10,52	55,61	DA	5.	24,00	39,90	DA



**Slika 9.** Struja u trenutku prorade AP za podešenje izvora na petom podjeljku skale.

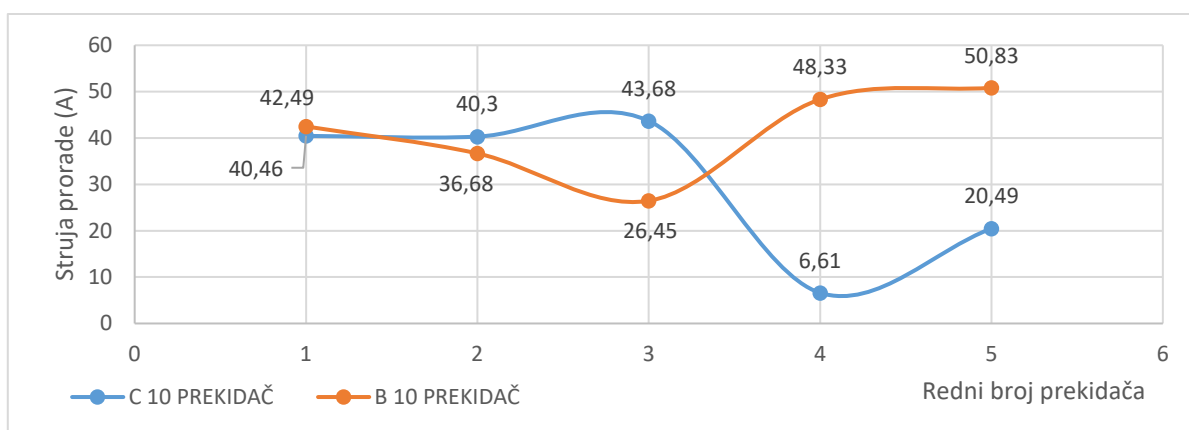


**Slika 10.** Vrijeme prorade AP za podešenje izvora na petom podjeljku skale.

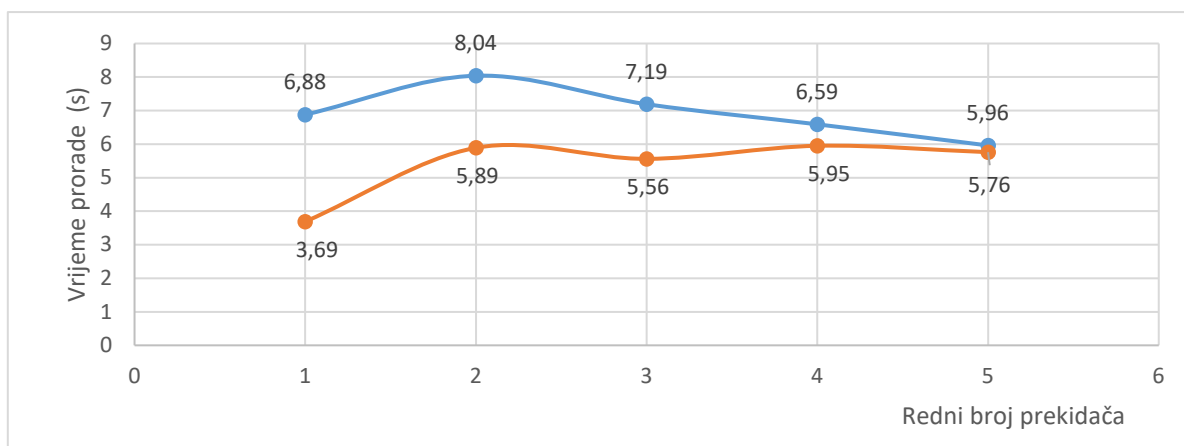
U tablici 6 prikazane su trenutne struje prorade i pripadajuća vremena za efektivnu vrijednost struje kratkog spoja  $I_{B10}=31,53$  A i  $I_{C10}=38,07$  A koje su bile prisutne za podešenje izvora na desetom podjeljku skale.

**Tablica 6.** Trenutne vrijednosti struje u trenutku prorade za podešenje izvora na desetom podjeljku skale.

Automatski prekidač B 10				Automatski prekidač C 10			
Red.br.	Struja prorade (A)	Vrijeme prorade (s)	Ispravnost rada	Red.br.	Struja prorade (A)	Vrijeme prorade (s)	Ispravnost rada
1.	40,46	6,88	DA	1.	42,49	3,69	DA
2.	40,30	8,04	DA	2.	36,68	5,89	DA
3.	43,68	7,19	DA	3.	26,45	5,56	DA
4.	6,61	6,59	DA	4.	48,33	5,95	DA
5.	20,49	5,96	DA	5.	50,83	5,76	DA

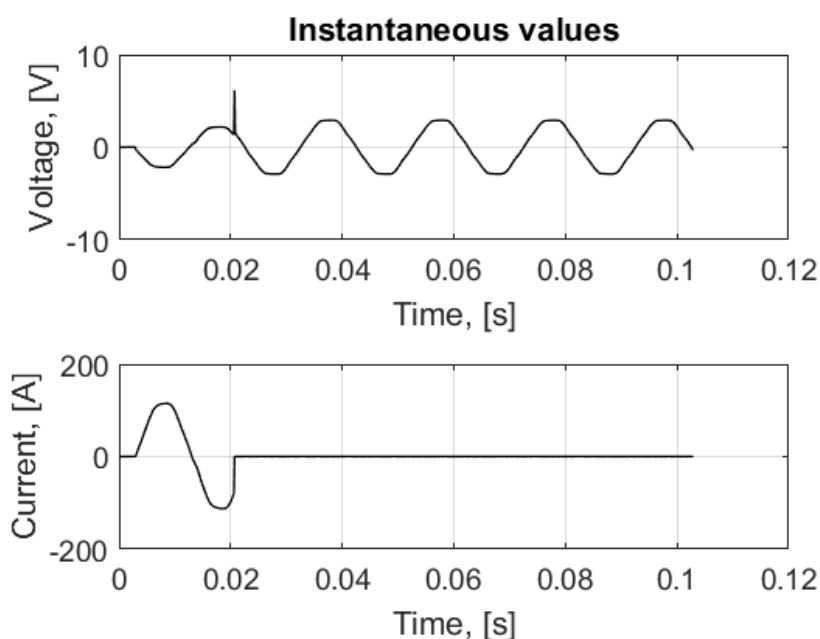


**Slika 11.** Struja u trenutku prorade AP za podešenje izvora na desetom podjeljku skale.



**Slika 12.** Vrijeme prorade AP za podešenje izvora na desetom podjeljku skale

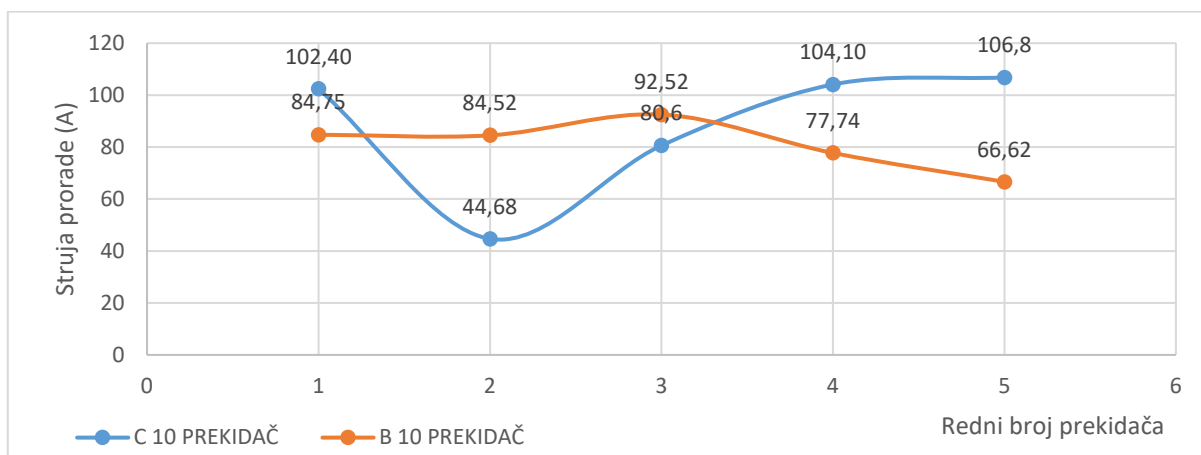
U tablici 7 prikazane su trenutne struje prorade i pripadajuća vremena za podešenje izvora na dvadesetom podjeljku skale. Za razliku od mjerenja tijekom kojih kratki spoj traje nekoliko perioda veći iznosi struje i pripadajuća kratka vremena prorade ne dozvoljavaju točno mjerenje efektivne vrijednosti. Na slici 13 iz oscilograma struje KS vidljivo je da struja vremenski ne prelazi vrijednost cijele periode. Na oscilogramu napona vidljiv je karakterističan porast (špic) u trenutku prorade.



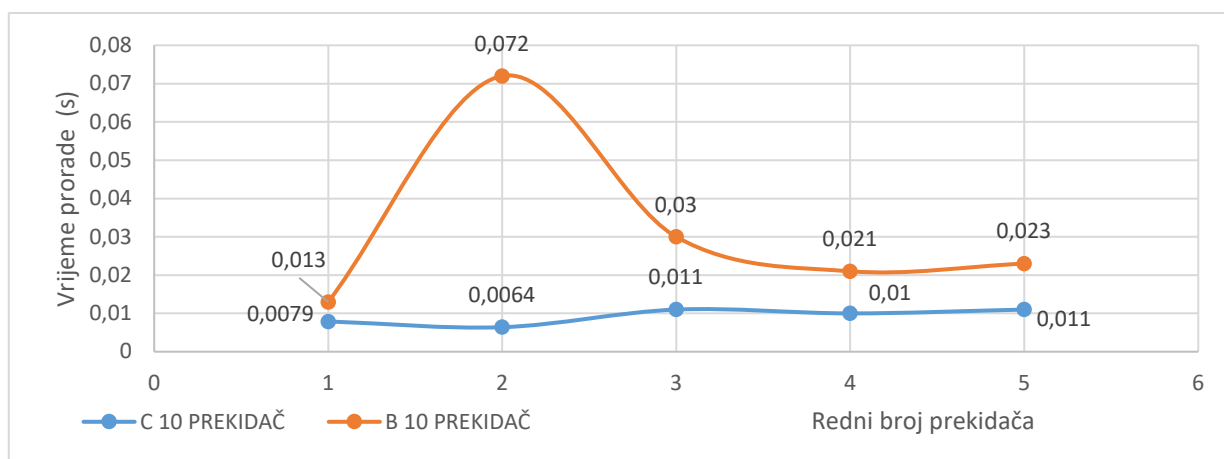
**Slika 13.** Vrijednosti struje i napona pri kratkom spoju za podešenje izvora na dvadesetom podjeljku skale

**Tablica 7.** Trenutne vrijednosti struje u trenutku prorade za podešenje izvora na dvadesetom podjeljku skale.

Automatski prekidač B 10				Automatski prekidač C 10			
Red.br.	Struja prorade (A)	Vrijeme prorade (s)	Ispravnost rada	Red.br.	Struja prorade (A)	Vrijeme prorade (s)	Ispravnost rada
1.	102,40	0,01	DA	1.	84,75	0,013	DA
2.	44,68	0,01	DA	2.	84,52	0,072	DA
3.	80,60	0,01	DA	3.	92,52	0,03	DA
4.	104,10	0,01	DA	4.	77,74	0,021	DA
5.	106,80	0,01	DA	5.	66,62	0,023	DA



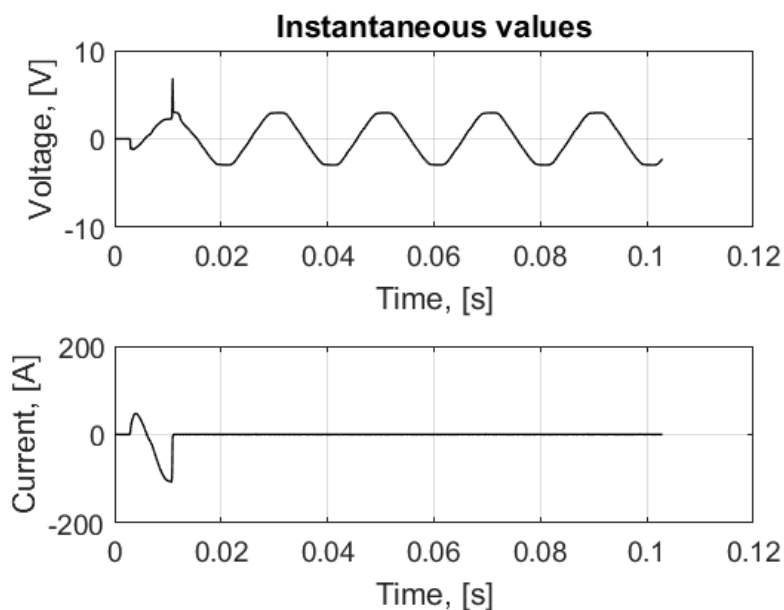
**Slika 14.** Struja u trenutku prorade AP za podešenje izvora na desetom podjeljku skale.



**Slika 15.** Vrijeme prorade AP za podešenje izvora na desetom podjeljku skale

U tablici 8 prikazane su trenutne struje prorade i pripadajuća vremena za podešenje izvora na tridesetom podjeljku skale. Za razliku od tablice 7 koja je u nekim slučajevima bila granično područje. Problem izračuna efektivne vrijednosti bio je prisutan u svim ispitivanjima i najbolje ga ilustrira slika 16.

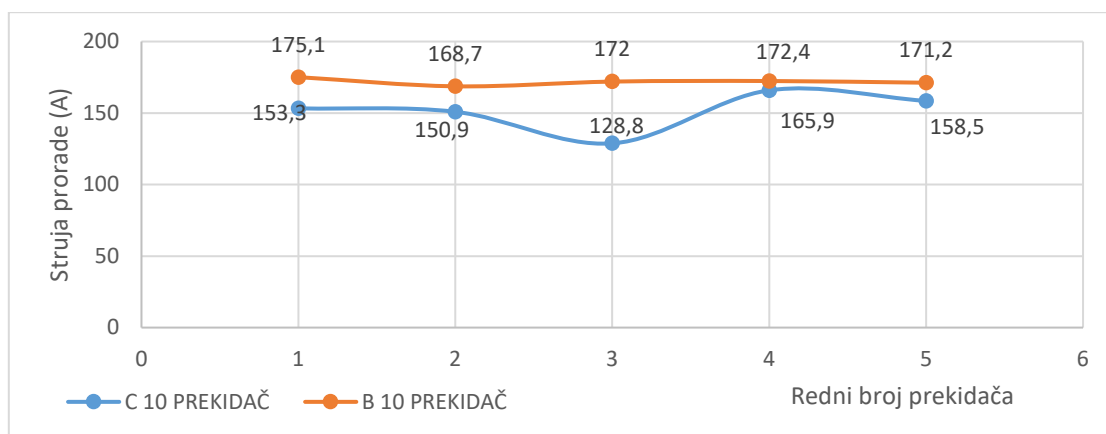




**Slika 16.** Vrijednosti struje i napona pri kratkom spoju za podešenje izvora na tridesetom podjeljku skale

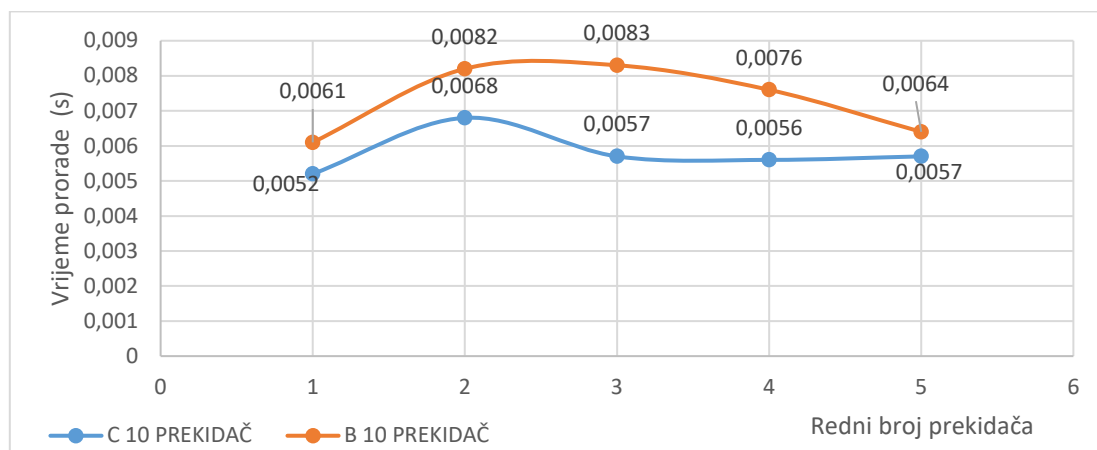
**Tablica 8.** Trenutne vrijednosti struje u trenutku prorade za podešenje izvora na tridesetom podjeljku skale.

Automatski prekidač B 10				Automatski prekidač C 10			
Red.br.	Struja prorade (A)	Vrijeme prorade (s)	Ispravnost rada	Red.br.	Struja prorade (A)	Vrijeme prorade (s)	Ispravnost rada
1.	153,30	0,0052	DA	1.	175,10	0,0061	DA
2.	150,90	0,0068	DA	2.	168,70	0,0082	DA
3.	128,80	0,0057	DA	3.	172,00	0,0083	DA
4.	165,90	0,0056	DA	4.	172,40	0,0076	DA
5.	158,50	0,0057	DA	5.	171,20	0,0064	DA

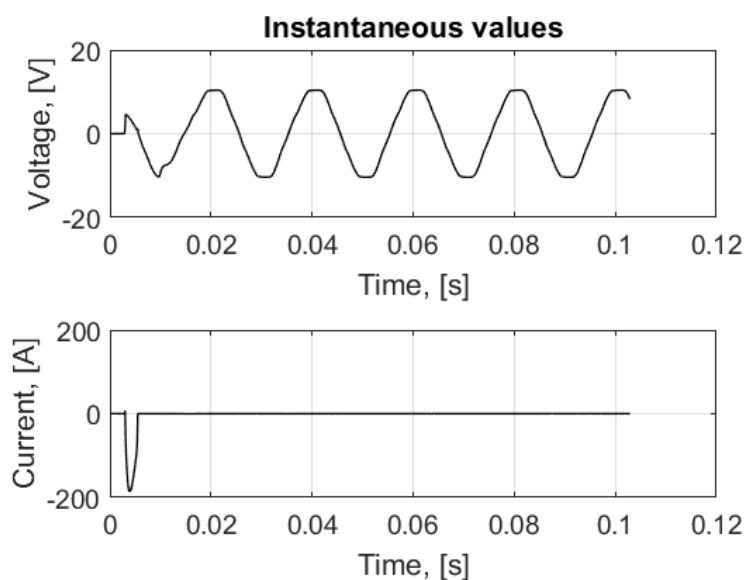


**Slika 17.** Struja u trenutku prorade AP za podešenje izvora na tridesetom podjeljku skale.





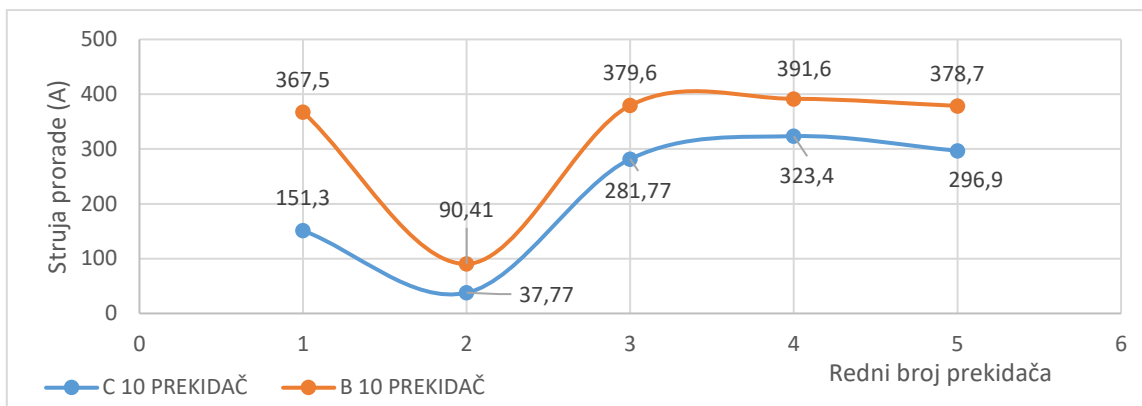
Slika 18. Vrijeme prorade AP za podešenje izvora na tridesetom podjeljku skale a



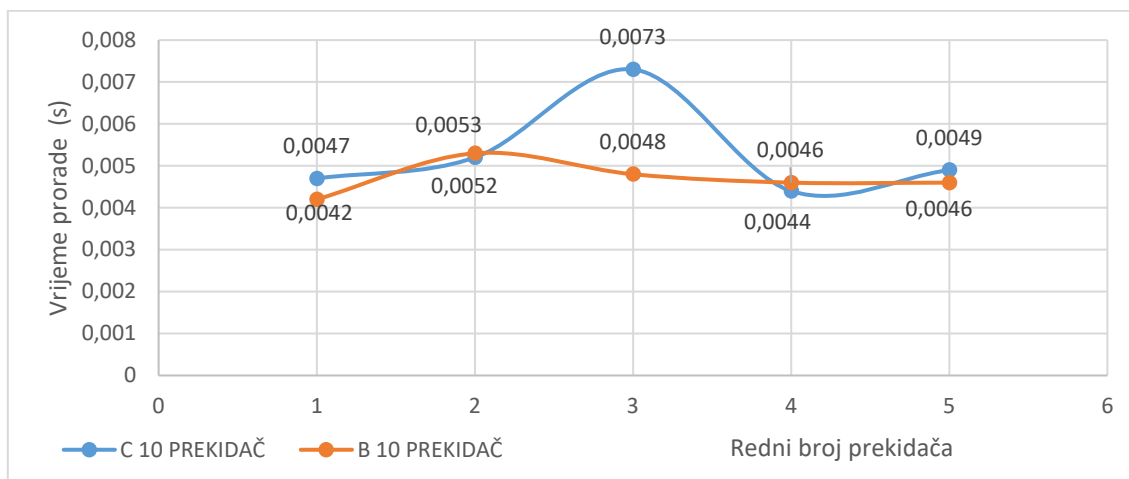
Slika 19. Vrijednosti struje i napona pri kratkom spoju za podešenje izvora na sedamdesetom podjeljku skale

Tablica 9. Trenutne vrijednosti struje u trenutku prorade za podešenje izvora na sedamdesetom podjeljku skale.

Automatski prekidač B 10				Automatski prekidač C 10			
Red.br.	Struja prorade (A)	Vrijeme prorade (s)	Ispravnost rada	Red.br.	Struja prorade (A)	Vrijeme prorade (s)	Ispravnost rada
1.	151,30	0,0047	DA	1.	367,50	0,0042	DA
2.	37,77	0,0052	DA	2.	90,41	0,0053	DA
3.	281,77	0,0073	DA	3.	379,60	0,0048	DA
4.	323,40	0,0044	DA	4.	391,60	0,0046	DA
5.	296,90	0,0049	DA	5.	378,70	0,0046	DA



Slika 20. Struja u trenutku prorade AP za podešenje izvora na sedamdesetom podjeljku skale.



Slika 21. Vrijeme prorade AP za podešenje izvora na sedamdesetom podjeljku skale

## 6. Zaključak

Rezultati ispitivanja automatskih prekidača potvrđuju ponašanje ispitivanih elemenata sukladno nazivnim karakteristikama proizvođača te ispravnosti rada. Za potrebe ispitivanja provedena su brojna mjerenja dok se nije formirao obrazac koji rezultira preciznim i uniformnim podacima, tj. potrebno je vrijeme da se mjerni postav konfigurira kako bi sva mjerenja imala identične parametre. Navedeno je zahtijevalo značajan trud jer se tijekom analize pojavio problem sa uzorkovanjem malih vremenskih intervala; radi se o veličinama od nekoliko milisekundi pa sve do preko stotinjak sekundi za mjerenja na preopterećenjima. Automatski prekidači su pokazali pouzdanost i zadovoljavanje nazivne karakteristike proizvođača. Same krivulje djelovanja imaju široku lepezu te se događa da se neke karakteristike preklapaju, ali na analiziranim i uspoređenim rezultatima mjerenja na B10 i C10 automatskim prekidačima vidljivo je postojanje selektivnosti na svim razinama. Mjerenja su provedena u kontroliranim uvjetima sobne temperature i uvažavajući potrebno vrijeme za hlađenje kako bi se prekidači vratili na početnu temperaturu te na taj način izbjegli neželjeni utjecaj prethodnih mjerenja. Tijekom samih mjerenja uočene su zanimljivosti na pojedinim razinama opterećenja kao što je vibriranje uz zvučnu manifestaciju. Prilikom

obrade mjerenih veličina uočene su zanimljive pojave prilikom isklapanja prekidača na valnim oblicima struje i napona. Širok raspon vremena i iznosa struje dovode do zaključka da ne postoji univerzalna metoda po kojoj bi se rezultati prorade automatski očitavali jer ne vrijede ista pravila za obradu podataka prikupljenih mjerenjem malih iznosa struje preopterećenja i velikih iznosa struja kratkog spoja.

## 7. Literatura

- [1] A.Wright i P.G.Newbery, Electric Fuses, 3rd ed.,The Institution of Engineering and Technology, London, UK, 2004.
- [2] Biegelmeier M, Schutz gegen gefahrliche Korperströme, 1999.
- [3] J.e. Bridges, G.L. Ford, I.A.Sherman, M.Vainberg, Electrical shock safety criteria, 1985.
- [4] GWinstek Differential Probe GDP-025/050/100 series user manual
- [5] <https://new.abb.com/search/results#query=mcb> Pristup ostvaren 30. travnja 2019.
- [6] C. Mullert, Fuse Adventages, 2005.
- [7] WaveBook user's manual., Cleveland, 1999.
- [8] S. Skok, Zavod za energetiku, Električna postrojenja.
- [9] <https://megger.com/current-supply-unit-csu600a-and-csu600at> Pristup ostvaren 30. travnja 2019.
- [10] Zaštita na radu- propisi, cijene, obveze, ponude, Zaštita električnih instalacija niskog napona osiguračima <https://zastitanaradu.com.hr/novosti/Zastita-elektricnih-instalacija-niskog-naponaosiguracima27?fbclid=IwAR2YgKvJEHe5gt052zOIZI2vePkuv9WnArCwv5K9F3yNqSyuhPP2koGIS6k> Pristup ostvaren 30.travnja 2019.
- [11] <https://www.schrack.hr/trgovina/oprema-za-ugradnju-u-ormare-kucista/zastitni-uredaji-i-pribor/minijaturni-zastitni-prekidaci/minijaturni-zastitni-prekidaci-serije-bms0-10ka/zastitni-prekidac-c-karakteristika-16a-1-polni-10ka-bm017116.html> Pristup ostvaren 30. travnja 2019.
- [12] <https://www.schrack.hr/trgovina/oprema-za-ugradnju-u-ormare-kucista/zastitni-uredaji-i-pribor/minijaturni-zastitni-prekidaci/minijaturni-zastitni-prekidaci-serije-bms0-10ka/zastitni-prekidac-b-karakteristika-6a-1-polni-10ka-bm018106.html> Pristup ostvaren 30. travnja 2019.
- [13] HRN EN 60898-1:2019 Električni pribor -- Instalacijski prekidači za nadstrujnu zaštitu za kućanstvo i slične instalacije -- 1. dio: Instalacijski prekidači za rad s izmjeničnom strujom (IEC 60898-1:2015, MOD; EN 60898-1:2019)

## **Spektralni sastav dostupnih izvora svjetlosti** ***Spectral composition of available light sources***

**M. Tuđan, Z. Kraus\*, H. Glavaš**

Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek,  
Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Osijek, Hrvatska

\*Autor za korespondenciju. E-mail: [zorislav.kraus@ferit.hr](mailto:zorislav.kraus@ferit.hr)

### **Sažetak**

Svjetlost je jedini oblik elektromagnetskog zračenja koje čovjek može detektirati bez mjernih uređaja. Sposobnost vida razvijena na područje maksimuma zračenja Sunca i omogućuje nesmetano kondicioniranje kada Sunčeve svjetlosti nema, ali samo zahvaljujući umjetnim izvorima svjetlosti. Energetske potrebe dovele su do politike koja nameće moderne izvore svjetlosti bazirane na CFL i LED tehnologiji. Osnovno pitanje koje se postavlja je kako usporediti različite suvremene izvore svjetlosti. Osim električnih veličina i svjetlosnog toka neophodno je analizirati spektralni sastav kao pobudu koja rezultira formiranjem slike. Zadatak rada je objasniti pojam svjetlosti te prikazati način provedbe optičke spektrometrije s ciljem iznalaženja svojstva dostupnih izvora svjetlosti. Na slikovni način definirani su osnovni pojmovi, opisana potrebna oprema i prikazan je način dokumentiranja različitih spektralnih sastava dostupnih izvora svjetlosti.

### **Abstract**

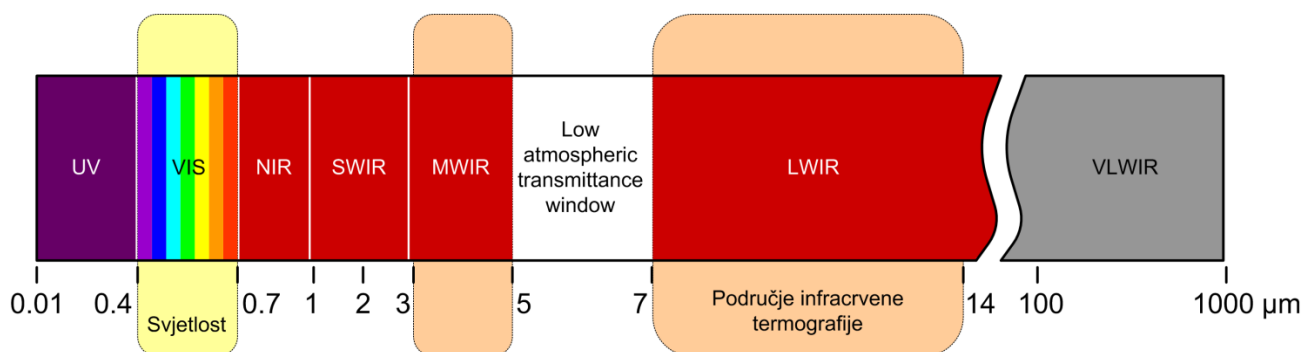
Light is a form of electromagnetic radiation that humans can detect without any devices. The human ability of vision is developed in the area of solar radiation maximum and it allows us undisturbed conditioning when there is no sunlight, but only in presence of artificial light sources. Energy needs have led to a policy that imposes modern light sources based on CFL and LED technology. The basic question that arises is how to compare different contemporary light sources. In addition to electrical quantities and luminous flux, it is necessary to analyze the spectral composition as an excitation that results in image formation. The goal of the paper is to present the concept of light and the method of performing optical spectrometry with the aim of finding the properties of available light sources. The basic concepts are defined in a pictorial way, the necessary equipment is described and the way of documenting the different spectral compositions of the available light sources is shown.

**Ključne riječi:** svjetlost, spektrometrija, uzvrat boje, CFL, LED

**Key words:** light, spectrometry, color rendering, CFL, LED.

## 1. Uvod

Svjetlost je jedini oblik elektromagnetskog zračenja koje čovjek može detektirati bez mjernih uređaja. Sposobnost vida razvijena na područje maksimuma zračenja Sunca i omogućuje nesmetano kondicioniranje kada Sunčeve svjetlosti nema. Svjetlost je u definiciji elektromagnetsko zračenje u rasponu od 380 nm do 780 nm, [1]. Područje znanosti koje se bavi svjetlošću zovemo fotometrija. Radiometrija je širi pojam koji se koristi za opisivanje i mjerenje širenja elektromagnetskog zračenja na svim ostalim valnim dužinama, [2]. Slika 1 prikazuje vizualizaciju smještaja područja svjetlosti u ukupnom spektru elektromagnetskog zračenja.



**Slika 1.** Vizualizacija pojedinih područja elektromagnetskog zračenja

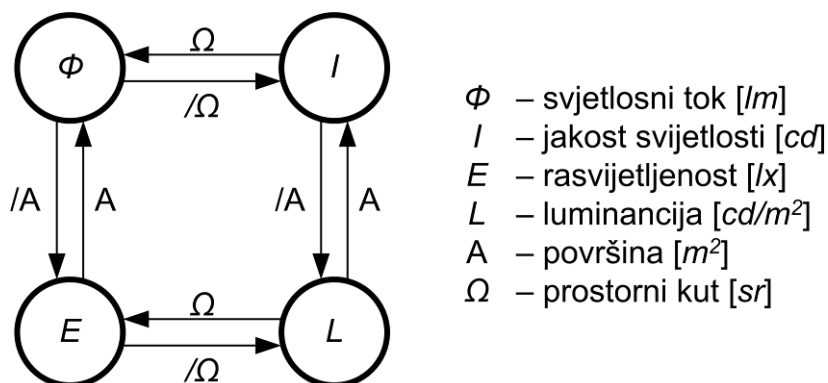
Osnovne svjetlotehničke veličine definiraju se kao one veličine temeljene na vrednovanju ljudskog oka, a to su: sjajnost (luminacija), svjetlosni tok, rasvjetljenje i jakost svjetlosti. Sjajnost se definira kao efekt rasvjetljenosti, koji je vidljiv ljudskom oku i jedinica je kandela po metru kvadratnom ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ), izraz 1.

$$L = \frac{I}{A \cdot \cos \beta} \quad \left[ \frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \right] \quad (1)$$

Svjetlosni tok definira se kao ukupan iznos svjetlosti koju emitira izvor. Označava se grčkim slovom  $\Phi$  i mjerna jedinica je lumen. Kod svjetlosnog toka potrebno je spomenuti i svjetlosnu iskoristivost koja prikazuje omjer svjetlosti i snage koju izvor proizvodi za stvaranje svjetlosnog toka.

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad \left[ \frac{\text{lm}}{\text{W}} \right] \quad (2)$$

Jakost svjetlosti je snaga zračenja koju emitira izvor svjetlosti u prostoru u određenom smjeru, a rasvjetljenost se definira kao omjer količine svjetlosnog toka koji pada na određenu površinu i te iste površine. Odnos svjetlotehničkih veličina prikazan je na slici 2.



Slika 2. Međusobna ovisnost pojedinih svjetlotehničkih veličina

- $\Phi$  – svjetlosni tok [lm]
- $I$  – jakost svijetlosti [cd]
- $E$  – rasvijetljenost [lx]
- $L$  – luminancija [ $cd/m^2$ ]
- $A$  – površina [ $m^2$ ]
- $\Omega$  – prostorni kut [sr]

Ljudsko oko jasno raspoznaje sedam osnovnih boja: ljubičastu, modru, plavu, zelenu, žutu, narančastu i crvenu, [3]. Prikazivanje boje nekog izvora svjetlosti pokazatelj je njegove sposobnosti prikaza realistične reprodukcije boja nekog objekta. Prema propisima CIE (International Lightening Commision) povrat boja grupiran je u razrede od 0 do 100.  $R_a=100$  znači da je učinak svjetlosnog zračenja na boju ispitivanog izvora svjetlosti identičan onome referentnog izvora. Manje vrijednosti  $R_a$  upućuju da pri svjetlosti promatranog izvora boje predmeta neće biti vjerno reproducirane. Povrat boja različitih izvora uspoređuje se sa dnevnim, tj. prirodnim izvorom svjetlosti. Tablica 1. prikazuje primjer potrebnog uzvrata boja za različite prostore.

Tablica 1. Grupe uzvrata boje [1]

Grupa	$R_a$	Važnost	Primjena
1A	90...100	Podudaranje boja	Galerije, bolnice
1B	80...90	Točan sud boja	Kuće, hoteli, uredi
2	60...80	Uzvat boja	Industrija, škole
3	40...80	Uzvat boja zanemarive važnosti	Sportski objekti
4	20...40	Uzvat boja potpuno zanemariv	Rasvjeta

Uzvat boje ovisi o spektralnom sastavu izvora svjetlosti. Boja kao svojstvo tijela ne može se manifestirati ukoliko predmet nije pobuđen odgovarajućom elektromagnetskom pobudom frekvencije koja odgovara navedenoj boji, [4].

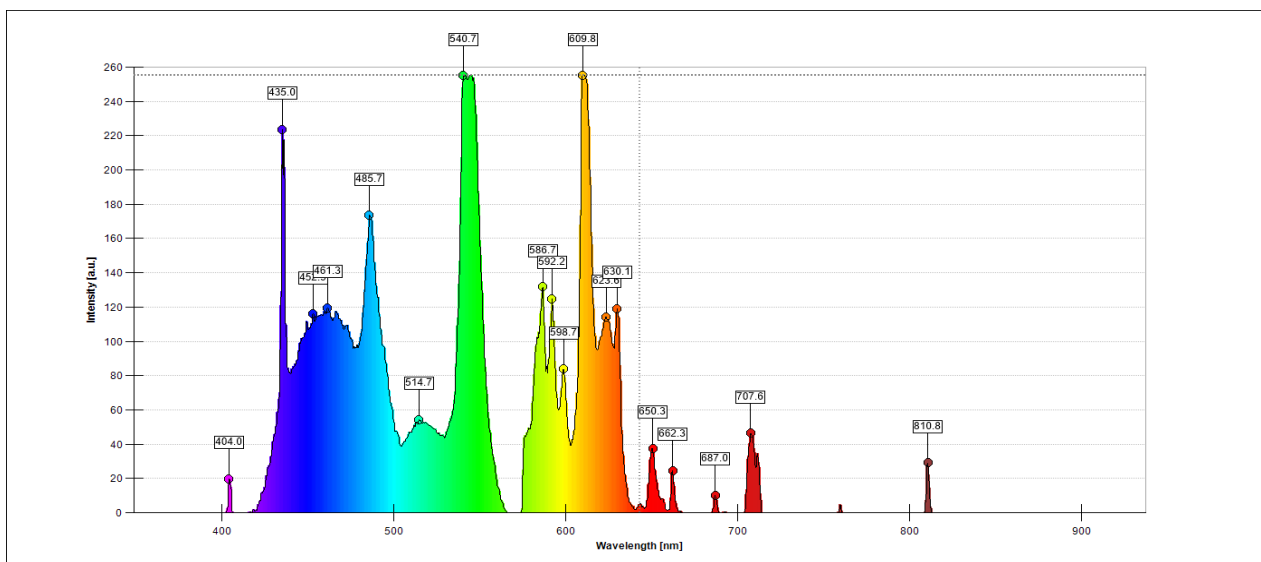
## 2. Analiza spektralnog sastava izvora svjetlosti

Analiza spektralnog sastava jednostavno se provodi upotrebom odgovarajućih mjernih uređaja koji uglavnom sadrže difrakcijske rešetke. Spektrometar korišten u analizi izvora svjetlosti za potrebe rada SPECTRA 1 proizvođača Kvant prikazan je na slici 3, [5]. Svjetlost se optičkom niti dovodi u uređaj i pomoću odgovarajuće programske podrške njen spektralni sastav se prikazuje na zaslonu računala. Prikaz može biti grafički u boji, monokromatski konturni i brojčani u obliku tekstualne datoteke. Na slici 4 može se vidjeti oblik spektralnog sastava Compact Fluorescent Light Bulb (CFL). Karakteristični maksimumi na pojedinim frekvencijama označeni su numeričkim vrijednostima. Usmjeravanjem optičke niti na zaslon Lenovo monitora dobije se spektralni odziv na slici 5.

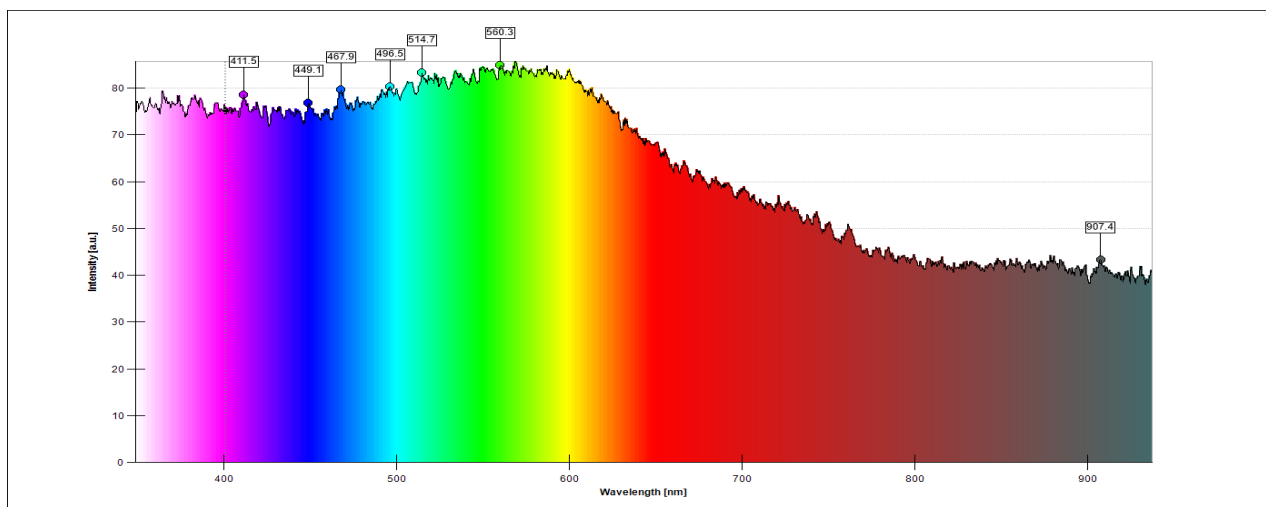




Slika 3. Spektrometar korišten za analizu izvora svjetlosti



Slika 4. Spektralni sastav CFL izvora svjetlosti

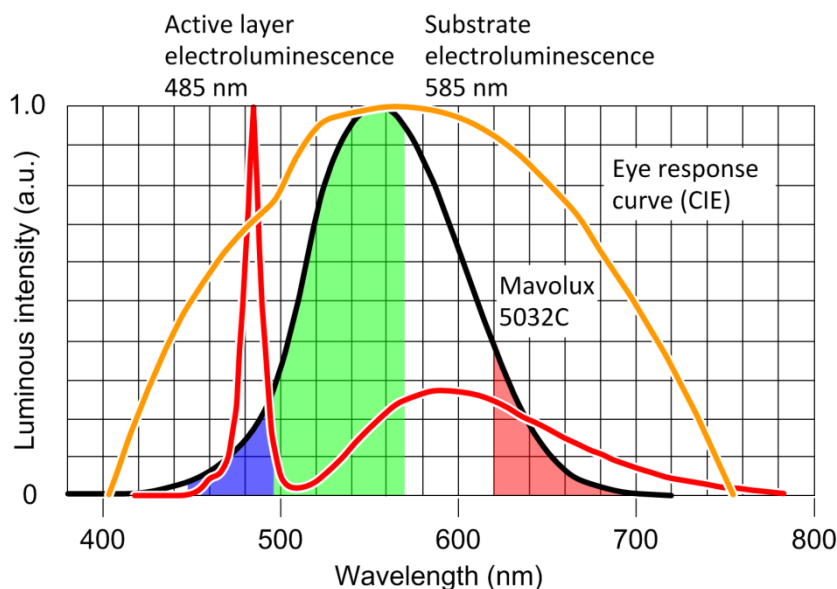


Slika 5. Spektralni sastav svjetlosti Lenovo monitora

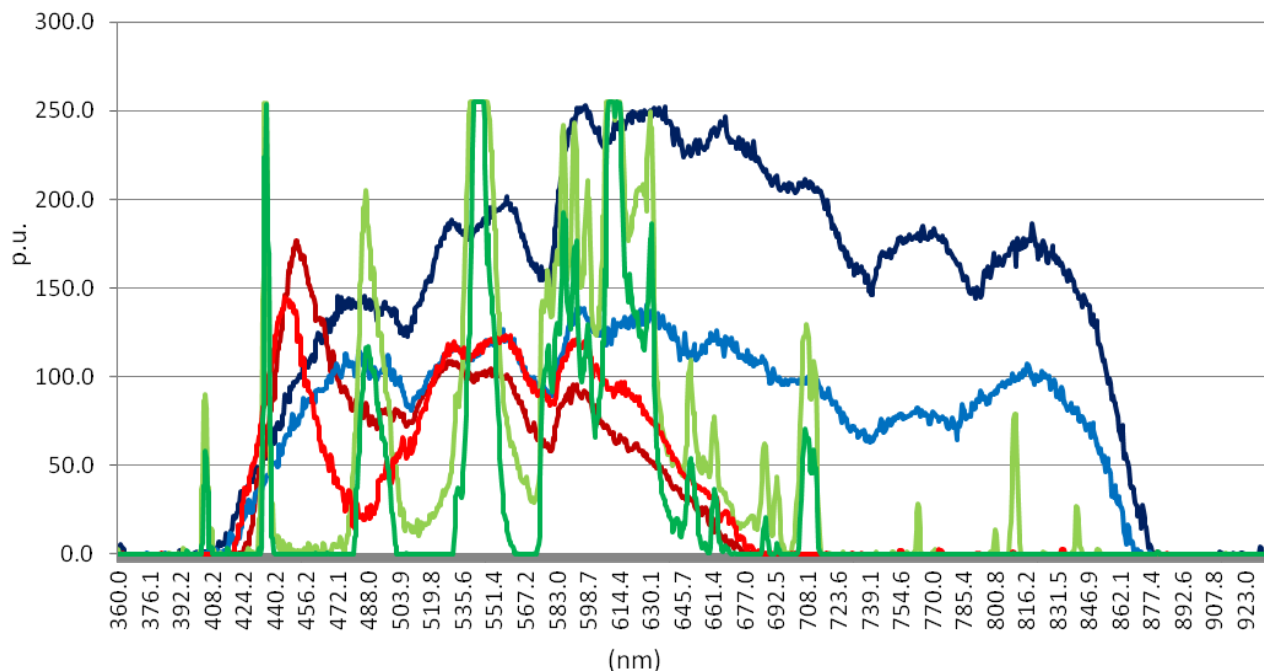


### 3. Karakteristični oblici spektralnih karakteristika dostupnih izvora svjetlosti

Spektralni sastav pojedinih izvora svjetlosti nažalost nije moguće vidjeti okom. Percepcija oka je uglavnom zasnovana na boji i stroboskopskom efektu u slučaju dinamične scene. Na slici 6 prikazana je narančastom bojom karakteristika odziva ljudskog oka tj. područje vida pojedinih valnih dužina, crna boja prikazuje područje detekcije svjetlomjera dok crvena krivulja prikazuje sastav bijelog LED izvora svjetlosti.



**Slika 6.** Usporedba spektralne krivulje odziva Mavolux lux mjerачem (crna), ljudskog oka (narančasta) i spektra LED izvora bijele svjetlosti (crvena), izvor [6]



**Slika 7.** Spektralni sastav šest različitih izvora svjetlosti CFL (zeleno), LED (crveno), GLS (plavo)

Na slici 7 prikazane su oblici spektralnog sastava šest različitih izvora svjetlosti; tri najčešće zastupljene tehnologije obojane su drugačijim nijansama boje, CFL obojani zelenom bojom, LED obojani crvenom bojom i general light source (GLS) obojan plavom bojom.

#### 4. Zaključak

Spektrometrija kao grana znanosti koja se bavi mjerenjem elektromagnetskog zračenja na različitim valnim dužinama može uvelike pomoći u klasifikaciji dostupnih izvora svjetlosti i dati uvid u njihovu kvalitetu. Na temelju provedene analize razvidno je da iste tehnologije izvora ne pružaju iste spektralne sastave. Klasični izvori svjetlosti značajni dio svog toka pružaju u crvenom dijelu spektra gdje ljudsko oko ne može napraviti detekciju punog intenziteta. Sve prisutni LED izvori imaju značajan izboj u području plavog dijela spektra koji ljudsko oko ne može u potpunosti registrirati, ali za razliku od GLS ljudsko oko može registrirati veći dio ukupnog LED zračenja što je ujedno i tajna njihove učinkovitosti. Izvori bazirani na izboju plina CFL imaju nekontinuirani spektralni sastav što dovodi do lošijeg odziva boje. Jedini način da se sa sigurnošću odredi tehnologija izvora svjetlosti kao i njegova kvaliteta je provedba spektralne analize.

#### 5. Literatura

- [1] Tuđan, Marko. Spektrometrija svjetlosti, Završni rad, FERIT 2019.
- [2] Jukić, Dina; Glavaš, Hrvoje; Jeršek, Željko; Veić, Nikola, Photometric testing of a liquid crystal display, Proceedings Of 2020 International Conference on Smart Systems and Technologies (SST), FERIT, 2020. 23-28
- [3] Edvard Širola, Cestovna rasvjeta, Grafika, Hrašće, 1997. ISBN 953-96481-6-5
- [4] Čabraja, Ivica; Glavaš, Hrvoje; Tačković, Krešimir; Petrović, Ivica; Analiza rasvjete unutarnjeg radnog prostora i usklađenosti sa HRN EN 12464-1, CIRED 5. (11.) savjetovanje Osijek, 15. - 18. svibnja 2016. Osijek, Hrvatska, 2016.
- [5] Spectrometer Visible Light V4.8 Manual <https://www.forschool.eu/spectrometry/58275-spectra-1-high-resolution-spectrometer.html> Pristup ostvaren 30.04.2019.
- [6] Glavaš, Hrvoje; Barić, Tomislav; Jukić, Dina; Desnica, Eleonora. Infrared thermography as evaluation method of a faulty status of a LED LCD TV. J Soc Inf Display. 2020; 28: 936– 955. <https://doi.org/10.1002/jsid.951>



# **Analiza potrošnje energije termotehničkog sustava s apsorpcijskom dizalicom topline**

## ***Analysis of energy consumption of a thermo-technical system with an absorption heat pump***

**M. Đuranović<sup>1,\*</sup>, M. Stojkov<sup>1</sup>, M. Živić<sup>1</sup>, A. Barac<sup>1</sup>, M. Holik<sup>1</sup>, D. Bukvić<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod,  
Hrvatska

<sup>2</sup>Brod-Plin d.o.o., Slavonski Brod, Hrvatska

\*Autor za korespondenciju. E-mail: [mduranovic@unisb.hr](mailto:mduranovic@unisb.hr)

### **Sažetak**

U radu se razmatraju različiti termotehnički sustavi za potrebe grijanja i hlađenja promatranog poslovnog objekta koji se sastoji od tri etaže. Prikupljeni su podaci o potrošnji energenta prirodnog plina tijekom tri godine. Analizirani su mjereni podaci o potrošnji energije za grijanje i hlađenje zgrade s apsorpcijskom dizalicom topline koja kao pogonsko gorivo koristi prirodni plin. Kao alternativa apsorpcijskoj dizalici topline u sezoni grijanja je, kao izvor energije, analiziran kondenzacijski kotao na plin. Iz provedene analize kao bolje rješenje za potrošnju energije odnosno energetske učinkovitost u sezoni grijanja se pokazala apsorpcijska dizalica topline. U sezoni hlađenja kao alternativa apsorpcijskoj dizalici topline je promatrana kompresijska dizalica topline. Apsorpcijska dizalica topline ima veću potrošnju energije od kompresijske dizalice topline, ali je financijski trošak energenta prirodnog plina manji od troška električne energije kompresijske dizalice topline. Uzimajući u obzir provedenu analizu zaključak je da je apsorpcijska dizalica topline energetski najučinkovitija, ima najmanje troškove pogona i najbolje je rješenje kada se uzme u obzir grijanje i hlađenje.

**Ključne riječi:** termotehnički sustav, grijanje, hlađenje, apsorpcijska dizalica topline

### **Abstract**

In this paper different thermo-technical heating and cooling systems in the observed three story business building are considered. Data about the consumption of natural gas was gathered through 3 years. Energy consumption data for heating and cooling was analyzed in the building with a absorption heat pump, which uses natural gas as operating fuel. As an alternative to the heat absorption pump used during the heating season, we analyzed the condensing gas boiler. From the conducted analysis, it is shown that the better energy consumption solution, respectively, more energy-efficient device in the heating season is the absorption heat pump. In the cooling season, as an alternative to the absorption heat

pump, we observed the vapour compression heat pump. The absorption heat pump consumes more energy than the vapour compression heat pump, but the financial cost of natural gas fuel is lower than the cost of electricity used by the vapour compression heat pump. Taking into account the proven analysis, the conclusion is that the absorption heat pump is the most energy efficient, has the lowest cost and is the best solution when heating and cooling are taken into account.

**Key words:** thermo technical systems, heating, cooling, absorption heat pump

## 1. Uvod

U današnje vrijeme se tehnologije za grijanje prostora temelje na izgaranju fosilnih goriva uključuju prirodni plin, naftu i ugljen. Masovna uporaba fosilnih goriva donosi ozbiljna pitanja zagađenja okoliša i emisije štetnih plinova. S kontinuiranim povećanjem broja stanovnika, porastom standarda te povećanom potrošnjom energije sve se više teži korištenju obnovljive energije, a mnogi istraživači vjeruju da je energija iz zraka pouzdan i ekološki prihvatljiv izvor energije za buduće zgrade.

Tehnologija dizalice topline koja koristi zrak kao izvor topline može uštedjeti visokokvalitetnu energiju i potpuno iskoristiti niskokvalitetnu.

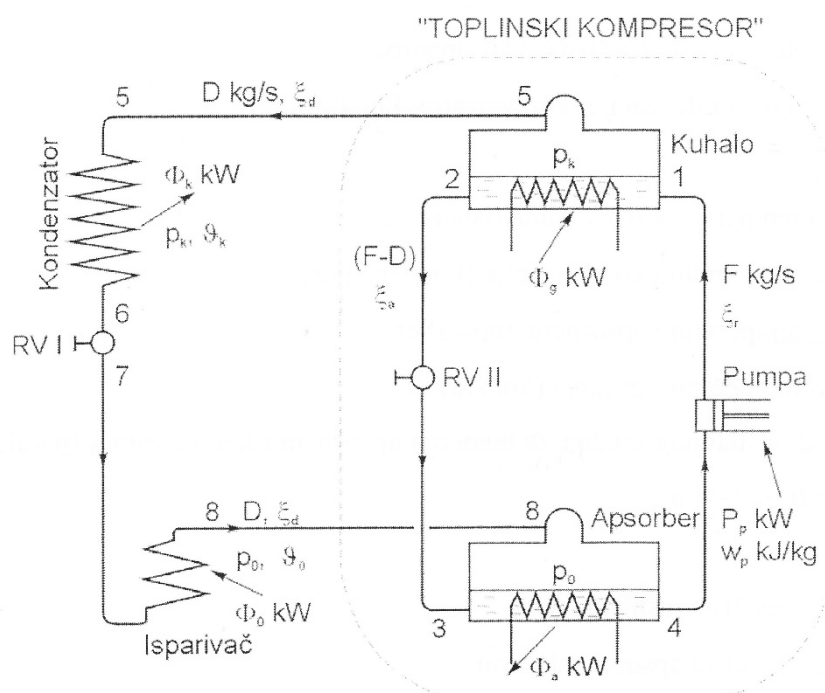
Apsorpcijske dizalice topline sa zrakom kao izvorom topline proučavaju se zbog svojih prednosti, poput ekološke prihvatljivosti, energetske učinkovitosti i niskih ulaganja.

Wu i suradnici [1] predložili su solarne apsorpcijske dizalice topline sa zrakom kao izvorom topline i predložili njihove najbolje radne konfiguracije. U usporedbi s konvencionalnim sustavima izravnog solarnog grijanja, predloženi sustav dao je bolje performanse i proizvodio manje zagađenje. Dai i suradnici [2] istražili su apsorpcijsku dizalicu topline amonijak-voda koja je koristila solarnu energiju i prirodni plin. Utvrđeno je da je COP sustava između 1,44 i 1,66, s temperaturom isparavanja između 4,3 °C i 11,1 °C. Osim toga, izgradili su i matematički model sustava i otkrili da se operativni troškovi ovog sustava mogu smanjiti ugradnjom dodatnih solarnih kolektora. Li i sur. [3] predložili su sustav apsorpcijske dizalice topline sa zrakom kao izvorom topline za zagrijavanje vode i uspostavili jednostavan model temeljen na zakonima održanja mase i energije. Wu i suradnici [4] istražili su performanse apsorpcijske dizalice topline sa zrakom kao izvorom topline instalirane u jako hladnim područjima pomoću energetskih modela i odredili njezin postotak uštede energije, učinkovitost i potrošnju u distribuciji. Christopher i suradnici [5] razvili su termodinamički model za plinsku apsorpcijsku dizalicu topline amonijak-voda, te predložili optimalnu konfiguraciju za zagrijavanje vode. Lu i sur. [6] su projektirali i predložili sustav apsorpcijske dizalice topline amonijak-voda koji bi mogao apsorbirati toplinu iz okoliša i ispušnih plinova. Njihovi su eksperimentalni rezultati pokazali da bi pri temperaturi isparavanja od 0 °C ova dizalica topline mogla dati toplinski tok od 30 kW s COPom 1,66, a bila je energetski učinkovitija od konvencionalnih rješenja daljinskog grijanja.

U ovom se radu analizira potrošnja energije apsorpcijske dizalice topline dobivena na temelju mjerenja i uspoređuje s potrošnjom energije nisko-temperaturnog kotla u zimskom periodu i kompresijskom dizalicom topline u ljetnom periodu godine.

## 2. Princip rada apsorpcijske dizalice topline

Radne tvari koje se koriste u apsorpcijskim dizalicama topline su dvojne smjese, najčešće amonijak-voda ( $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ ) i voda-litibromid ( $\text{H}_2\text{O-LiBr}$ ) odnosno kada se apsorpcijska dizalica topline koristi i za grijanje i hlađenje prostora onda je radna tvar amonijak-voda. Shema najjednostavnije apsorpcijske dizalice topline prikazana je na slici 1. Kapljevita dvojna smjesa isparuje u kuhalu dovođenjem topline (u ovom slučaju toplina nastala izgaranjem plina) i pri tome nastaje čista para sudionika iz dvojne mješavine amonijak-voda koji lakše vrije odnosno u ovom slučaju nastaje para amonijaka ( $\text{NH}_3$ ). Tlak pare amonijaka mora biti takav da se u kondenzatoru para amonijaka može ukapljiti. Kada je dizalica topline u funkciji grijanja prostora tada se toplina, koja se odvodi u kondenzatoru, predaje ogrjevnoj vodi kojom se zagrijava prostor, a kada je u funkciji hlađenja prostora tada se toplina predaje zraku. Ukapljeni amonijak prigušuje se u prigušnom ventilu *RV I* na niži tlak, pri čemu se snižava temperatura vrenja. Snižavanjem temperature vrenja stvorena je mogućnost da kapljevina može ispariti pri nižoj temperaturi primajući toplinu. Toplina koju prima amonijak u isparivaču kada je dizalica topline u funkciji grijanja preuzima se od zraka, a kada je u funkciji hlađenja preuzima od rashladne vode kojom se hladi prostor. Proces koji se događaju u kondenzatoru, prigušnom ventilu i isparivaču podudaraju se s procesima koji se događaju u kompresijskoj dizalici topline zrak-voda. Bitna razlika između apsorpcijske i kompresijske dizalice topline je u načinu tlačenja s isparivačkog na kondenzatorski tlak. U kompresijskoj dizalici topline proces tlačenja obavlja kompresor, a kod apsorpcijske dizalice topline "toplinski kompresor" koji se sastoji od apsorbera, pumpe, kuhala i prigušnog ventila *RV II*. Nakon isparivača hladna para amonijak odvodi se u apsorber gdje se apsorbira u vodu uz oslobađanje topline odnosno odvođenje topline. Nakon toga se otopina odnosno smjesa tlači na kondenzatorski tlak pumpom i odlazi u kuhalo gdje isparuje amonijak, a ostatak otopine odnosno siromašna smjesa se prigušnim ventilom *RV II* prigušuje na isparivački tlak.



Slika 1. Shema apsorpcijske dizalice topline [7]

### 3. Opis termotehničkog sustava

Za potrebe grijanja i hlađenje poslovne zgrade u Slavonskom Brodu koja se sastoji od tri etaže, korisne površine 720 m<sup>2</sup> izgrađen je termotehnički sustav koji kao izvor ogrjevne i rashladne energije koristi apsorpcijsku dizalicu topline zrak - voda pogonjenu prirodnim plinom. Dizalica topline je instalirana na ravnom dijelu krova na drugom katu. Sastoji se od tri kaskadno povezana modula koji su kompletno hidraulički i električki povezani na zajedničkom čeličnom postolju. Dizalica je instalirana na otvorenom te zrak za izgaranje uzima direktno iz okolne atmosfere, a produkte izgaranja odvodi direktno u atmosferu. Snaga grijanja iznosi 105 kW pri vanjskoj temperaturi zraka 7 °C, a snaga hlađenja 52,5 kW pri vanjskoj temperaturi zraka 35 °C. Za grijanje i hlađenje svih prostorija zgrade ugrađeni su ventilokonvektori kroz koje struji voda, zimi temperature 55/45 °C, a ljeti 7/12°C. Sustav radi radnim danima od 6 h do 15 h. Sezona grijanja traje od 15. listopada do 15. travnja, a sezona hlađenje do 15. travnja do 15. listopada.

### 4. Analiza potrošnje energije

U tablicama 1. i 2. dani su mjereni podaci o potrošnji energije plina po mjesecima za sezonu grijanja i sezonu hlađenja za tri godine za koje je izvršeno mjerenje. Potrošnja ovisi o meteorološkim uvjetima odnosno s obzirom na vanjsku temperaturu zraka potrošnja se razlikuje ovisno o godini i mjesecu mjerenja.





**Tablica 1.** Potrošnja energije plina za svaki mjesec sezone grijanja [kWh]

	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Listopad	Studeni	Prosinac
2018.	5444	7835	6483	728	1973	5379	8101
2019.	7971	6305	2954	1885	2473	3818	6524
2020.	8431	5458	5021	2579	2219	4509	6788

**Tablica 2.** Potrošnja energije plina za svaki mjesec sezone hlađenja [kWh]

	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad
2018.	373	3203	3030	2726	5734	2650	208
2019.	277	1174	4736	6826	6638	3647	371
2020.	430	574	915	6048	5752	3742	250

Na osnovi izmjerenih satnih temperatura zraka za grad Slavonski Brod i mjerenih podataka proizvođača dizalice topline o faktoru grijanja (COP) i faktoru hlađenja (EER) određeni su mjesečni faktori grijanja i hlađenja. Državni hidrometeorološki zavod vrši mjerenja temperature tri puta dnevno i to u 7, 14 i 21 sat. Kako sustav radi od 6 sati do 15 sati satne temperature koje nisu određene mjerenjem su dobivene linearnom interpolacijom. U tablicama 3. i 4. dani su mjesečni faktori grijanja za svaki mjesec sezone grijanja i faktori hlađenja za svaki mjesec sezone hlađenja. Parametar o kojem ovise faktori, ako sustav radi s konstantnom temperaturom polaza i povrata prilikom grijanja i hlađenja, je vanjska temperatura. Iz tablica je vidljivo kako se mjesečni faktor grijanja kreće od 1,2265, u hladnijim mjesecima, do 1,4153, u toplijim mjesecima, dok se faktor hlađenja kreće od 0,7174, za toplije mjesece u sezoni hlađenja, do 0,7313 za hladnije mjesece u sezoni hlađenja.

**Tablica 3.** Mjesečni faktori grijanja apsorpcijske dizalice topline za svaki mjesec sezone grijanja

	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Listopad	Studeni	Prosinac
2018.	1,2972	1,2265	1,2923	1,4153	1,4036	1,3365	1,2451
2019.	1,2274	1,2908	1,3458	1,3867	1,3852	1,3977	1,2905
2020.	1,2291	1,3376	1,3316	1,3598	1,3921	1,3387	1,2893

**Tablica 4.** Mjesečni faktori hlađenja apsorpcijske dizalice topline za svaki mjesec sezone hlađenja

	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad
2018.	0,7260	0,7269	0,7235	0,7245	0,7174	0,7238	0,7313
2019.	0,7258	0,7306	0,7209	0,7222	0,7175	0,7253	0,7289
2020.	0,7285	0,7298	0,7242	0,7207	0,7197	0,7245	0,7272

Pomoću izračunatih faktora grijanja i hlađenja te izmjerene potrošnje energije plina u sezoni grijanja i sezoni hlađenja određena je potrebna energija za grijanje i hlađenje poslovne



zgrade koja je bitna za daljnju analizu potrošnje energenata kada sustav ima neki drugi izvor toplinske odnosno rashladne energije.

**Tablica 5.** Potrebna energija za grijanje zgrade za svaki mjesec sezone grijanja [kWh]

	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Listopad	Studeni	Prosinac
2018.	7062	9610	8378	1030	2770	7189	10086
2019.	9783	8139	3975	2614	3426	5336	8419
2020.	10362	7300	6686	3507	3089	6036	8752

**Tablica 6.** Potrebna energija za hlađenje zgrade za svaki mjesec sezone hlađenje [kWh]

	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad
2018.	271	2328	2192	1975	4113	1318	152
2019.	201	858	3414	4930	4763	2645	270
2020.	313	419	663	4359	4140	2711	182

Kao alternativa apsorpcijskoj dizalici topline u sezoni grijanje promatran je kondenzacijski plinski kotao približno iste snage kao i dizalica topline. Iz uputa proizvođača određena je efikasnost kotla koja ovisi o faktoru opterećenja kotla i temperaturi polaza i povrata ogrjevnog medija. Faktor opterećenja se iskazuje kao odnos trenutne angažirane snage kotla i maksimalne odnosno nazivne snage kotla. Trenutna angažirana snaga ovisi o potrebama zgrade za toplinskom energijom u određenom vremenskom trenutku odnosno uvjetovana je toplinskim gubicima zgrade. Toplinski gubici zgrade ovise o vanjskoj temperaturi zraka. Pomoću mjerenih satnih vanjskih temperatura zraka za Slavonski Brod i modela ponašanja zgrade određena je trenutna angažirana snaga plinskog kondenzacijskog kotla za svaki sat unutar tri godine. Na osnovi dobivenih faktora opterećenja i konstantnih temperatura polaza (55 °C) i povrata (45 °C) određena je učinkovitost kotla. Učinkovitost kotla za svaki mjesec u sezoni grijanja dana je u tablici 7. Iz tablice je vidljivo kako učinkovitost kotla iznosi od 0,9899 do 0,9920. Razlog tomu je što na učinkovitost kotla faktor opterećenja neznatno utječe za razliku od temperature polaza i povrata ogrjevnog medija, a koje su u ovom slučaju konstantne.

**Tablica 7.** Učinkovitost plinskog kondenzacijskog kotla za svaki mjesec sezone grijanja

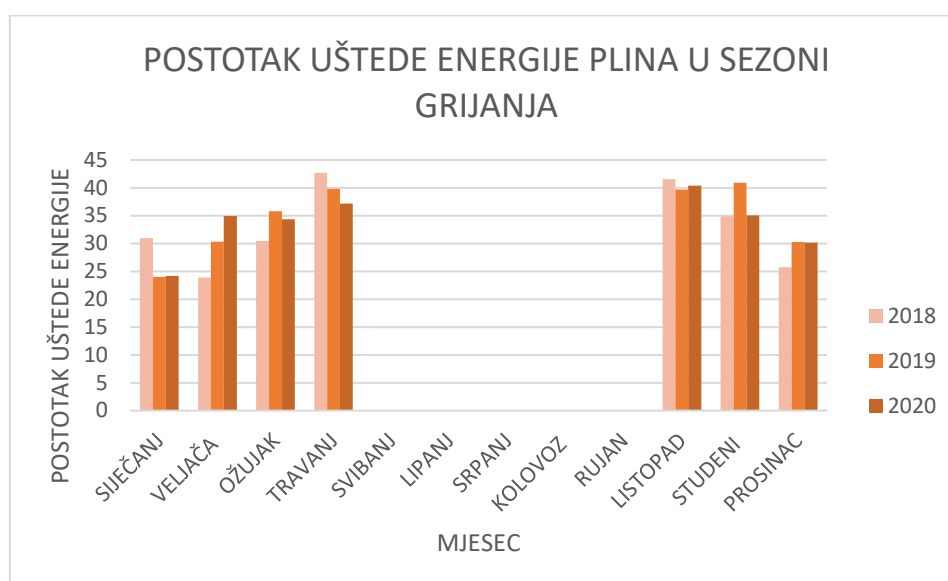
	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Listopad	Studeni	Prosinac
2018.	0,9907	0,9899	0,9906	0,9920	0,9918	0,9912	0,9901
2019.	0,9899	0,9906	0,9912	0,9917	0,9915	0,9919	0,9906
2020.	0,9899	0,9911	0,9911	0,9913	0,9918	0,9912	0,9907

Na osnovi izračunatih učinkovitosti plinskog kondenzacijskog kotla i potrebne energije za grijanje zgrade određena je potrošnja energije prirodnog plina koju bi trošio plinski kondenzacijski kotao kada bi se koristio kao izvor toplinske energije. U tablici 8. dana je potrošnja energije po mjesecima.

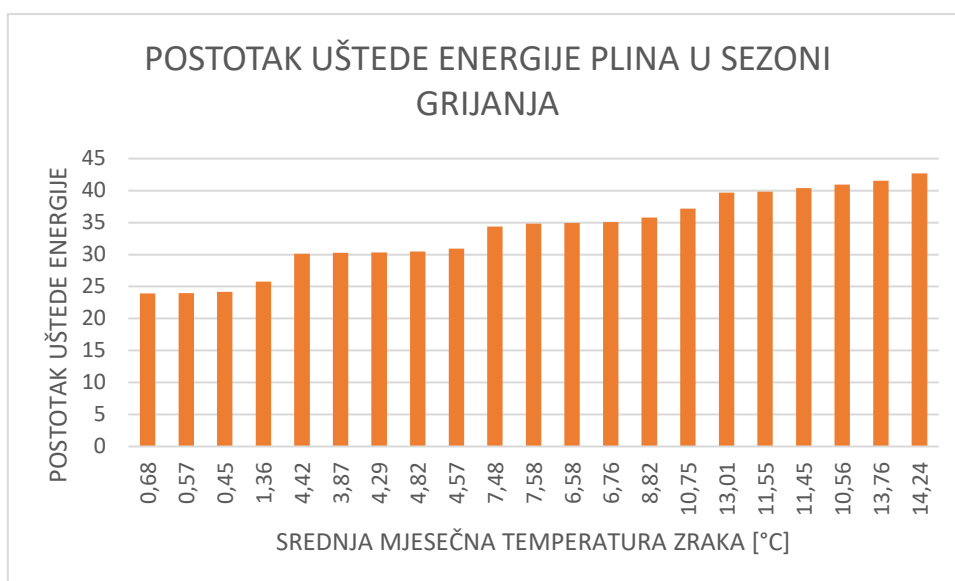
**Tablica 8.** Potrošnja energije plinskog kondenzacijskog kotla za svaki mjesec sezone grijanja [kWh]

	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Listopad	Studeni	Prosinac
2018.	5444	7835	6483	728	1973	5379	8101
2019.	7971	6305	2954	1885	2473	3818	6524
2020.	8431	5458	5021	2579	2219	4509	6788

Na slici 2. dan je dijagramski prikaz postotka uštede energije apsorpcijske dizalice topline u odnosu na plinski kondenzacijski kotao u sezoni grijanja. Vidljivo je kako je postotak uštede u hladnijim mjesecima manji nego u toplijim što se još jasnije vidi na slici 3., na kojoj je prikazan postotak uštede energije apsorpcijske dizalice topline u odnosu na plinski kondenzacijski kotao u ovisnosti o srednjoj mjesečnoj temperaturi zraka. Razlog veće uštede pri višoj temperaturi zraka je u tome što COP apsorpcijske dizalice topline znatno ovisi o vanjskoj temperaturi zraka dok učinkovitost plinskog kondenzacijskog kotla ovisi vrlo malo.



**Slika 2.** Prikaz postotka uštede energije apsorpcijske dizalice topline u odnosu na plinski kondenzacijski kotao u sezoni grijanja



**Slika 3.** Prikaz postotka uštede energije apsorpcijske dizalice topline u odnosu na plinski kondenzacijski kotao u sezoni grijanja u ovisnosti o srednjoj mjesečnoj temperaturi zraka

Jedinstveni uređaj kojim se može zamijeniti apsorpcijska dizalica topline i u sezoni grijanja i u sezoni hlađenja je kompresijska dizalica topline zrak-voda koja kao energent koristi električnu energiju. Za potrebe rada odabrana je kompresijska dizalica topline približno jednake snage i u grijanju i u hlađenju kao što je snaga instalirane apsorpcijske dizalice topline. Potrošnja energije kompresijske dizalice topline ovisi o faktoru grijanja odnosno faktoru hlađenja. Vrijednosti faktora grijanja i faktora hlađenja ovise o vanjskoj temperaturi zraka i temperaturi polaza i povrata isto kao i kod apsorpcijske dizalice topline. Sukladno navedenom način na koji su određeni faktora grijanja (COP) i faktor hlađenja (EER) te potrošnja električne energije isti je kao kod apsorpcijske dizalice topline. U tablicama 9. do 12. dane su vrijednosti faktora grijanja, faktora hlađenja i potrošnje električne energije za svaki mjesec u sezoni grijanja odnosno svaki mjesec u sezoni hlađenja.

**Tablica 9.** Mjesečni faktori grijanja kompresijske dizalice topline za mjesece sezone grijanja

	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Listopad	Studeni	Prosinac
2018.	1,2972	1,2265	1,2923	1,4153	1,4036	1,3365	1,2451
2019.	1,2274	1,2908	1,3458	1,3867	1,3852	1,3977	1,2905
2020.	1,2291	1,3376	1,3316	1,3598	1,3921	1,3387	1,2893

**Tablica 10.** Mjesečni faktori hlađenja kompresijske dizalice topline za mjesece sezone hlađenja

	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad
2018.	0,7260	0,7269	0,7235	0,7245	0,7174	0,7238	0,7313
2019.	0,7258	0,7306	0,7209	0,7222	0,7175	0,7253	0,7289
2020.	0,7285	0,7298	0,7242	0,7207	0,7197	0,7245	0,7272

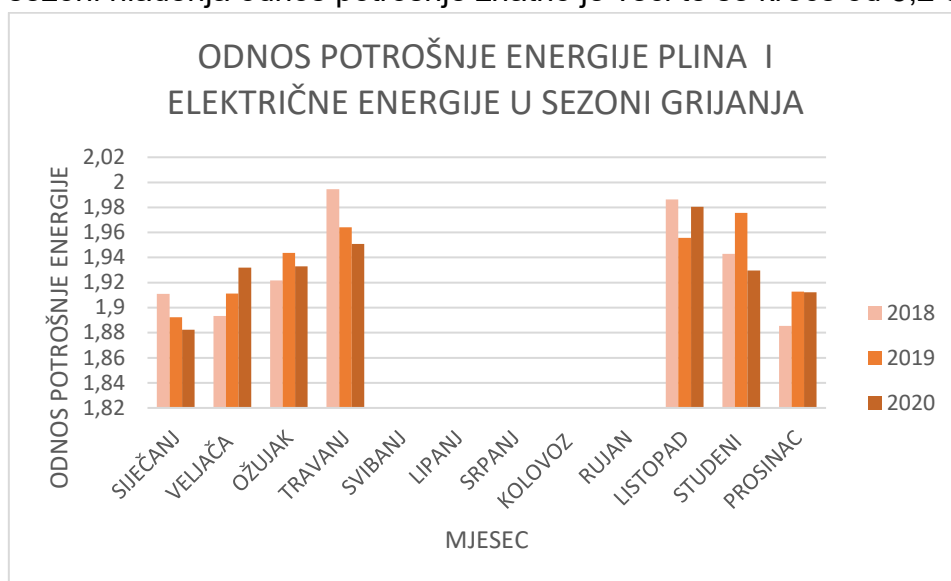
**Tablica 11.** Potrošnja električne energije za mjesec sezone grijanja [kWh]

	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Listopad	Studeni	Prosinac
2018.	5444	7835	6483	728	1973	5379	8101
2019.	7971	6305	2954	1885	2473	3818	6524
2020.	8431	5458	5021	2579	2219	4509	6788

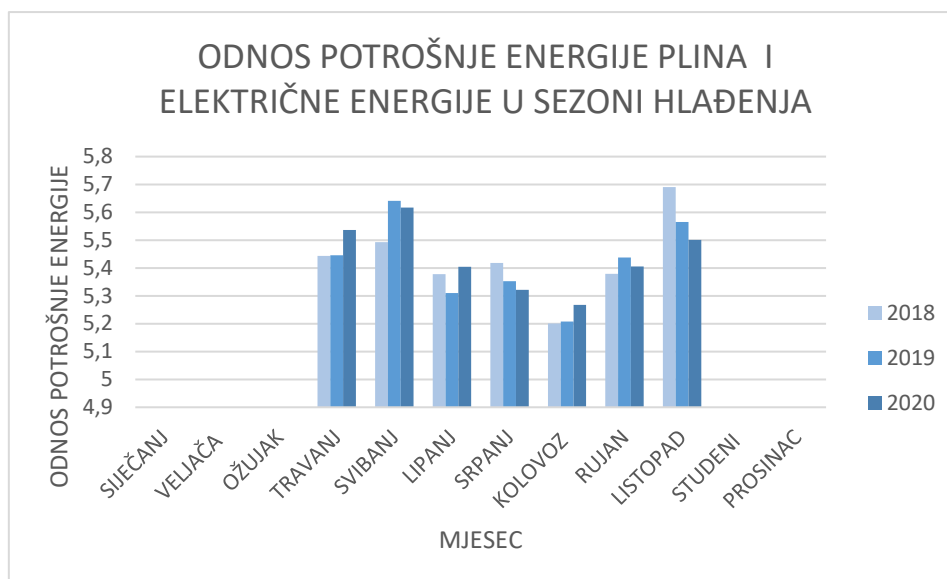
**Tablica 12.** Potrošnja električne energije za mjesec sezone hlađenja [kWh]

	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad
2018.	373	3203	3030	2726	5734	2650	208
2019.	277	1174	4736	6826	6638	3647	371
2020.	430	574	915	6048	5752	3742	250

Usporedba odnosno odnos potrošnje energije plina i električne energije dijagramski je prikazan na slikama 4. i 5. Vidljivo je kako apsorpcijska dizalica topline troši 1,88 do 1,99 puta više energije plina za grijanje zgrade nego kompresijska dizalica topline električne energije. U sezoni hlađenja odnos potrošnje znatno je veći te se kreće od 5,2 do 5,9.



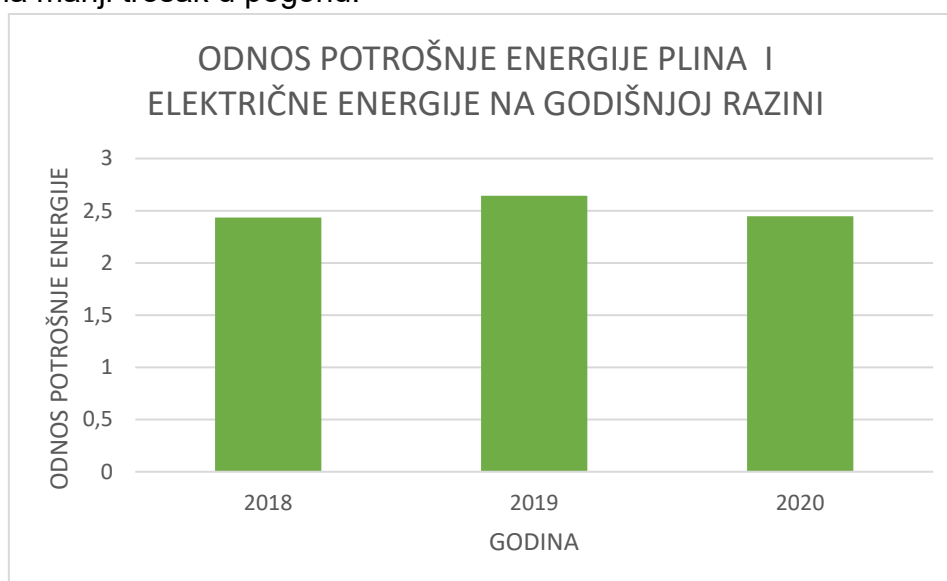
**Slika 4.** Prikaz odnosa potrošnje energije plina i električne energije u sezoni grijanja



**Slika 5.** Prikaz odnosa potrošnje energije plina i električne energije u sezoni hlađenja

Iz gore navedenog može se zaključiti kako je apsorpcijska dizalica topline povoljnija u sezoni grijanja nego u sezoni hlađenja. Bitna prednost apsorpcijske dizalice topline u odnosu na kompresijsku je što pri niskom temperaturama vanjskog zraka nema problema u pogonu odnosno apsorpcijska dizalica topline jamči siguran pogon i na temperaturama do  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  za razliku od kompresijske čiji se minimalna temperatura u pogonu kreće do  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Odnos potrošnje energije plina i električne energije na godišnjoj razini prikazan je na slici 6. Iz dijagrama je vidljivo kako se odnos potrošnje energije plina apsorpcijske dizalice topline i električne energije kompresijske dizalice topline kreće 2,43 do 2,64. Uzimajući u obzir cijenu energenata, to jest cijenu električne energije od 0,8064 kn/kWh i cijenu plinu od 0,2529 kn/kWh, apsorpcijska dizalica topline je na godišnjoj razini povoljnije rješenje odnosno ima manji trošak u pogonu.



**Slika 6.** Prikaz odnosa potrošnje energije plina apsorpcijske dizalice topline i električne energije kompresijske dizalice topline na godišnjoj razini



## 5. Zaključak

Provedenom analizom potrošnje termotehničkog sustava s apsorpcijskom dizalicom topline utvrđeno je kako je apsorpcijska dizalica najučinkovitija u toplijim mjesecima sezone grijanja i hladnijim mjesecima sezone hlađenja. U sezoni grijanja, kao alternativa promatran je plinski kondenzacijski kotao te je utvrđeno kako je energetski znatno nepovoljnije rješenje odnosno ima znatno veću potrošnju plina u odnosu na apsorpcijsku dizalicu topline. Jedinstveni uređaj kojim se može zamijeniti apsorpcijska dizalica topline i u sezoni grijanja i u sezoni hlađenja je kompresijska dizalica topline zrak-voda koja kao energent koristi električnu energiju. Iz provedene analize zaključuje se kako je apsorpcijska dizalica topline povoljnija u sezoni grijanja nego u sezoni hlađenja. Kada se promatra cjelokupna godina odnosno kada se uzme u obzir i sezona grijanja i sezona hlađenja apsorpcijska dizalica topline je povoljnije rješenje po pitanju troškova u pogonu i sigurnosti pogona. Uzimajući u obzir cjelokupnu provedenu analizu zaključak je da je apsorpcijska dizalica topline energetski najučinkovitija, ima najmanje troškove pogona i najbolje je rješenje kada se uzme u obzir grijanje i hlađenje.

## 6. Literatura

- [1] Wu, Wei; Wang, Baolong; You, Tian; Shi, Wenxing; Li, Xianting. Configurations of solar air source absorption heat pump and comparisons with conventional solar heating // *Applied Thermal Engineering*, 141(2018), 630–641.
- [2] Dai, Enqian; Jia, Teng; Dai, Yanjun. Theoretical and experimental investigation on a GAX-Based ammonia-water absorption heat pump driven by parabolic trough solar collector // *Solar Energy* 197(2020), 498–510.
- [3] Li, Xianting; Wu, Wei; Zhang, Xiaoling; Shi, Wenxing; Wang, Baolong. Energy saving potential of low temperature hot water system based on air source absorption heat pump // *Applied Thermal Engineering*, 48(2012), 317–324.
- [4] Wu, Wei; Shi, Wenxing; Wang, Baolong; Li, Xianting. A new heating system based on coupled air source absorption heat pump for cold regions: Energy saving analysis // *Energy Conversion and Management*, 76(2013), 811–817.
- [5] Keinath, Christopher M; Garimella, Srinivas; Garrabrant, Michael A. Modeling of an ammonia–water absorption heat pump water heater for residential applications // *International Journal of Refrigeration*, 83(2017), 39–50.
- [6] Lu, Ding; Bai, Yin; Zhao, Yanxing; et al. Experimental investigations of an absorption heat pump prototype with intermediate process for residential district heating // *Energy Conversion and Management*, 204(2020), 112-123.
- [7] Bošnjaković, Fran. Nauka o toplini – III dio. Zagreb: Tehnička knjiga, 1986.

## **Organic Rankine Cycles for geothermal energy use**

**D. Cirimotić<sup>1,\*</sup>, V. Filipan<sup>1</sup>, I. Sutlović<sup>1</sup>, Z. Kuntić<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering & Technology, Zagreb, Croatia

<sup>2</sup> Elektroprojekt, Zagreb, Croatia

\* Corresponding author. E-mail: [david.cirimotic@gmail.com](mailto:david.cirimotic@gmail.com)

### **Abstract**

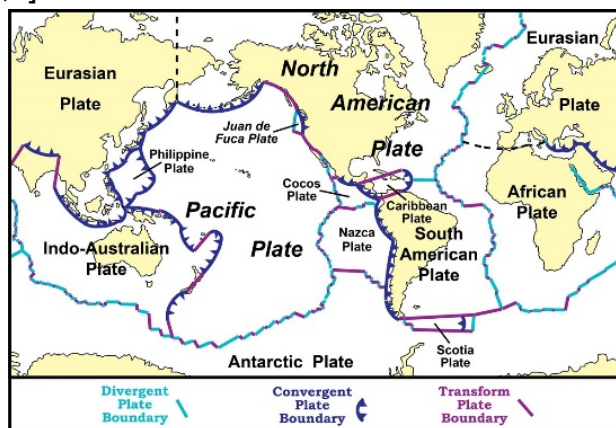
Geothermal energy is one of the forms of renewable energy sources. It has been used since ancient civilizations where hot water from the Earth's was used for medical purposes, and today, due to the progress of human knowledge, it is used for various non-electrical and electrical purposes, which will be discussed in more details in this paper. Geothermal energy originates from the earth's core where large amounts of heat are released by the radioactive decay of heavy atoms. This heat reaches the earth's crust in the form of hot water found in various geological formations. Water in geothermal formations is most often in a liquid state because it is located at high pressures. The utilization of geothermal energy depends on the physical properties of the geothermal source and the purpose for which it is intended. Low-temperature sources are most often used for space heating, in agriculture and for medical treatments, while medium-temperature and high-temperature sources are mostly used for electricity generation. The temperature of geothermal water in some springs can reach over 150°C, so the theoretical utilization factor of the Carnot process can be up to 30%. The efficiency of real processes is even lower, so these plants are often economically viable only at an incentive price, despite the fact that geothermal energy is a renewable source and has no fuel costs. One way to harness geothermal energy for energy purposes is to apply the Organic Rankine cycle (ORC). For such temperature ratios, organic media show better thermodynamic properties than water as conventional working media in steam turbine processes. This paper will include a comparison of several organic compounds for the ORC and show which of them would be the most suitable for one specific geothermal source in Croatia.

**Key words:** geothermal energy, ORC process

### **1. Introduction**

Geothermal energy is the energy contained below the Earth's surface. This energy is not evenly distributed at the depth at which it is located or around the Earth. The interior of the Earth is divided into crust, mantle and core. The crust is the shallowest part, the core the deepest part, and the mantle is located between the crust and the core. The Earth's crust is divided into oceanic and continental crusts, the mantle into upper, transitional, and lower mantle, and the core into outer and inner core. This division of the Earth's interior refers to

the composition of a particular layer and is quite brief to explain why certain geographical regions are more suitable for the exploitation of geothermal energy. This is where the division of the Earth's interior according to the mechanical properties of each layer jumps in, of which the upper two mechanical layers are the most important for the theory of plate tectonics. These are the rigid lithosphere, which includes the crust and the upper part of the mantle, and the asthenosphere, which consists of the transition and lower part of the mantle and has much higher temperatures than the lithosphere and is more easily deformed because it is partially molten. According to the theory of plate tectonics, the lithosphere is not a complete shell, but is broken into several lithospheric (tectonic) plates of different dimensions that slide along the asthenosphere, relative one plate to another. The plates can move away from each other, compress or shear next to each other, and according to their movements the boundaries of the plates can be convergent, divergent or transformed boundary (Figure 1), [1,2].



**Figure 1.** Tectonic plate boundaries [3]

If the boundary is convergent, then one plate is compacted against another and mountain ranges such as the Himalayas may form or one plate may be subducted. Subduction most commonly occurs when the oceanic crust of one plate and the continental crust of another plate collide. The oceanic crust is denser than the continental crust, so it is the one that gets subducted. In doing so, the material of the subducted plate penetrates into the asthenosphere that consumes it. The subduction of the plates provides an opportunity for magma to penetrate from the asthenosphere into the lithosphere through various cracks. In this way, the lithosphere heats up more along the convergent boundary, and the entire boundary is marked by volcanic and seismic activity. The most famous example of a convergent border is the Pacific Ring of Fire, [1,2].

The amount of energy contained in the Earth's interior is so large that geothermal energy is therefore considered as renewable and sustainable form of energy. There are two main sources of geothermal energy: 1) the heat that comes from the formation of the planet Earth and 2) the heat that is released by the decay of radioactive isotopes. The radioactive material is found predominantly in the continental crust. In order to use geothermal energy, it is necessary to find a location with a favourable geothermal gradient. Geothermal gradient is

a quantity that tells how much the temperature of the Earth increases with depth and its measuring unit is °C/m, °C/100 m or °C/km, [1,2].

Currently, only geothermal energy from hydrothermal reservoirs can be economically exploited. According to Benderitter and Cormy, hydrothermal reservoirs are divided according to temperature into high-temperature (over 200°C), medium-temperature (between 200°C and 100°C) and low-temperature reservoirs (less than 100°C). According to the state of geothermal water, deposits are divided into those dominated by liquid and those dominated by steam. The state of geothermal water is determined by the pressure and temperature in the reservoir, so that although the water temperature is above the boiling point at atmospheric pressure, the water in the reservoir will be in a liquid state due to the high pressure. Liquid-dominated systems have temperatures up to 225°C, geothermal water is liquid or wet steam with a liquid continuous phase and they are most common. In vapour-dominated systems, temperatures are above 225°C, with the geothermal fluid being in an overheated area or in a wet area where the steam is a continuous phase. For sake of electricity production, high-temperature and medium-temperature reservoirs are used, although there is a potential for low-temperature reservoirs to be used likewise. Low-temperature reservoirs are traditionally used for non-electrical purposes, e.g. in agronomy for heating greenhouses, for heating residential areas, in the wood industry and the drying in paper industry, for the needs of spas and baths, [1,2,4,5].

## 2. Geothermal power plants

Geothermal power plants can be divided into three basic types: 1) dry steam plants, 2) flash plants (single, double or triple) and 3) binary plants (ORC, Kalina). The type of geothermal power plant is determined by the thermodynamic state of the geothermal fluid. Dry steam power plants are not common because they require the geothermal fluid in the reservoir to be in a gaseous state (vapour-dominant systems) which are characterized by extremely high temperatures which is a rarity. Flash power plants are used when the geothermal fluid is from water-dominant reservoirs where the geothermal fluid is at high temperature and pressure but in a state of wet steam. Therefore, the geothermal fluid evaporates after leaving the production well due to the lower pressure in the steam separator. Binary power plants use a secondary fluid that can be a pure substance or a mixture, and today, there are plants with ORC and Kalina processes. There is greater quantity of the binary geothermal plants than the flash plants, but flash plants produce more power. ORC uses pure organic matter as the working fluid. There are about a hundred organic working fluids, of which propane, isobutane and isopentane are the most common, which is why ORC is much more flexible in terms of temperature range compared to the Kalina process that uses ammonia-water mixture. Also, ORC use geothermal fluid from water-dominant reservoirs (liquid water or wet steam) which are the most common and fall into the category of medium-temperature and low-temperature geothermal resources. ORC is performed by isentropic compression followed by isobaric heating (vaporization), isentropic expansion and isobaric cooling (condensation) as can be seen in Figure 2, [2,4,5].

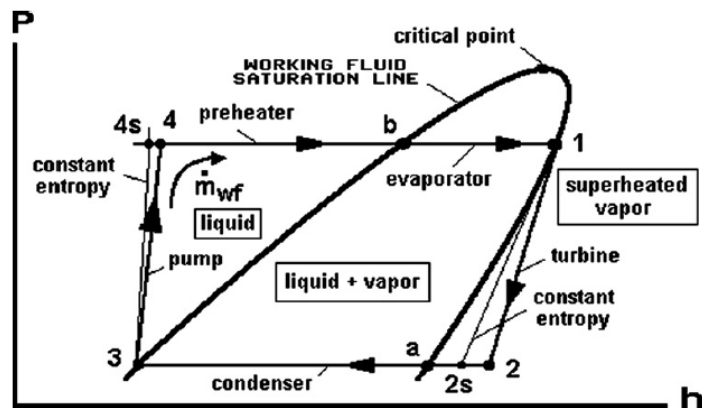


Figure 2. p-h diagram for ORC [5]

### 3. ORC and working fluids

The organic Rankine cycle (ORC) is a thermodynamic circular process by which electricity can be obtained from lower temperature heat sources. Heat sources can be geothermal fluid, waste heat recovery (WHR), solar energy or biomass, i.e. all those sources where the temperature and thermal energy of the source are not sufficient to economically apply the traditional Rankine cycle with steam. The ORC equipment used is mostly the same as in steam Rankine cycle and it consists of an expander (turbine), two heat exchangers (evaporator and condenser), a pump, a piping system and an electric generator. If the expansion is not carried out to the wet area, i.e. to the curve of dry saturated steam, it is still necessary to install a regenerator to reduce heat losses. The design of a power plant is significantly influenced by the type of geothermal source (characteristics of the geothermal fluid), but the choice of working fluid is equally important. Organic working fluid can be wet (negative slope of the saturated vapour curve), isentropic (the saturation curve is almost perpendicular to the x-axis), or dry (positive slope of the dry saturated vapour curve). The ORC can work as subcritical, transcritical, or supercritical cycle. In the subcritical process, the pressures are below the critical pressure, in the transcritical process the heat supply is at a pressure higher than the critical, and the heat dissipation at a lower than critical, and in the supercritical process the whole process is at pressures higher than the critical pressure. In real ORCs, compression and expansion are not isentropic, and neither is heat input and output ideal, so energy loss is inevitable. There are also losses when converting mechanical to electrical energy. The advantage of organic working fluids over water is that they can utilize more heat from a geothermal fluid because they have less latent heat of vaporization and a lower boiling point than water. Therefore, the total utilization of the process is higher for organic working fluids than water at heat sources of lower temperatures. The expansion of organic working fluids in most cases ends up in an overheated area which prevents erosion in the turbine which is why it has a longer service life and cheaper maintenance. Also because the enthalpy drop is much smaller, it is possible to use single stage turbines which are cheaper. BWR is higher in organic working fluids because they require much higher mass flow rates in the subcooled area and the pump consumes more work to achieve



maximum pressure in the process, but the size of an ORC turbine is not larger than a steam turbine because the volume of water vapour is far greater than the volume of organic working fluids. This makes ORC turbine more compact and cheaper. There is generally no need to overheat the organic working substances because their saturated steam curve is mostly vertical or with a positive slope so that at the turbine output they will definitely end up overheated so it will not harm the turbine. The pressure of organic fluids is always above atmospheric, and the leakage of the working fluid into the atmosphere is possible, with negative safety and ecology effects because some organic working fluids are flammable or toxic, and with high ODP or GWP. Desirable characteristics of working fluids are good thermodynamic properties, positive or isentropic saturated vapour curve, chemical and thermal stability, and good transfer properties (low viscosity and high heat transfer coefficient). They also should be cheap, affordable, non-toxic, non-flammable, and with low GWP and ODP. Unfortunately, organic working fluids have poor transfer properties so heat exchangers must be large. The most used heat exchangers are shell and tube, where geothermal water flows through the pipes (for easier cleaning due to scaling or corrosion), and the working fluid flows through the shell if corrosion and scaling inhibitors are not used, [6-8].

#### 4. Geothermal energy in the Republic of Croatia (RH)

The RH is relatively close to the convergent border of the Eurasian and African tectonic plates. Therefore, there are geothermal springs throughout the RH, and they can be divided into three major regions: 1) Pannonian area, 2) the area of central Croatia and 3) the Dinarides. The greatest geothermal potential has Pannonian area which includes Posavina, Podravina and Slavonia. The average value of the geothermal gradient of the Pannonian region is 0,049°C/m, which is higher than the European average (0,03°C/m), and the thermal flux is 76 mW/m<sup>2</sup>. On the other hand, the Dinarides region has the lowest geothermal potential with an average geothermal gradient value of 0,018°C/m and a thermal flux of 29 mW/m<sup>2</sup>. There are 10 geothermal fields in the RH, namely geothermal field Zagreb, geothermal field Bizovac, geothermal field Ernestinovo, geothermal field Lunjkovec-Kutnjak, geothermal field Ferdinandovac, geothermal field Velika Ciglana, geothermal field Mandarinci, geothermal field Rečica, geothermal field Babina Greda, and geothermal field Topusko. The most important deposits are those with the highest geothermal fluid temperature such as Molve (180°C), Velika Ciglana (170°C), Patkovac (150°C), Lunjkovec - Kutnjak (140°C) and Beničanci (123°C), [9-11].

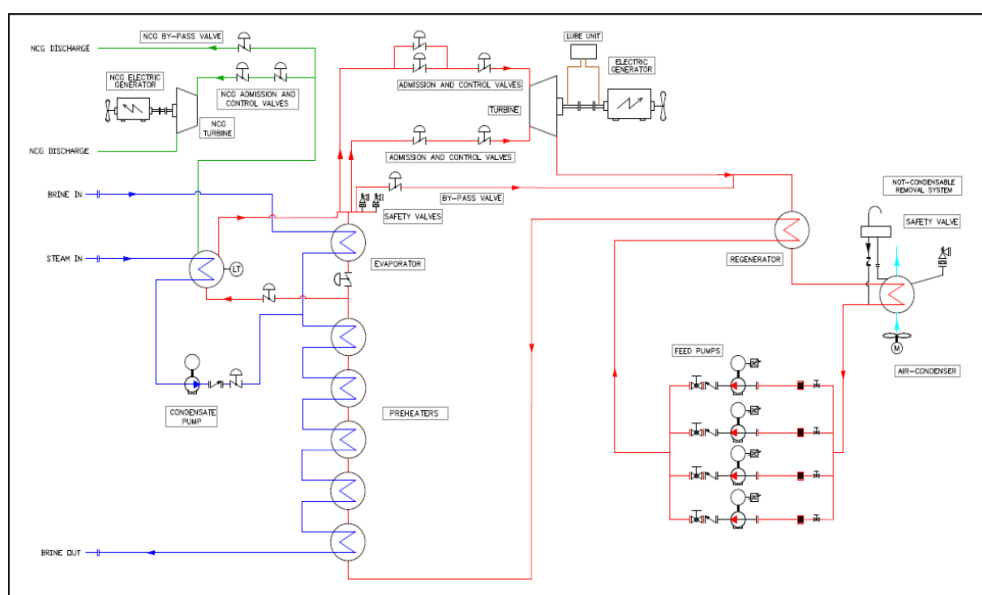
#### 5. Geothermal power plant Velika 1

Geothermal power plant Velika 1 is the only geothermal power plant in the RH. It works with the binary organic Rankine cycle and is the largest of this kind in Europe. It is situated in a place Ciglana, which is located about 10 km away from Bjelovar. This area belongs to the geothermal field Velika Ciglana. The project of the power plant was financed by domestic and foreign investors, and the equipment was designed by the Italian company Turboden. The first tests and drilling in area of the Velika Ciglana geothermal field were conducted by



INA-Naftaplin in the 1990s in search of fossil fuels, but they found geothermal water. These existing wells have financially facilitated the construction of the Velika 1 geothermal power plant, which has been in operation since 2019. Today, the power plant produces exclusively electricity and supplies it to the city of Bjelovar and its surroundings. Although Velika 1 has a much larger capacity, it has a contract for the purchase of electricity with HROTE at 10 MW, which means that it can cover about 29 000 households, according to the average energy consumption in the RH. Geothermal fluid is extracted from a depth of about 2500 m and has temperature of about 170°C and a pressure of 35 bar, so this geothermal source belongs to the medium-temperature geothermal resources. The temperature gradient is 0,062°C/m. The working fluid is isobutane (R600a, critical temperature is 134,66°C at critical pressure 36,29 bar), [9-14].

The turbine is designed as a five-stage axial turbine and can develop a power of 20 MW and has an isentropic efficiency around 90% depending on external conditions. The turbine rotates at 1500 rpm and there is no need to use a reduction gear, [14]. Process description for geothermal power plant Velika 1 is given according to P&I diagram (Figure 3):



**Figure 3.** P&I diagram for geothermal power plant Velika 1 [14]

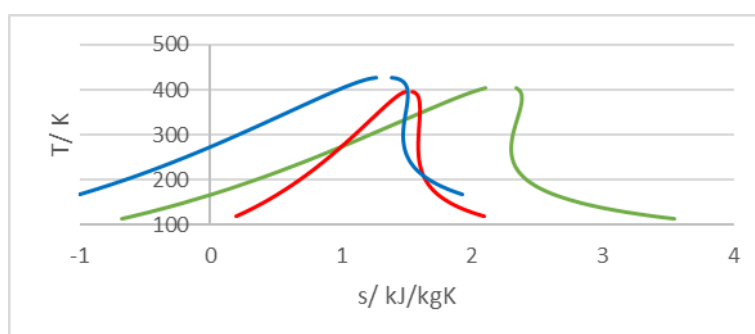
Primary circulation (geothermal fluid): the geothermal fluid is extracted from two wells (VC-1 and VC-1A) and flows to separator 1 where the liquid phase and the gaseous phase (mixture of steam and non-condensing gasses-NCG) are separated. The liquid phase is discharged to the evaporator 1 where the working fluid (isobutane) evaporates, while the vapour phase is led to the separator 2 where steam is separated from NCG (mainly CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S). NCG expands in a turbine to generate electricity, and then are discharged. The remaining steam transfers its heat to one part of the working fluid, condenses and mixes with the water coming out of the evaporator 1. Such water flows through the five preheaters

and is heating working fluid. In the next step, the water is returned to the ground using the injection pumps of the re-injection wells (VC-2 and Ptk-1).

Secondary circulation (isobutane): after cooling with ambient air and condensation (1), the working fluid is raised to higher pressure by feed pumps (2) and flows to the heat regenerator (3) where it takes over part of the heat from the working fluid coming out of the turbine (6). The working fluid is then preheated with water in five preheaters (4), after which one part of the working fluid is directed to the evaporator 1 (heated with water) and the other part of the working fluid flows to the evaporator 2 (heated with steam). These two parts of the working fluid at state 5 are discharged into the turbine where they expand and the electricity is obtained in an electric generator. After the turbine, the working fluid of state 6 transfers a part of its remaining heat to the working fluid of state 3 in the regenerator, after which the working fluid of state 7 condenses in the air condenser.

## 6. Comparison of working fluids

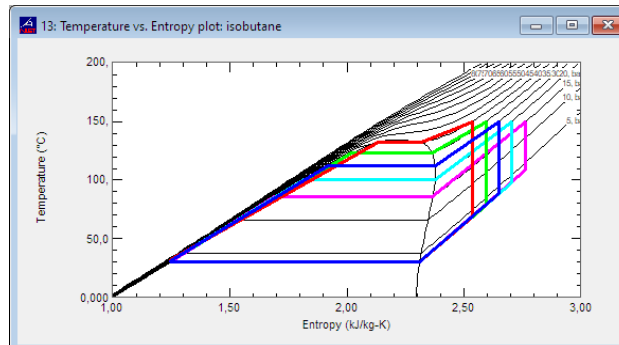
Three working fluids: 1) isobutane, 2) R124, and 3) trans-butene are chosen for comparison in a similar ORC process. All of them have positive slope of the saturated steam curve, which means they have expansion in the dry area. Their critical point are: isobutane  $T_{kr}=134,66^{\circ}\text{C}$  and  $p_{kr}=36,29$  bar, R124  $T_{kr}=122,28^{\circ}\text{C}$  i  $p_{kr}=36,243$  bar, and trans-butene  $T_{kr}=155,46^{\circ}\text{C}$  and  $p_{kr}=40,273$  bar (Figure 4).



**Figure 4.** T-s diagram for isobutane (green), R124 (red) and trans-butene (blue)

In terms of safety and environmental aspects the working fluids have the following characteristics: isobutane has low toxicity and high flammability, its ODP is 0 and GWP is 20; R124 has low toxicity and does not propagate flame, ODP is 0,02 and GWP is 619, while trans-butene has low toxicity and high flammability, ODP is 0 and GWP is 20, [8].

Figure 5 shows the ideal ORCs as compared in this paper with a maximum process temperature of  $150^{\circ}\text{C}$ , and a minimum temperature of  $30^{\circ}\text{C}$ , while the maximum pressures varied between 15 bar and 35 bar. The reason for choosing such temperatures is due to specific bearings in the RH that could be used to generate electricity. The Carnot efficiency for this temperature difference is 28,35%, which means that the efficiency of our ORC processes will be lower (much bellow Carnot value).



**Figure 5.** T-s diagram for isobutane with different maximum pressures in ORC

The calculation in the paper was done using the data from the NIST REFPROP 8 database. The following formulas were used to calculate the thermodynamic characteristics of individual ORC processes:

- net work:

$$w_{net} = w_T - w_P = (h_1 - h_2) - (h_4 - h_3) \quad (1)$$

- thermodynamic efficiency:

$$\eta = \frac{w_T - w_P}{q_{in}} \cdot 100\% \quad (2)$$

- total heat input:

$$q_{in} = h_1 - h_4 \quad (3)$$

- pump work and turbine work ratio:

$$BWR = \frac{w_P}{w_T} \cdot 100\% \quad (4)$$

In upper formulas  $h$  is enthalpy of working fluid (kJ/kg) and the index refers to the process points according to Figure 5. The results of the comparison are shown in the Table 1.

**Table 1.** Net work, thermodynamic efficiency and BWR depending on maximum pressure for isobutane, R124 and trans-butene

$p_{max}/$ bar	isobutane			R124			trans-butene		
	$w_{net}/$ kJ/kg	$\eta/$ %	BWR/ %	$w_{net}/$ kJ/kg	$\eta/$ %	BWR/ %	$w_{net}/$ kJ/kg	$\eta/$ %	BWR/ %
15	66,88	12,27	2,93	26,62	11,22	2,85	88,28	15,45	2,29
20	77,76	14,59	3,63	31,43	13,52	3,53	97,78	17,56	2,89
25	84,28	16,23	4,37	34,48	15,17	4,22	102,54	18,99	3,53
30	87,69	17,42	5,15	36,29	16,38	4,95	103,33	19,92	4,25
35	88,32	18,27	6,03	37,14	17,28	5,74	98,643	20,31	5,21

As expected, the thermodynamic efficiency of compared ideal ORC processes is much below Carnot efficiency. When the isentropic efficiency of the turbines and the pumps will be taken into account, the net efficiency of all processes will be even lower. It can be seen that for all working fluids, the net work and the thermodynamic efficiency increase with increasing pressure. It is because the expansion end is getting closer to the saturated steam curve. All working fluids show a trend of increasing BWR when increasing the working pressure because the pump has to do more work.

The results of calculation prove that for the given temperature range trans-butene is the best choice between the compared working fluids. It shows the best thermodynamic characteristics (the highest net work, lower BWR, and the best thermodynamic efficiency).

## 7. Conclusion

Geothermal energy is abundant, and the sources of this renewable and sustainable form of energy need to be sought along the convergent boundary of tectonic plates. The Republic of Croatia has several medium-temperature geothermal deposits, of which only one is used for electrical application, which means that geothermal energy in the Republic of Croatia is not sufficiently used for electrical purposes. The existing binary ORC plant Velika 1 is briefly described, and comparison of possible ORC processes for similar conditions of future geothermal power plants in the Republic of Croatia is performed. Calculations for three selected working fluids were performed using the NIST REFPROP 8 database. The results show that net work performance and thermodynamic efficiency increase as the critical point value of dry working fluid grows. It is also confirmed that overheating of dry working fluids is not necessary because overheating gives less net work. The reason for this is that by overheating the expansion moves away from the saturated vapour curve, so a lot of superheated steam is thrown at the outlet of the turbine that did not do any work (it condenses unnecessarily). Trans-butene has proven to be the best choice for a given case because it has good thermodynamic characteristics (highest net work and the best efficiency), low GWP and ODP value, but is highly flammable.

## 8. Literature

- [1] Dickson, Mary H.; Fanelli, Mario. Geothermal energy: utilization and technology. Bangalore, India, UNESCO, 2003. (ISBN 92-3-103915-6)
- [2] Gupta, Harsh; Roy Sukanta. Geothermal Energy: An Alternative Resource For The 21st Century. Amsterdam: Elsevier B. V., 2007. (ISBN 978-0-444-52875-9)
- [3]<https://www.nps.gov/subjects/geology/plate-tectonics-evidence-of-plate-motions.htm> (access 22.7.2021.)
- [4] Mustapić, Nenad; Guzović, Zvonimir; Staniša, Branko. Energetski strojevi i sustavi. Karlovac: Veleučilište u Karlovcu, 2013. (ISBN 978-953-7343-68-2)

- [5] DiPippo, Ronald. *Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact*, 3rd edition. United States of America: Elsevier Ltd., 2012. (ISBN 978-0-08-098206-9)
- [6] Macchi, Ennio; Astolfi, Marco. *Organic Rankine Cycle (ORC) Power Systems Technologies and Applications*. Elsevier Ltd., 2017. (ISBN 978-0-08-100511-8)
- [7] Quoilin Sylvain. *Sustainable Energy Conversion Through the Use of Organic Rankine Cycles for Waste Heat Recovery and Solar Applications*. Belgium: Presented to the Faculty of Applied Science of the University of Liège, 2011.
- [8] Nouman, Jamal. *Comparative studies and analyses of working fluids for Organic Rankine Cycles – ORC*. Sweden: Master of Science Thesis EGI-2012-086MSC, 2012.
- [9] Getliher, Alojz; Cazin, Vladimir; Muršić, Renato; INA-Naftaplin. *Geotermalna energija kao obnovljivi resurs postoji u Hrvatskoj, ali se nedovoljno iskorištava za njen gospodarski razvitak // Proceedings of 3rd International oil and gas conference / Zelić, Mirko (ur.)*. (ISSN-1334-840X). Zadar, 4.10.-7.10.2005.
- [10] Kolbah, Slobodan; Kulenović, Ismet; Vučemilović, Marija; INA-Naftaplin. *Proizvodnja geotermalne energije u panonskom bazenu Republike Hrvatske – izdvajanje objekata // Proceedings of 3rd International oil and gas conference / Zelić, Mirko (ur.)*. (ISSN-1334-840X). Zadar, 4.10-7.10.2005
- [11] Kovačević, Zdravko. *Geotermalna energija u Hrvatskoj // Naftaplin*, 18 (2001), 1; 59-64. (ISSN 1330-2434)
- [12] Pravica, Zdravko; Kulenović, Ismet, INA-Naftaplin. *Primjena termosifonskog učinka na geotermalnom polju Velika Ciglena // Proceedings of 3rd International oil and gas conference / Zelić, Mirko (ur.)*. (ISSN-1334-840X). Zadar, 4.10-7.10.2005
- [13] <https://balkangreenenergynews.com/croatias-first-geothermal-power-plant-velika-1-officially-unveiled/> (access 15.7.2021.)
- [14]<http://theargo.org/fullpapers/THE%20VELIKA%20CIGLENA%20GEOTHERMAL%20BINARY%20POWER%20PLANT.pdf> (access 15.7.2021.)

## Vrijednosti drveća u urbanim sredinama - gradovima *The values of trees in urban areas - cities*

V. Prgić<sup>1</sup>, K. Novak<sup>1</sup>, D. Obradović<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Osijek, Hrvatska

\*Autor za korespondenciju. E-mail: [dobradovic@gfos.hr](mailto:dobradovic@gfos.hr)

### Sažetak

Znanost o ekonomskoj vrijednosti drveća u gradovima je u svojim počecima. Drveće ima veliku vrijednost i značenje bez obzira gdje se nalazi. U šumama služi za izradu ogrjevnog drveta, za uporabu u drvojoj industriji, kao sklonište životinjama, proizvodi kisik, itd. U gradovima zasađeno na ulicama ili u parkovima, drveće služi za obogaćivanje života u bilo kojem pogledu – smanjuje pojavu toplinskih otoka, proizvodi kisik, snižava temperaturu, pravi sjenu, služi kao barijera za vjetar, smanjuje buku, osigurava stanište za životinje, osigurava evapotranspiraciju, smanjuje otjecanje oborina u kanalizacijski sustav, općenito smanjuje posljedice klimatskih promjena. Sažeto govoreći, drveće u urbanim sredinama ima tri glavne vrste prednosti: ekonomske, društvene i okolišne. Drveće u urbanim sredinama nema samo estetsku vrijednost na što se prvo pomisli kada se vidi drveće na ulici u gradu ili parku. Drveće je važno za cijeli ekosustav. U radu će se prikazati vrijednost i značaj drveća koje se nalazi u urbanim sredinama – gradovima. Kratko će se prikazati društvene i okolišne prednosti koji se postižu sadnjom drveća u urbanim sredinama. Također, istražiti će se, i u radu prikazati, ima li drveće zasađeno na ulicama i u parkovima neku ekonomsku vrijednost u smislu da povećava vrijednost nekretnina u čijoj se blizini nalazi.

**Ključne riječi:** drveće, ekonomska vrijednost, park, urbana sredina

### Abstract

The science of the economic value of trees in cities is in its beginnings. Trees have great value and significance no matter where they are located. In forests, they are used to make firewood, for use in wood industry, as shelter for animals, oxygen production, etc. In cities, planted in the streets or in parks, trees serve to enrich life in all aspects – reducing the appearance of heat islands, producing oxygen, lowering temperature, creating shade, serving as a wind barrier, reducing noise, providing habitats for animals, providing evapotranspiration, reducing the inflow of rain water into the sewage system and reducing the consequences of climate change in general. In summary, trees in urban areas provide three main types of advantages: economic, social and environmental. Trees in urban environments do not have only aesthetic value, which is first thought of when you see trees





on the street in a city or a park. Trees are important for the entire ecosystem. This paper will present the value and significance of trees located in urban environments – cities. The social and environmental advantages achieved by planting trees in urban environments will be briefly presented. Also, the paper will investigate whether trees planted in the streets and parks have some economic value in terms of increasing the value of the property in which they are located.

**Key words:** trees, economic value, park, urban area

## 1. Uvod

Stanovništvo svijeta odlazi u gradove što dodatno povećava potrebe za građenjem nove infrastrukture i zgrada [1]. Urbanizacija kao proces pretvaranja prirodnog okoliša u onaj gdje dominira ljudski utjecaj je jedan od najraširenijih i najdominantnijih načina korištenja, odnosno negativnog utjecaja na zemljište [2]. Urbanizacija je važan proces za osiguravanje uvjeta života i rada za ljude. Međutim, radikalna transformacija krajolika, zajedno s pretjeranim potrebama gradova za resursima izvan njihovih granica i mogućnosti, ima duboke i negativne posljedice na ekosustav [3, 4].

Drveće u gradu ima velikih prednosti. Naravno, ono treba biti prikladno odabrano u smislu da treba voditi računa o veličini i jačini korijenskog sustava, veličini krošnje, vrsti stabla, mjestu sadnje. Također, podrazumijeva se da je ono dobro održavano. Tek kada su svi prethodno navedeni preduvjeti ispunjeni onda se može govoriti o prednostima drveća u urbanim sredinama. U većini gradova i drugim urbanim sredinama širom svijeta već dugo postoji praksa sadnje drveća u urbanim sredinama zbog percepcije vrijednosti i različitih funkcija drveća ili njihovih blagodati, uključujući ugodnost života, mogućnosti rekreacije kao i niza socijalnih te ekonomskih vrijednosti [5].

Sadnja drveća investicija je za nekoliko idućih desetljeća, a ponekad i nekoliko generacija stanovnika nekog grada. Dugovječno drveće obilježje je mnogih gradskih prostora, a njihova prisutnost u nekoj ulici, parku ili trgu dio je njihove pamtljive slike i identiteta [6]. Značaj drveća i šuma u industrijskim gradovima oduvijek je bila povezana sa zdravstvenim, rekreacijskim i estetskim blagodatima. Šume su posebno važne s lokalnog, društvenog i kulturnog gledišta. Pojedinačna drveća i šumski kompleksi nisu u dovoljnoj mjeri prepoznati u planiranju razvoja okoliša urbanih sredina [7]. Šuma optimalno i trajno daje mnoge proizvode, ali samo ako se s njom pravilno gospodari. Čovjek bez šume i njezinih proizvoda ne bi mogao opstati [8]. Šume su dugo bile smatrane izvorom bogatstva i blagostanja gospodarstava koja su ih iskorištavala [9].

Drveće i urbane šume mogu učiniti gradove zelenijim, zdravijim i sretnijim mjestima za život hlađenjem zraka, filtriranjem štetnih zagađivača i ublažavanjem posljedica klimatskih promjena. Za cijelu biosferu nenadoknativa je vrijednost šume budući da ona štiti tlo i ima mnogostruki utjecaj na njegovu plodnost, utječe na vodni režim sprečavajući eroziju, obavlja klimatsko – zaštitnu funkciju ublažavajući klimatske ekstreme, zadržava velike količine otrovnih tvari iz zraka služeći kao filter za njegovo pročišćavanje, a značajna je i njena uloga



u smanjivanju buke u gradovima. Šuma u svojim krošnjama može zadržati više desetaka tona tvorničke prašine, a asimilacijska površina šumskog drveća značajno je veća od površine koju šuma čini [10].

Velika korist koja proizlazi iz urbanih šuma svakako je ta što ona predstavlja simbol pozitivnog značenja i lijepih sjećanja koje imaju stanovnici nekog mjesta. To je jedan od češćih razloga zbog kojih je urbana šuma posebna za stanovnike. Stabla simboliziraju duhovne vrijednosti, osobna sjećanja, podsjetnike na prošlost, očuvanje i izdržljivost. Sve to je visoko cijenjeno od strane javnosti [11].

Međutim, neodgovarajuće dizajniran krajobraz, odabir drveća i neprikladno održavanje mogu povećati troškove uređenja okoliša te može doći do povećanog stvaranja peludi (što kod nekih ljudi dovodi do alergija), mogu biti potrebne dodatne aktivnosti održavanja (npr. sječa grana) koje doprinose onečišćenju zraka, može se povećati korištenje energije u zgradama, povećati se količina otpada, popravak infrastrukture (prodor korijenja u kanalizacijske cijevi, izdizanje pločnika itd.) i povećana potrošnja vode [12].

## 2. Funkcije i prednosti drveća u urbanim sredinama

Smanjenje prirodnih površina uslijed širenja urbanih prostora značajno prijeti očuvanju bioraznolikosti, utječe na produktivnost ekosustava gubitkom staništa, biomase i gubitak ugljika koji je uskladišten u vegetaciji [13].

Stabla čine presudnu komponentu urbanih krajolika ne samo zbog njihove vizualne i ekološke koristi, već mnogih društvenih i gospodarskih dobara i usluga koje pružaju stanovnicima koji žive u različitim dijelovima grada [14].

Dobro smješteno urbano drveće pruža višestruke koristi kroz raspon funkcija koje obavljaju. Ponekad ostvarene prednosti rezultiraju s više od jedne funkcije stabala, primjerice stabla pomažu poboljšanju udobnosti stanovnika u vrućem vremenu kroz stvaranje hlada, evapotranspiraciju i funkciju korisnosti prostoru [15].

Najvažnije prednosti urbanog drveća su:

- Stvaranje sjene (hlada)
- Evapotranspiracija
- Zaklon od vjetra
- Korištenje ugljika (smanjenje ugljičnog dioksida)
- Ublažavanje buke
- Uklanjanje lebdećih čestica iz zraka
- Ublažavanje količine padalina smanjenjem otjecanja
- Uporaba drveta za malč i ogrjev na kraju životnog vijeka
- Proizvodnja drveta i hrane
- Stanište za životinje [15]
- Reguliranje protoka vode i poboljšavanje njezine kvalitete
- Poboljšanje fizičkog i mentalnog zdravlja ljudi koji vrijeme provode u blizini drveća
- Povećanje vrijednosti nekretnine

- Ušteda energije za grijanje
- Ušteda energije za hlađenje [16]
- Smanjenje stope nasilja i zločina
- Bolja suradnja u zajednici [17].

Urbano zelenilo jača identitet grada, može poboljšati njegovu privlačnost za život, rad, ulaganja i turizam, zato ti prostori mogu pridonijeti pozitivnoj kvaliteti života te konkurentnosti gradova [18].

Teško je navesti sve prednosti koje se ostvaruju sadnjom urbanog drveća, a također za određene prednosti je teško reći gdje pripadaju (društvene, okolišne ili ekonomske) budući da se mogu svrstati u više njih. Tako, npr. smanjenje pojave toplinskih otoka te stvaranje zaklona istovremeno može biti prednost za okoliš, ali i ekonomska prednost jer za kuću koja je zaklonjena u hladu drveta potrebno je manje energije za hlađenje u razdoblju vrućina. U nastavku rada su kratko prikazane navedene tri vrste prednosti.

## 2.1. Društvene prednosti

Drveće može poboljšati mjere za smirivanje prometa, poput užih ulica, proširenih bankina, kružnih tokova itd. Visoka stabla daju percepciju da je ulica uža tako usporavajući ljude i promet. Pažljivo razmaknuta stabla daju percepciju brzine (vozač dok vozi, prolaze mu vrlo brzo). Ulica bez drveća pojačava percepciju širine ulice bez opasnosti, što utječe na povećanje brzine vožnje. Povećana brzina dovodi do nesreća [19].

Istraživanja su pokazala da:

- Drveće jača gospodarsku stabilnost zajednice privlačenjem poduzeća i turista.
- Ljudi se dulje zadržavaju i kupuju na ulicama koje imaju drveće.
- Stanovi i uredi u područjima s drvećem unajmljuju se brže i imaju veću popunjenost.
- Poduzeća koja imaju ili unajmljuju poslovne prostore u blizini drveća shvaćaju da su njihovi radnici produktivniji i da je smanjeno odsustvo s posla [19].

Autor Ulrich (1984) je u svom radu pregledao podatke o oporavku bolesnika nakon kolecistektomije (kirurško uklanjanje žučnog mjehura) u bolnici u predgrađu Pennsylvanije, SAD između 1972. i 1981. godine kako bi utvrdio može li dodjela soba s prozorom koji imaju pogled na prirodno okruženje imati utjecaja na oporavak bolesnika. Dvadeset i tri pacijenta raspoređena u sobe s prozorima koji gledaju na prirodu imali su kraći postoperativni boravak u bolnici, imali su manje negativnih ocjena na kontrolama, te su trošili manje jakih analgetika od druga dvadeset i tri pacijenta u sličnim sobama s prozorima, ali koji gledaju na zid od opeke [20].

Drveće stvara određenu barijeru između pločnika i ceste tako povećavajući sigurnost pješaka koji se kreću pločnikom.

Također, veća stabla na ulicama povezana su sa smanjenjem učestalosti kriminala i straha od kriminala [21]. Smanjena razina kriminala u područjima s dobro održavanom vegetacijom ponekad se smatra posljedicom većeg osjećaja zajedništva stanovnika tog područja [22].



## 2.2. Okolišne prednosti

Prednosti koje drveće ostvaruje po pitanju poboljšanja okoliša i okolišnih uvjeta su jako velike. Urbana stabla mogu smanjiti efekt „toplinskih otoka“, problem koji se javlja u urbanim područjima već dugi niz desetljeća u kojem velike količine neporoznih površina kao što su asfalt i beton apsorbiraju i zrače toplinu, rezultirajući višim temperaturama (za 6 do 10 stupnjeva Celzijevih toplija od područja u hladu s vegetacijom u mnogim slučajevima) i većim utjecajima toplinskih valova za stanovnike. Sadnja stabala široko je prepoznata kao jedna od najučinkovitijih strategija za smanjenje temperature [15, 23].

Asfaltni kolnik na ulicama sadrži kameni agregat u vezivu. Bez hlada stabala vezivo se zagrijava i isparava, a agregat ostaje nezaštićen. Vozila potom olabavljaju agregat, povezanost agregata se smanjuje i ispada te se površina kolnika uništava (na neki način olabavljeni agregat „brusi“ površinu kolnika kao što to radi brusni papir) [19].

Ispuštanje ispušnih plinova i buka iz cestovnog prometa mogu biti ozbiljan zdravstveni problem, a stabla su posebno učinkovita u smanjivanju buke i hvatanju onečišćujućih tvari koje se prenose zrakom uključujući ozon, dušikove okside, sumporove okside, sumporove dioksidi, ugljikov monoksid, ugljikov dioksid i čestice manje od 10 µm veličine [24].

Stabla mogu usporiti brzinu otjecanja padalina iz urbanih područja u kanalizacijske sustave. To doprinosi poboljšanju kvalitete vode u jezerima i vodotocima jer manje smeća, onečišćujućih tvari i organskih tvari dolazi u jezera ili vodotokove kao posljedica oluja [15].

Drveće poboljšava strukturu tla, stvara humus, rahli tlo korijenjem itd.

Također, ono povećava bioraznolikost u urbanim područjima. To znači da stabla pridonose raznolikosti ne samo kroz raznolikost zasađenih vrsta drveća, već i na načine koji potiču raznolikost drugih biljaka, životinja, kukaca i mikroorganizama, kao i cijelog ekosustava [15].

Prethodno navedene prednosti su samo neke, a postoji još niz ostalih poput reguliranja protoka vode, njezinog pročišćavanja, ublažavanja klimatskih promjena, služe kao izvor hrane za ljude i za životinje, kukce itd.

## 2.3. Ekonomske prednosti

Općenito govoreći, ekonomska vrijednost urbanog zelenila može se svrstati u tri kategorije:

1. Direktna (npr. rekreacija – plaćanje za sportske prostorije)
2. Indirektna prednost (npr. zdravlje, sprječavanje kriminala ili poslovne aktivnosti) i
3. Neupotrijebljena ili vrijednosti koje ne ostavljaju nikakav trag (simbolične vrijednosti) [18].

Koncept ukupne ekonomske vrijednosti okoliša tj. urbanog zelenila ima svoje temelje u socijalnoj ekonomiji. Javna dobra nisu konkurentna, tj. ako ih koristi jedna osoba, to ne sprječava istovremeno korištenje istih od strane drugih osoba. Jednom kad su na raspolaganju, nikome ne mogu biti uskraćena [18]. Vrijednosti stabala i biljaka u urbanim područjima se često zanemaruju. Urbane šume su značajne i sve više je vidljiva njihova vrijednost u urbanim područjima. Znanstvenici su dokazali nevjerojatan povrat koji drveće pruža ljudima u gradovima. Svakako je da potpuna procjena koristi i troškova predstavlja izazov. Međutim, razumijevanje tih informacija u potpunosti, je jako važno ako donositelji odluka žele donijeti ekonomičnu odluku. Ulaganja u sadnju i brigu o drveću predstavljaju

dugoročne obveze za korisnike, odnosno zahtijevaju financijska sredstva koja su uvijek oskudna. Nepravilno posađeno drveće povećava troškove i smanjuje moguće prednosti pa se o tome mora voditi računa. Potrebni su adekvatni resursi za planiranje i upravljanje urbanim zelenilom ako gradovi žele optimizirati koristi urbane šume i drveća [25].

Stabla zasađena u blizini obiteljske kuće imaju veću korist za vrijednost nekretnine u odnosu na ona koja su zasađena kod višestambenih zgrada ili parkova. Agenti za nekretnine navode kako stabla često povećavaju prodajnu cijenu nekretnina zbog svojeg izgleda, pri čemu kupci kuća obično plaćaju više za nekretnine s velikim brojem stabala, u odnosu na kuće bez ili s nekoliko stabala [26].

Također, primarna prednost mlađih stabala je povećanje vrijednosti posjeda tijekom vremena. Budući da mlađa stabla imaju manje početne troškove i vremenom će izrasti u zrela stabla, prednosti mlađih stabala su znatne [26]. Jasno je da, zrela, veća stabla trebaju vremena da izrastu do neke veličine. Ako netko želi takva veća i zrelija stabla s novoizgrađenom kućom, to znači da će biti potrebna veća parcela na kojoj je očuvana prethodna vegetacija [27], što će povećati kupovnu cijenu.

Istraživanja koje su proveli autori Donovan i Butry (2010) na području grada Portlanda, Oregon, SAD pokazala su da prosječno povećanje prodajne cijene zbog blizine urbanog drveća nekretnini iznosi 8870 \$ te je smanjilo vrijeme prodaje za 1,7 dana. Također, ostvarena vrijednost je značajno premašila troškove održavanja za promatrano područje. Isti autori zaključuju kako je u Portlandu, kao i u mnogim drugim gradovima, sadnja i održavanje urbanog drveća isključiva odgovornost najbližeg vlasnika kuće. Kako bi se spriječilo nedovoljno ulaganje u drveće na ulicama, vjerojatno će biti neophodno da gradovi snose veći dio troškova vezanih uz drveće [28].

Rezultati istraživanja autora Hussain i sur. (2014) pokazuju da je dizajn krajolika važan čimbenik pri donošenju odluka o kupnji ili iznajmljivanju kuće, a time se povećava i vrijednost nekretnine [29].

Autori Jim i Chen (2010) su na temelju 1471 transakcije u Hong Kongu pokazali da susjedni parkovi mogu podići cijenu za 16,88 %. Uspoređujući se s ostalim krajobraznim elementima, parkovi u susjedstvu izazvali su najveću namjeru kupnje kod kupaca koji su željeli kupiti kuću [30]. U krajnjem slučaju, ako drveće nema utjecaja na povećanje cijene nekretnine, nekretnine s drvećem na parceli ili u blizini kuće imaju veću potražnju i brže se prodaju [31]. Nekretnina koja ima pogled na šumu prosječno postiže veću cijenu za 4,9 % u odnosu na onu koja nema, a istraživanje je provedeno za pokrajinu Salo u Finskoj [32].

### 3. Primjeri urbanog drveća iz grada Osijeka i drugih gradova u svijetu

Ovaj dio rada prikazuje neke primjere gradova u različitim državama gdje je posađeno drveće na slikama 1. do 6. Prikazani su primjeri drveća u urbanim sredinama – u Portu (Portugal), Barceloni (Španjolska), Berlinu (Njemačka), Budimpešti (Mađarska) i Mariboru (Slovenija). Također, dani su primjeri iz grada Osijeka.





**Slika 1.** Drveće na opločenoj ulici u Portu, Portugal [izvor: autori]



**Slika 2.** Drveće u Barceloni, Španjolska [izvor: autori]



**Slika 3.** Drveće u Berlinu, Njemačka [izvor: autori]





**Slika 4.** Drveće u Budimpešti, Mađarska [izvor: autori]



**Slika 5.** Drveće unutar autobusnog kolodvora u Mariboru, Slovenija [izvor: autori]



**Slika 6.** Drveće u Osijeku [izvor: autori]

#### 4. Zaključak

Održavano zelenilo i drveće je uvijek bilo ukras u gradovima, iako je imalo još puno funkcija koje često, među stanovnicima nekog naselja, nisu bile percipirane. Međutim, u današnje vrijeme velike urbanizacije, popločavanja površina, pojačane gradnje građevina i svih ostalih negativnih utjecaja čovjeka na okoliš, drveće postaje još važnije. Sada ono ne služi samo kao ukras već ima puno prednosti koje se općenito mogu podijeliti na društvene, okolišne i ekonomske prednosti. Da bi bilo koje drvo imalo prednosti, jasno da je preduvjet da ono bude zasađeno na ispravnom mjestu, da odabir vrste drveta bude prikladan za promatrano mjesto te da bude ispravno održavano.

Starije drveće obilježava određeno područje, ono postaje simbol tog grada, ulice ili trga. Stoga, drvo nije samo drvo, ono može postati podsjetnik na određeno vrijeme koje veže više generacija. Neke prednosti koje se njihovom sadnjom ostvaraju su: stvaranje hlada, zaklon od vjetra, ublažavanje buke, uklanjanje štetnih lebdećih čestica iz zraka, proizvodnja drveta i hrane, stanište za životinje, poboljšanje fizičkog i mentalnog zdravlja ljudi koji vrijeme provode u blizini drveća, smanjenje stope nasilja i zločina, brži oporavak bolesnika, smanjenje otjecanja vode u kanalizacijski sustav pa i povećanje vrijednosti nekretnine koja je u blizini drveća ili parka. Drveće u blizini kuća ili u dvorištima povećava cijenu nekretnine i obično se nekretnina brže proda u odnosu na onu koja nema drveće. Drveće također može ostvariti različite uštede tako da štedi energiju za hlađenje ljeti (stvara sjenu kući) ili po zimi stvara zaklon od udara vjetra koji odnose toplinu. Veoma lagano se zaključuje da drveće treba saditi jer ono ne samo da će koristiti nama, već sigurno i idućim generacijama.

#### 5. Literatura

- [1] Quinton, M. Jessica; Duinker, N. Peter; Gallant, A. Karen; Steenberg, W. N. James; Charles, D. John. To tree or not to tree: User and management perspectives of cemetery trees // *Urban Forestry & Urban Greening*, 43 (2019), 126385; 1-10. (ISSN 1618-8667)
- [2] Foley, A. Jonathan; DeFries, Ruth; Asner, P. Gregory; Barford, Carol; Bonan, Gordon; Carpenter, R. Stephen; Chap, F. Stuart. et al. Global Consequences of Land Use // *Science*, 309 (2005), 5734; 570-574. (ISSN 1095-9203)
- [3] Collins, P. James; Kinzig, Ann; Grimm, B. Nancy; Fagan, W. F.; Hope, D.; Wu, Jianguo; Borer, E. T. A new urban ecology // *American Scientist*, 88 (2000), 5; 416-425. (ISSN 0003-0996)
- [4] Wood, M. Eric; Esaian, Sevan. The importance of street trees to urban avifauna // *Ecological Applications*, 30 (2020), 7; 1-10. (ISSN 1939-5582)
- [5] Spellerberg, F. Ian; Given, R. David. Trees in Urban and City Environments: a review of the selection criteria with particular reference to nature conservation in New Zealand cities // *Landscape review*, 12 (2008), 2; 19-31. (ISSN 2253-1440)
- [6] Pereković, Petra; Kamenečki, Monika. Sadnja stabla u urbanim sredinama. Korak u prostor. 30. prosinca 2017., <https://korak.com.hr/sadnja-stabla-u-urbanim-sredinama/> (pristupljeno 14.07.2021.)

- [7] Beljan, Karlo; Posavec, Stjepan; Jerčić, Krešimir. Economic Valuation of Urban Trees: Ribnjak Park Case Study, Zagreb // *South-east European forestry: SEEFOR*, 6 (2015), 1; 119-127. (ISSN 1849-0891)
- [8] Uzgajanje šuma: sažeci predavanja za ak. god. 03/04.
- [9] Tišma, Sanja; Pisarović, Anamarija; Farkaš, Anamarija. Ekološko i ekonomsko vrednovanje šuma u Republici Hrvatskoj. Metoda cost-benefit analize // *Socijalna ekologija: časopis za ekološku misao i sociologijska istraživanja okoline*, 11 (2002), 1-2; 115-131. (ISSN 1849-0360)
- [10] Hrvatske šume. Svjetski dan šuma, <https://www.hrsume.hr/index.php/hr/75-news/latest-news/977-svjetski-dan-suma-4> (pristupljeno 02.07.2021.)
- [11] R. Bruce Hull IV. How the public values urban forests. // *Journal of Arboriculture*, (18) 1992, 2; 98-101.
- [12] Nowak, David J. Assessing the benefits and economic values of trees; u: Ferrini, Francesco; van den Bosch, Cecil C.K.; Fini, Alessio (ur.). Routledge handbook of urban forestry. New York, NY: Routledge; 2017; 152.-163. Chapter 11
- [13] Savić, Stevan; Krstić, Hrvoje; Dunjić, Jelena; Andrić, Danijela. Važnost održivog razvoja u urbanim područjima primjenom koncepta „Rješenja u skladu s prirodom“ (Eng. Nature-based solution – NBS). Novi Sad: Prirodno-matematički fakultet, Departman za geografiju, turizam i hotelijerstvo, 2020. (ISBN 978-86-7031-550-1)
- [14] Shackleton, Sheona; Chinyimba, Abby; Hebinck, Paul; Shackleton, Charlie; Kaoma, Humphrey. Multiple benefits and values of trees in urban landscapes in two towns in northern South Africa // *Landscape and Urban Planning*, 136 (2015); 76-86. (ISSN 0169-2046)
- [15] Transport Canberra and City Services Directorate, Australian Capital Territory. Social, economic and environmental values of street trees in the urban environment. 2020.
- [16] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Dobrobiti drveća u urbanim sredinama, <http://www.fao.org/3/c0024hr/C0024HR.pdf> (pristupljeno 08.07.2021.)
- [17] Schroeder, W. Herbert. Does beauty still matter? Experiential and utilitarian values of urban trees // *Proceedings of the Urban Trees Research Conference / Edgbaston, Birmingham, UK. Institute of Chartered Foresters*, 13.-14.4.2011., 159-165.
- [18] Čengić, Alida. Značaj urbanog zelenila. Udruženje Aarhus centar u BiH, [http://aarhus.ba/sarajevo/images/docs/Znacaj\\_urbanog\\_zelenila.pdf](http://aarhus.ba/sarajevo/images/docs/Znacaj_urbanog_zelenila.pdf) (pristupljeno 09.07.2021.)
- [19] The Colorado Tree Coalition, Benefits of Trees In Urban Areas, <http://coloradotrees.org/> (pristupljeno 23.06.2021.)
- [20] Ulrich, S. Roger. View through a window may influence recovery from surgery // *Science*, (224) 1984, 4647, 420-421. (ISSN 1095-9203)
- [21] Donovan, H. Geoffrey, Prestemon, P. Jeffrey. The effects of trees on crime in Portland, Oregon // *Environment and Behavior*, 44 (2012), 1; 3–30. (ISSN 1552-390X)



- [22] Kuo, E. Frances; Sullivan, C. William. Environment and Crime in the Inner City: Does Vegetation Reduce Crime? // *Environment and Behavior*, 33 (2001), 343–367. (ISSN 1552-390X)
- [23] Rosenzweig, Cynthia; Solecki, William; Parshall, Lily; Gaffin, Stuart et al. Mitigating New York City's heat island with urban forestry, living roofs, and light surfaces. A report to the New York State Energy Research and Development Authority, 2009.
- [24] Tallis, Matthew; Taylor, Gail; Sinnett, Danielle; Freer-Smith, Peter. Estimating the removal of atmospheric particulate pollution by the urban tree canopy of London, under current and future environments // *Landscape and Urban Planning*, 103 (2011), 2, 129–138. (ISSN 0169-2046)
- [25] Center for Urban Horticulture. Urban Forest Values: Economic Benefits of Trees in Cities. Fact sheet #3, <https://nfs.unl.edu/documents/communityforestry/urbanforestvalues.pdf> (pristupljeno 24.06.2021.)
- [26] Isaifan, J. Rima; Baldauf, W. Richard. Estimating Economic and Environmental Benefits of Urban Trees in Desert Regions // *Frontiers in Ecology and Evolution*, (8) 2020, 1-14. (ISSN 2296-701X)
- [27] Thériault, Maruis; Kestens, Yan; Des Rosiers, François. The Impact of Mature Trees on House Values and on Residential Location Choices in Quebec City // *International Congress on Environmental Modelling and Software / Lugano, Switzerland, 24.-27.7.2002*. 478-483.
- [28] Donovan, H. Geoffrey; Butry, T. David. Trees in the city: valuing street trees in Portland, Oregon // *Landscape and Urban Planning*, 94 (2010); 77-83. (ISSN 0169-2046)
- [29] Mohd Hussain, Mohd Ramzi; Tukiman, Izawati; Hj. Zen, Ismawi; Shahli, Fitriyadia Mohd. The Impact of Landscape Design on House Prices and Values in Residential Development in Urban Areas // *APCBEE Procedia*, (10) 2014; 316-320. (ISSN 2212-6708)
- [30] Jim, C. Y.; Chen, Y. Wendy. External effects of neighbourhood parks and landscape elements on high-rise residential value // *Land Use Policy*, 27 (2010), 2; 662-670. (ISSN 0264-8377)
- [31] Hastie, Chris. The Benefits of Urban Trees. Warwick District Council, 2003.
- [32] Tyrväinen, Liisa; Miettinen, Antti. Property Prices and Urban Forest Amenities // *Journal of Environmental Economics and Management*, 39 (2000), 2; 205-223. (ISSN 0095-0696)

# Oplatni sustavi za izvođenje betonskih hidrotehničkih građevina

## *Formwork systems for the concrete hydraulic structures*

D. Vidaković<sup>1,\*</sup>, A. Jurić<sup>1</sup>, D. Hećimović<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Građevinski i arhitektonski fakultet u Osijeku, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Osijek, Hrvatska

<sup>2</sup>Bonzo j.d.o.o., Osijek, Hrvatska

\*Autor za korespondenciju. E-mail: [dvidak@gfos.hr](mailto:dvidak@gfos.hr)

### Sažetak

U članku su opisani oplatni sklopovi s kojima se mogu izvoditi različiti elementi hidrotehničkih sustava. Uspoređene su bitne karakteristike rada s tradicijskim (daščanim) oplatama, poboljšanim tradicijskim oplatama (modularnim pločama), cjelovitim tvorničkim oplatnim sustavima, predmontiranim sklopovima, oplatama za napuhavanje (gumeni baloni), tunelskim oplatama, te kliznim i podužućim oplatama. Primjenom tehnologija koje su za sada vrlo rijetke u hrvatskoj praksi može se u nekim slučajevima znatno povećati produktivnost i brzina rada. Obzirom na veća početna ulaganja u novu opremu i potrebna nova znanja za uporabu, isplativost takvih oplatnih sustava može se postići s dovoljnom količinom radova za izvođenje, ali se mogu i iznajmiti samo za projekt za koji su pogodne.

**Ključne riječi:** oplatni sustavi, betonski elementi hidrotehničkih sustava, isplativost, produktivnost, nove tehnologije

### Abstract

The article describes the types of formwork assemblies with which different elements of hydrotechnical systems can be performed. The essential characteristics of working with traditional (of wooden planks) formwork, improved traditional formwork (modular panels), complete factory formwork systems, pre-assembled assemblies, pneumatic formwork (rubber balloons), tunnel formwork, and sliding and climbing formwork are compared. The application of technologies that are currently very rare in Croatian practice can in some cases significantly increase productivity and speed of realization. Given the larger initial investment in new equipment and the new knowledge required for use, the cost-effectiveness of such formwork systems can be achieved with a sufficient amount of work to perform, but they can also be leased only for the project for which they are suitable.

**Key words:** formwork systems, concrete elements of hydraulic systems, cost-effectiveness, productivity, new technologies.



## 1. Uvod

Mnoge hidrotehničke građevine i elementi hidrotehničkih sustava, cijeli ili djelom, izvode se od betona i armiranog betona (betonska okna, rezervoari, crpne stanice, propusti, betonske brane itd.) [1]. Za izvođenje betonskih elemenata najčešće se kao pomoćne konstrukcije koriste građevinske oplate. Kako se često radi o velikim građevinama, odnosno velikim sustavima i potrebe za oplatama su velike.

Značaj oplate u izgradnji ili dogradnji pokazuje to da se oko 75% sveg betona izvodi u oplatama. Kod betonskih elemenata prosječne složenosti za jedan metar prostorni njihove zapremnine potrebno je 10 do 15 m<sup>2</sup> oplatnih površina, a za tankostijene i razvedene konstrukcije i do 20 m<sup>2</sup> [2].

U uobičajenim slučajevima, u ukupnom trošku izvedbe armiranobetonskih elemenata oplate imaju udio od 20 do 50% [3]. Da bi se odredilo koliko je to točno, treba detaljnije analizirati svaki konkretni slučaj te onda i razmisliti kako se može smanjiti troškove. Armatura i kvaliteta betona (klasa, izgled i dr.) određeni su projektom, ali izvođač može, prema vrsti betoniranih elemenata, izabrati oplatu koja mu najbolje odgovara. Trošak oplate podrazumijeva materijal, amortizaciju opreme, rad radnika (izradu, montažu, premazivanje, demontažu, čišćenje) i rad mehanizacije (može biti npr. dizalica za prijenos, pile za rezanje i strojevi za čišćenje oplatnih ploča). U širem smislu, odnosno kao indirektni troškovi, tu su i vanjski prijevoz oplate (do gradilišta i s gradilišta) te skladištenje i popravci (održavanje) oplate. Kod troškova oplate oni za rad radnika mogu biti i više od sedam puta već od onih za materijal [4], no to ovisi o plaćama radnika i cijenama na tržištu. Analiza troškova za neke specijalne oplatne sustave (kao npr. u [5]) pokazuju da se kod povoljnih slučajeva (tj. odgovarajućih građevinskih projekata) udio troškova oplate može spustiti i ispod 20%, ali da kod neodgovarajuće primjene može biti i veći od 50% od troška armiranobetonskih radova. Radovi s oplatama (nekada isključivo tesarski, a danas dosta i bravarski zbog metalnih oplate) u pravilu su vodeći procesi kojima se prilagođava armiranje i betoniranje, pa oni uvelike diktiraju dinamiku izvođenja armiračkih i betonskih radova te s njima povezanih aktivnosti, koje su najčešće na kritičnom putu realizacije projekta. Tako produženje ili odlaganje radova s oplatama produžava rok završenja cijele građevine, te i o tome svakako treba voditi računa kod izbora oplate.

## 2. Funkcija oplate

Svježi beton ugrađuje se (usipava i ručno ili mehanizirano zbija, odnosno vibrira) u oplate gdje ostaje tijekom procesa očvršćavanja. Oplate primarno služe za oblikovanje svježe betonske smjese prema zahtjevima projekta te pridržavanje izvođenog elementa (konstrukcije) sve dok beton nije sposoban preuzimati vlastito i sve drugo potrebno opterećenje. Nekada su oplate potrebne samo dan do dva (dok beton ne postigne 30% čvrstoću, što je obično dovoljno za vertikalne elemente), a u nekim slučajevima i do 28 dana, dok beton ne postigne 100%-tnu čvrstoću. Brzina očvršćavanja ovisi o vremenskim uvjetima (najviše temperaturi zraka) i sastavu betona, prije svega o vezivu i aditivima. Mogućnost zagrijavanja betona za ubrzavanje očvršćavanja ovisi o oplati.





Kako bi elementu dale projektirani oblik i točne dimenzije, oplate trebaju u nepromijenjenom obliku i položaju (nedeformabilne) izdržati najnepovoljniju kombinaciju opterećenja od betona (i za vrijeme usipavanja i vibriranja), armature, radnika koji ugrađuju beton i njihovog alata, vlastitog opterećenja te slučajnog opterećenja (kao što je vjetar). Oplatne površine koje su u direktnom kontaktu sa svježim betonom moraju biti takve da jamče izvedbu površina gotovih elemenata kako zahtjeva projekt.

Zbog učinkovitosti i ekonomičnosti poželjna je prilagodljivost oplata izradi različitih oblika (univerzalnost) i što jednostavnije i brže sklapanje (montaža) i demontaža.

Oplate nisu samo oplatne ploče (platna ili plohe) u kojima je beton, nego podrazumijevaju i odgovarajuću potkonstrukciju i nosivu konstrukciju (preko kojih se prenosi opterećenje na nosivu površinu), spojne (vezne) dijelove, uređaje za regulaciju, tj. za namještanje položaja, podupirače, skele za visoke konstrukcije te radne staze s ogradom, ljestve (kod radova na visini) i druge potrebne pomoćne elemente. Zato je bolje govoriti o oplatnim sklopovima ili sustavima.

Za sustavno preispitivanje uporabe oplatnih sklopova potrebno je zajedno sagledati više podskupova njihovih svojstava. To pokazuje slika 1.



**Slika 1.** Sustavni pristup sagledavanja oplata

Osim kod nekih posebnih slučajeva (npr. izgubljena oplata, odnosno oplatne ploče koje ostaju ugrađene ili kada su oplatne plohe od plastificiranog kartona), oplata je pomoćni materijal koji se ne ugrađuje odjednom, nego se iskorištava više puta. Broj upotreba ovisi o njenim svojstvima i načinu ophođenja s njom tijekom vijeka uporabe. U pravilu se dašćane oplatne plohe krojene na gradilištu i spojni dijelovi ubrajaju u potrošni materijal, a tvornički izrađene ploče i metalni dio sklopa vodi se kao inventar građevinskih tvrtki. Neki dijelovi oplatnih sklopova koji nisu u direktnom kontaktu s betonom, ako su kvalitetno izrađeni i zaštićeni (pocinčanje metalnih dijelova, praškasto lakiranje i dr.), uz pažljivo rukovanje i pravilno održavanje mogu se koristiti vrlo dugo, gotovo neograničeno.

Pojedini dijelovi oplatnih sklopova mogu biti načinjeni od različitih materijala, a od toga zavise važna upotrebna svojstva oplata - obradljivost, prionjivost za beton, nosivost, otpornost na vlagu i udarce (u svezi s tim trajnost), potreba za održavanjem, specifična težina, te prema tome i mogućnost manipulacije (ručno ili uz pomoć dizalice) i potrebni alati. Korišteni materijali značajno utječu na nabavnu cijenu oplata, ali i na kvalitetu izvođene betonske površine. Oplate iste namjene mogu se izrađivati od više vrsta materijala, ali za neke specifične funkcije mogu biti samo od određenog materijala.



### 3. Glavne karakteristike primjenjivih oplatnih sustava

Oplate se u građevinarstvu koriste još od antičkih vremena, kada su služile za oblikovanje zidova zalijevanih pucolanskim gipsanim i vapnenim mortovima. Njihov intenzivniji razvoj počinje u 19. stoljeću, paralelno s razvojem betona i armiranog betona, koji u 20. stoljeću postaje najzastupljeniji materijal za građenje. Razvijeni su razni specijalni oplatni sustavi i naprednije tehnologije rada, s težnjom da se izvođenje radova ubrza, da se smanji potreba za radnom snagom (sve deficitarnijom), da se omogući realizacija sve zahtjevnijih konstrukcija (po rasponu i površini), da se snize troškovi i poveća sigurnost za radnike, pa i da se manje koristi drvene materijale.

Prije 50-tak godina prevladavale su tradicionalne oplate (koje se još i danas dosta koriste), a danas izvođači najviše upotrebljavaju različite velikoplošne oplate [6] (poboljšane tradicijske i u većim tvrtkama cjelovite tvorničke sustave, kao što su od proizvođača *Doka*, *Peri*, *Paschal*, *Mivan* i dr.), dok su specijalne oplate u našoj praksi vrlo rijetke.

Posebna vrsta oplata su kalupi, koje se koriste za proizvodnju predgotovljenih (prefabriciranih) betonskih elementa u pogonima (od sitne betonske galanterije do armiranobetonskih ploča i stupova te prednapregnutih nosača za velike raspone). U slučaju proizvodnje plošnih elemenata na vibrostolu stranice oplata (tj. kalupa) su zapravo dijelovi vibrostola (jedna stranica je njegova gornja ploha).

Slično kalupima za izradu predgotovljenih elemenata, za obnovu poklopaca šahtova (kada se stari izrezuju), izvođenje kanalizacijskih okana i odvoda za kišu *in situ* mogu se koristiti prenosive gumene oplate [7] [8] (pokazano na slici 3. - desno).

U tablici 1. je pregled glavnih karakteristika različitih oplatnih sustava primjenjivih za hidrotehničke građevine, odnosno njihove elemente.

**Tablica 1.** Vrste oplatnih sklopova primjenjivih za betoniranje hidrotehničkih građevina i elemenata hidrotehničkih sustava s navedenim osnovnim značajkama načina rada (A), područjem primjene (B) i potrebnim radom radnika i mehanizacije (C) (prema [6], [9] - [17])

Tradicionalne oplate	
A	- od dasaka (minim. d = 24 mm), gredica, oblica, greda koje se kroje na gradilištu (za to na gradilištu treba oformiti dovoljno veliki tesarski prostor) i spajaju najčešće običnim čavlima, klanfama i paljenom žicom.
B	- za elemente koji ne zahtijevaju glatku površinu betona, a ako je beton vidljiv onda treba dodatna obrada; - za vertikalne i horizontalne elemente, uglavnom ravne, no moguće i za zakrivljene (ali je komplicirano i s puno rada visokokvalificiranih radnika) - danas obično za manje količine betoniranja i za jednostavne oplate, a koriste se i za nadopunu uz modularne ploče te za elemente za koje nema druge odgovarajuće oplate (neki jedistveni oblici).
C	- zahtjeva najkvalificiraniju radnu snagu i najviše sati rada u odnosu na druge oplate, pogotovo za složenije forme; (npr. za dvostranu oplatu ravnih zidova: 0,60 sati/m <sup>2</sup> PKT i 0,55 sati/m <sup>2</sup> KVT, a za ravne stropne ploče: 0,84 sati/m <sup>2</sup> PKT i 0,50 sati/m <sup>2</sup> KVT); - na tesarskom prostoru treba kružna pila, radni stol i to pod nadstrešnicom; - puno gubitka materijala za oplatu (cca 5% za jednu uporabu), a gubi se i beton curenjem iz oplata te su češće greške u kvaliteti izlivenih površina (pa se mora naknadno popravljati).
Poboljšane tradicionalne oplate	
A	- sklapaju se na građevini od tvornički proizvedenih ploča standardnih, modularnih dimenzija (šper ploče, iverice, lesanit ploče i dr. sa zaštitnim slojem - upotrebljive s jedne ili obje strane), koje se kombiniraju s drugim elementima

B	- za vertikalne i horizontalne elemente (zidove, stupove, ploče, grede); - od manjih modularnih elemenata prema potrebi se sastavljaju veći, a same osnovne modularne ploče zadovoljavaju oko 75% potreba za oplaćivanjem.
C	- manje sati rada, odnosno manje sati rada stručnijih radnika od rada s tradicionalnim oplatama, a uštede vremena su veće što je zahtijevana oplata elemenata složenija; (npr. za dvostranu oplatu ravnih zidova: 0,50 sati/m <sup>2</sup> PKT i 0,55 sati/m <sup>2</sup> KVT, a za ravne stropne ploče: 0,72 sati/m <sup>2</sup> PKT i 0,33 sati/m <sup>2</sup> KVT); - za veće i teže ploče potrebna je dizalica.
<b>Cjeloviti tvornički sustavi</b>	
A	- sklapaju se na građevini s pomoćnim alatima i prema procedurama optimiziranim od proizvođača; - oplatne ploče su vrlo kvalitetne, a uz njih postoje svi ostali elementi potrebni za određeni sklop.
B	- uže specijalizirani sustavi za zidove (ravne ili kružne), stupove, ploče, grede i dr. elemente.
C	- još manje sati rada, odnosno manje sati rada stručnijih radnika od rada s poboljšanim tradicionalnim oplatama; (npr. za dvostranu oplatu ravnih zidova: 0,35 sati/m <sup>2</sup> PKT i 0,35 sati/m <sup>2</sup> KVT, a za ravne stropne ploče: 0,35 sati/m <sup>2</sup> PKT i 0,30 sati/m <sup>2</sup> KVT); - nisu nužni majstori tesari već se kroz nekoliko tjedana radnici mogu obučiti za rad s određenim oplatnim sustavom; - za veće i teže ploče i druge elemente potrebna je dizalica.
<b>Predgovoljeni sklopovi (kao oplatni stolovi)</b>	
A	- izrađuju se u radionicama, a na građevini se samo premještaju (mogu biti na kotačićima) s jednog radnog mjesta/pozicije na drugo gdje se sam fiksiraju (napravljeni tako da se u određenoj mjeri mogu prilagoditi dimenzijama površine za oplaćivanje).
B	- za istovrsne površine koje se višestruko ponavljaju na građevini (oplatni stolovi za stropne ploče) ili za neke izuzetno složene oplate koje je problem izraditi na gradilištu i montirati od dijelova oplate na građevini.
C	- uštede u vremenu dolaze do izražaja to više što se oplatni sklop više puta iskoristi na jednoj građevini (obično je opravdano ako je barem 15 puta) jer utrošak rada na izradi je veći, ali je manje rada za montažu i demontažu; (npr. oplatni stolovi za ravne stropne ploče za izradu trebaju: 0,3 sati/m <sup>2</sup> PKT, 0,3 sati/m <sup>2</sup> KVT i 0,3 sati/m <sup>2</sup> VKT, ali za montažu i demontažu samo: 0,10 sati/m <sup>2</sup> PKT i 0,15 sati/m <sup>2</sup> KVT).
<b>Tunelske oplate (prostorne)</b>	
A	- istovremeno se izvodi oplaćivanje i onda betoniranje i zidova i ploče iznad njih; - mogu biti od jedne „školjke“ ili dvije „poluškoljke“ od čeličnog lima (između kojih se može ubaciti plošni element prilagođene dimenzije) - dubine najčešće 125 cm; - za montažu oplate zidova potrebno je dolje imati prethodno izbetonirane vodilice.
B	- za zidne stjenke i ploče na njima gdje tloris omogućava izvlačenje oplate u smjeru zidova; - najbolje ako se prostorni raspored višestruko ponavlja na građevini (zato treba projektirati građevinu imajući u vidu da će se koristiti ova oplata); - najviše se primjenjuje za višekatne zgrade, ali može i za druge građevine, kao npr. za zatvorene kanale.
C	- zbog težine oplatnih elemenata neophodna je dizalica (s prilagođenim alatom za zahvaćanje ovih elemenata); - utrošak rada radnika spušta se do 0,05 h/m <sup>2</sup> (zajedno s armiranjem i betoniranjem na oko 0,45 h/m <sup>2</sup> ).
<b>Klizne i podižuće (penjajuće ili kletter) oplate</b>	
A	- izrađuje se za cijeli tloris samo horizontalni pojas oplate (čelične ili rjeđe drvene ploče, visine obično 120 - 150 cm) koji se kreće duž cijele betonske površine (najčešće prema gore, ali može i drugačije); - klizna oplata se kontinuirano pomiče uz pomoć hidrauličkih preša, a oslanja se na čelične štapove koji se zabadaju u betonske stjenke (kada se popne do pred kraj zabiju se novi); - nakon podizanja na više od 2 m ispod se montira viseća platforma; - s gornje platforme dolazi se na radnu platformu (unutar tlorisa i. izvan tlorisa, uža vanjska platforma); - treba se raditi bez zaustavljanja (tri smjene po 8 sati na dan) i paziti da su platforme jednoliko opterećene; - podižuće (penjajuće) oplate (ploče i ostali elementi oplatnog sklopa) podižu se postupno, ako nije samopodižući sustav onda pomoću dizalice; - za podižuće oplate se unutar betonskog zida ugrađuju čahure u koje se nakon odvajanja oplate ugrađuju trnovi za vješanje konzolne skele (koja će na sebi držati oplatu kada se podigne na sljedeću visinu) ili se na zid fiksira zupčasta letva na koju se vješa cijela konstrukcija oplate.
B	- za visoke (barem 15 m) plohe koje su vertikalne ili pod manjim nagibom; - za tlorise manjih dimenzija (kod kojih su nepoželjni oštri kutovi), a betonske stjenke trebaju biti deblje od 14 cm; - mogu se koristiti i za linijske građevine (brane, zidove);



	- moguće je i klizanje prema dolje, s istovremenim potkopavanjem, pa se tako mogu izvoditi i crpne stanice.
C	- brzina izvođenja ovisi o brzini očvršćavanja betona, jer se oplata oslanja na prethodno izbetonirane slojeve stjenki građevine (ako se kliže ili postupno pomiče prema gore); - oplata se u pravilu kliže brzinom od 1,2 - 4,5 m konstrukcije na dan i to s nevelikim grupama radnika (najviše rade na postavljanju armature i betoniranju, a broj radnika ovisi o veličini tlorisa); - u slučaju kašnjenja dopreme betona klizanje se može usporiti, ali potpunim zaustavljanjem gubi se 1 - 2 dana (za nastavak rada treba prirediti površinu betona i druge prilagodbe oplata); - najveće brzine rada s podizanjem elemenata dizalicom je kada se rad organizirano taktno (po pojedinim stranicama, tj. pločama oplata); - nakon završavanja betoniranja ove oplata se uobičajeno spuštaju dizalicom (ionako je na gradilištu zbog podizanja ugrađenih materijala, a brže je nego pomoću sustava koji je podizao oplatu).
<b>Gumene oplata na napuhavanje (pneumatske)</b>	
A	- natlače se zrakom kako bi mogle primiti opterećenje od betona (najčešće cilindričnog, ali mogu i biti drugih oblika te dužine i do 30 m), a poslije betoniranja, kada beton dovoljno očvrstne, zrak se iz njih ispusti i tako se lako oslobađaju i vade iz unutrašnjosti gotove betonske konstrukcije.
B	- za unutarnju oplatu nekih zaobljenih konstrukcija/elemenata (cijevi, cilindrične plohe i sl.), koje mogu biti velikih dimenzija, tj. promjera (do 4 m); - lagane su (od više slojeva gume i tkanine, a broj slojeva ovisi o opterećenju od betona) i ne zahtijevaju puno alata
C	Literatura ne daje normative vremena rada, ali je potrebn rad sigurno dosta manji od prve tri vrste oplata jer je rad na montaži i demontaži puno jednostavniji i brži (gledajući iste elemente na kojima se mogu primjeniti).

Slike 2. i 3. pokazuju neke primjere uporabe tradicionalne oplata i suvremenih sklopova na hidrotehničkim građevinama i elementima hidrotehničkih sustava.



**Slika 2.** Tradicionalna oplata za betoniranje gornje ploče instalacijskog kanala velikog bazenskog kompleksa u Istri 2019. god. (lijevo), projekt vodovoda i kanalizacije (*The Big Pipe Water & Sewer Project*) u Portlandu izvođen 2009. god. s tvorničkim sustavom velikoplošnih oplata *Doka* [18] (u sredini) i podizanje visine brane na *Blue Lake* na Aljasci 2012. - 2015. god. pomoću *Peri* penjajuće oplata [19] (desno)



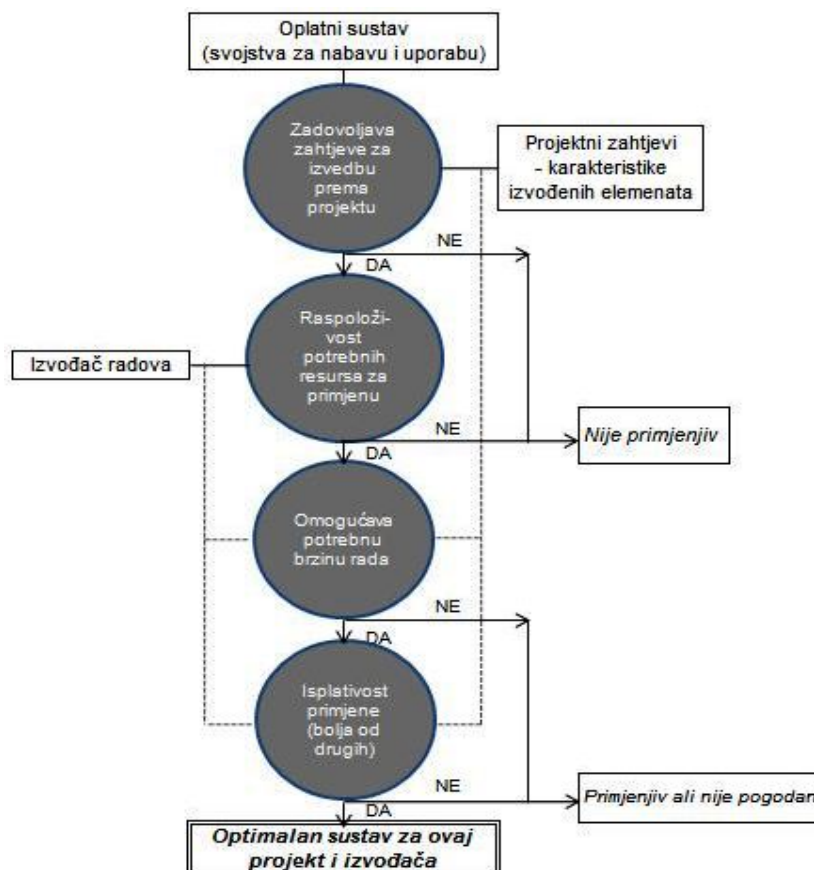


**Slika 3.** Horizontalno klizanje kanala (lijevo), primjena napuhane oplata za propuste (u sredini) i gumena oplata s metalnom jezgrom za kanalizacijska okna na cesti [8] (desno)

#### 4. Izbor najpogodnijeg oplatnog sustava

Kada se pogleda koliko ima različitih vrsta oplata i kako sve pružaju različite učinke i troškove, jasno je koliko je važno izabrati najprikladniju. Pojedine oplata, odnosno sustavi imaju svoje ograničeno polje primjene za koje su prvenstveno predviđene i gdje su najprimjerenije, ali često se mogu primjenjivati i šire, samo uz manju učinkovitost u radu. Nerijetko se događa da se raspoloživa oprema nastoji što više iskoristiti, pa se primjenjuje i za zadatke kada nije najpogodnija. To može dovesti do znatno većeg utroška vremena i s tim do prekoračenja rokova, a upitna je i kvaliteta betonskih elemenata [20].

Ne može se govoriti o najboljoj oplati općenito, već se za svaki konkretni slučaj treba posebno razmotriti sve primjenjive i realno ostvarive mogućnosti, pa onda odlučiti o izboru oplata. Proces odlučivanja o izboru oplata pokazan je na slici 4.



**Slika 4.** Sagledavanje oplatnog sklopa, projektnog zadatka i izvođača kod izbora za primjenu

Troškovi i rokovi izvedbe svakako su najvažniji kriteriji za izbor. Manje potrebnog vremena za rad s oplatama sastavljenim od tvornički izrađenih elemenata u odnosu na tradicionalne ne znači samo kraće trajanje aktivnosti, nego i manje izdataka po četvornom metru oplaćivanja. Treba imati u vidu da su te uštede veće kod složenijih oplata. Isto tako je pozitivno što suvremeni oplatni sustavi zahtjevaju radnike niže kvalifikacije, a imaju i neka sigurnosna rješenja za zaštitu na radu, koja prisiljavaju korisnike da ih stvarno primjenjuju. Kod razmatranja nabave oplatnih sustava treba uzeti u obzir i njihovu trajnost, odnosno mogući broj uporaba. Primjerice neblanjanjane daske obično se mogu iskoristiti za oplatne plohe 3 do 4 puta, tvornički proizvedne ploče na bazi drveta 20 do 50 puta, dobro zaštićene ploče (slojem na oplatnoj plohi i okovom rubova, naročito kutova) kao dio tvorničkih sklopova 100 do 150 puta, dok se čelične oplatne ploče mogu koristiti i nekoliko stotina puta [3], [6], [9] - [11].

Prije izrade, odnosno montaže oplata rade se nacrti i specifikacije oplata (plan oplata), u čemu danas veliku pomoć pružaju računalni programi, pogotovo za tvornički proizvedene sustave (razvili su ih proizvođači za svoju opremu). Ti programi štede vrijeme stručnjaka koji se s tim bave, a pružaju i optimalna rješenja s kojima se štedi potreban broj oplatnih elemenata za određene zadatke [6].





No, kvalitetni, cjeloviti oplatni sustavi redovito iziskuju mnogostruko veća početna ulaganja u odnosu na tradicionalnu i poboljšanu tradicionalnu oplatu. Fiksni troškovi, kao nabava (načelno jednokratni trošak, mada može biti i na kredit) i dovoz na gradilište za izvođača su isti bez obzira na količinu radova, barem do granice koja je moguća obzirom na eksploatacijski vijek, odnosno broj uporaba oplata.

Osim proračuna ekonomičnosti samih proizvođača oplata za svoje proizvode, koji su uvijek afirmativni (npr. uštede pokazane u [18]), i nezavisni istraživači diljem svijeta su radili anketna ispitivanja i mjerenja na gradilištima kako bi utvrdili koje oplata daju najbolje rezultate. U nekim slučajevima tradicionalne oplata pokazuju manje troškove (pogotovo kod neiskorištavanja mogućeg broja uporaba kvalitetnijih oplata), ali drugi kriteriji (brzina građenja) daju prednost suvremnoj opremi. U tablici 2. je pregled rezultata nekoliko recentnih inozemnih ispitivanja s usporedbom uporabe poboljšanih tradicionalnih oplata i suvremenih sustava na različitim građevinama. (Za Hrvatsku takvi podaci nisu publicirani.)

**Tablica 2.** Rezultati istraživanja isplativosti primjene različitih oplata u Aziji

Istraživanje	Zaključni rezultati
Tistogondo i ostali (2015)	Upotreba velikoplošnih <i>Peri</i> oplatnih sustava je skoro 13% skuplja od upotrebe poboljšane tradicijske oplata, ali je realizacija radova s njima brža za 24% [21].
Asadi i Praneeth (2017)	Troškovi <i>Mivan</i> sustava s aluminijskim oplatnim pločama su najveći među svim oplatnim sustavima, ali se smanjuju s ponavljanjem radova (tj. većim brojem uporaba). <i>Mivan</i> oplata ima kraće trajanje ciklusa rada u usporedbi s tradicionalnom oplatom i omogućuje bržu izgradnju [22].
Waghmare i ostali (2017)	Na 10.000 m <sup>2</sup> betonske površine u odnosu na poboljšanu tradicionalnu oplatu velikoplošna aluminijska ima niže troškove za 42,5%, a tunelska oplata za 60%. Rok završetka rada s aluminijskom oplatom je 2,8 puta kraći nego s tradicionalnom, a s tunelskom je 3,7 puta kraći [23].
Joshi i Lalit (2019)	Primjena <i>Peri</i> oplatnog sustava u usporedbi s poboljšanom tradicionalnom tehnologijom oplata može smanjiti ukupne troškove oplata za 71,5%, a ukupno vrijeme montaže s <i>Peri</i> sustavom je oko 3 puta brže [24].

Na gradilištima je zbog postizanja bolje iskorištenosti opreme i efekta uigravanja, pogotovo kod velikoplošnih oplata, najpogodniji takti način izvođenja radova. U tom slučaju oplatni sklopovi (ploče) se moraju planirati tako da se mogu ujednačeno koristiti u kontinuitetu tijekom svih narednih taktova. (Ako površine oplaćivanja na građevini nisu sasvim jednake to se rješava s manjim dopunama oplata, a broj sudjelujućih radnika određuje se tako da trajanje taktova bude usklađeno i procesi što bliže istoritmičnim.) Procjenjuje se da vrijeme oplaćivanja može biti i do 100% duže, ako se oplata ne obrće u optimalnim ciklusima [9].

Isplativost primjene određenog oplatnog sustava ovisi o količini rada s njim (površini oplaćivanja na nekoj građevini, odnosno gradilištu, a ako se razmatra nabava onda za planiranu količinu rada u cijeloj tvrtki). Granična površina oplaćivanja iznad koje je isplativiji učinkovitiji oplatni sustav (napredniji, s posljedično manjim proporcionalnim troškovima), ali s većim fiksnim troškovima (označen s II) od sustava s manjom nabavnom cijenom (manjim fiksnim troškovima) i većim proporcionalnim troškovima (označen s I) je omjer razlika njihovih fiksnih troškova i razlika proporcionalnih troškova (troškova rada i utrošenog materijala svedeni na trošak po m<sup>2</sup> oplatne površine). Grafički gledano, međusobnim

izjednačavanjem pravaca troškova dobiva se da je granična količina ( $X_{I-II}$ ) isplativosti između oplatnog sustava I i oplatnog sustava II:

$$X_{I-II}[m^2] = \frac{(Fiksni\ troškovi\ oplate\ II - Fiksni\ troškovi\ oplate\ I)[kn]}{(Proporcion.\ trošk.\ oplate\ I - Proporcion.\ trošk.\ oplate\ II)[kn/m^2]}$$

Ni veliki izvođači betonskih radova nemaju uvijek dovoljnu količinu radova koja bi opravdavala posjedovanje nekih specijaliziranih oplatnih sustava (za zadatke kakvi se rjeđe izvode). U slučaju kada nije osigurana dovoljna količina posla za kupnju optimalne opreme ili izvođač ne raspolaže s finacijskim sredstvima potrebnim za takvu investiciju, treba razmotriti mogućnost njenog uzimanja u najam za projekt koji ju zahtjeva.

U Europi je vrlo raširen najam oplata (npr. u Njemačkoj, Austriji, Mađarskoj i Češkoj čini 80% ukupne realizacije), ali u Hrvatskoj to baš nije tako često [20]. Iznajmljivanje može biti dobra odluka, pogotovo za manje tvrtke, jer je teško posjedovati oplatnu opremu koja najbolje odgovara za sve zadatke koji se u praksi javljaju. Obično se može iznajmiti najprimjerenija oplata za određeni projekt, a pri tome izvoditelj - unajmljivač nema troškova održavanja (samo osnovnog čišćenja). Prednosti su i kod skladištenja jer je moguća doprema na gradilište po principu *just in time* (kao što se i nakon završetka može odmah vratiti), pa se i na tome štedi i manje zauzima prostor (uopće nije potrebno skladištenje na centralnom pogonu u zimskom periodu). Veliki najmodavci (nekada su to i proizvođači oplatnih sustava, kao npr. *Doka* i *Peri*) pružaju dragocjenu stručnu pomoć i nadzor kod planiranja i uporabe njihove oplate za određenu građevinu. Treba iskalkulirati koliko se s boljom, unajmljenom opremom može uštedjeti u odnosu na izvedbu s manje pogodnom oplatom koju izvođač već posjeduje. Cijena mjesečnog najma oplatnih sustava u Hrvatskoj je oko 5% njihove vrijednosti i smatra se da to pokriva ušteda od 20% utroška radnog vremena s oplatom u odnosu na korištenje neke vlastite oplate koja nije optimalna za realizirane elemente/građevinu [20]. Jedna od postojećih opcija je i otkup oplatne opreme iz najma (prodajna cijena se tada umanjuje za iznos plaćen za najam).

Brazas i ostali (2016) su za odlučivanje o najmu oplate dali sljedeće kriterije, poredane po izračunatoj važnosti (TOPSIS metodom): cijena najma oplate, složenost tehnologije montaže, troškovi potrebnih strojeva, troškovi rada, potrebna tlačna čvrstoća betona prije skidanja oplate, vrijeme skidanja oplate (dana) i pouzdanost dobavljača [25].

## 5. Zaključak

Kod plaćavanja betonskih elemenata najistaknutiji su trošak plaće radnika, a to znači da što je brutto satnica radnika veća troškovi za oplate biti će još izraženiji u odnosu na ostale troškove. Stoga treba nastojati odrediti oplatna rješenja koja zahtjevaju manje rada radnika. (Primjenu nekih oplatnih sustava treba predvidjeti još u fazi projektiranja.) K tome, treba uzeti u obzir i sve veći nedostatak majstora za tesarske radove (suvremeni sustavi jednostavniji su za rad i za rad s njima mogu se obučiti i nekvalificirani radnici).

No, ni najsuvremeniji oplatni sustavi nisu uvijek najbolji izbor za sve hidrotehničke građevine i sve izvođače. Samo dobro poznavanje konkretnih uvjeta i raspoloživih mogućnosti pruža podlogu za izbor oplate koja će jamčiti očekivane rezultate. Uporaba neprimjerene vrste

oplate vjerovatno će imati nepovoljni utjecaj i na ostale građevinske procese i ostvarenje vremenskih i financijskih ciljeva cijelog izvođenog projekta

Dok na tržištu ima puno posla i cijene radova su povoljne za izvođače, kao što je sada slučaj, oni su uglavnom zadovoljni i ne nastoje ništa mijenjati. (Koliko je to pogrešan stav pokazuju teški problemi u koje dolaze u kriznim razdobljima.) Ako se uvijek radi kao što se radilo prije, za očekivati je da će se uvijek i dobiti ono što se do sada dobivalo. Uspješno usvajanje novih tehnologija rada može značajno podići konkurentnost izvođača, a najbolje vrijeme za to je upravo dok je stanje na tržištu povoljno za građevinare.

## 6. Literatura

- [1] Chen, Sheng-Hong: Hydraulic Structures. Berlin: Springer-Verlag GmbH Berlin/ Heidelberg, 2015. (ISBN 978-3-662-47330-6)
- [2] Vidaković, Držislav; Kovač, Bela: Organizacija rada i izbor najprimjerenije oplatne opreme – Oplatni sklopovi, VI. dio // *Graditelj*, 3(2006); 8-12. (ISSN 1330-3945)
- [3] Vidaković, Držislav, Brana, Petar, Dubrović, Ivan: Isplativost održavanja oplata za građenje // Zbornik radova 17. International Conference "Maintenance 2011" / Čala, Ivo (ur.). (ISBN 978-953-55219-3-8). Šibenik: Hrvatsko društvo održavatelja, Zagreb 23.-25.05.2011. s. 152-160.
- [4] Lab, Robert H.: Think formwork-reduced cost // *Structure Magazine*, April (2007), 14-16. (ISSN 2352-0124)
- [5] İlerisoy, Yeşim Zeynep; Tuna, Mehmet Emin: Construction costs of tunnel form buildings // *Građevinar*, 65(2013) 2; 135-141. (ISSN 1330-3945)
- [6] Bučar, Gorazd: Tesarski, armirački i betonski radovi na gradilištu, Osijek: Građevinski fakultet Sveučilišta J. J. Strossmayera, 1997. (ISBN 953-96691-3-8)
- [7] Kanaldeckelsanierung. kds technik, <https://www.kanaldeckelsanierung.de/> kanaldeckelsanierung (Pristup 20.8.2021.)
- [8] Schahctrahmenregulireung Hilfsgerate. Prospekt, Schwerte: Hermes Technologie GmbH&Co. KG, 2020.
- [9] Lončarić, Rudolf: Organizacija izvedbe graditeljskih projekata. Zagreb: Hrvatsko društvo građevinskih inženjera, 1995. (ISBN 953-96085-2-X)
- [10] Vidaković, Držislav; Kovač, Bela: Tehnologija oplaćivanja – Oplatni sklopovi, IV. dio // *Graditelj*, 1/2(2006); 46-51. (ISSN 1330-3945)
- [11] Hadžić, H. Rašid: Tehnologija izvođenja oplata, skela i lansirnih kobstruktivnih sistema. Sarajevo: Građevinski fakultet u Sarajevu, 2008. (ISBN 978-9958-638-15-2)
- [12] Verwimp, Evy; Tysmans, Tine; Mollaert, Marijke: Flexible formwork as reinforcement for curved concrete structures // *Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures Symposium 2013 „Beyond the limits of man”* / Obrębski, J. B.; Tarczewski, R. (ur.). (nema ISBN). Wroclaw: Wroclaw University of Technology, 23.-27.09.2013. s. 1-10.
- [13] Shalgar, Manas A.; Aradhya, Tejas D.: Introduction to advanced Tunnel Formwork system: Case study of 'Rohan - Abhilasha'N // *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4(2017) 3 294-297 (ISSN: 2395-0072)

- [14] Zayed, Tarek; Sharifi, Reza M.; Baci, Sandel; Amer, Mohamed: Slip-Form Application to Concrete Structures // *Journal of Construction Engineering and Management*, 134 (2008) 3; 157-168. (ISSN 0733-9364)
- [15] Hong, Geon-Ho; Jung, Seong-Won: Development of auto-climbing formwork system for composite core walls // *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 20 (2021) 4; 1-10. (ISSN 13472852)
- [16] Kromoser, Benjamin; Huber, Patrick: Pneumatic Formwork Systems in Structural Engineering // *Advances in Materials Science and Engineering*, Vol. 2016, Article ID 4724036; 1-13. (ISSN 16878434, 16878442)
- [17] Brief introduction to mandrel of pneumatic rubber, <https://kfaosheng.en.made-in-china.com/product/qKwmLbjZupA/China-Inflatable-Rubber-Culvert-Mandrel-with-Lower-Price.html> (Pristup 10.8.2021.)
- [18] Doka: Solutions on Site with Frami Xlife. Stručni priručnik, 2014.
- [19] Peri: Formwork Scaffolding Engineering. Stručni priručnik, 2016.
- [20] Vrančić, Tanja: Oplatni sustavi // *Građevinar* 57(2005) 4; 293-299 (ISSN 1330-3945)
- [21] Tistogondo, Julistyana; Kurniawan; Fredy; Firdaus, Ahmad: The Comparison between Semi Conventional and Peri Scaffolding: Cost and Time Comparison at Tunjungan Plaza 6 Project in Surabaya // *Proceedings of Narotama International Conference on Civil Engineering 2015* / Fredy Kurniawan (ur.). (ISBN 978-602-72437-2-9). Narotama: Narotama University Press, 6.-7.11.2015. s. 153-159.
- [22] Asadi, S. S.; Praneeth, P. V.: A comparative study for evaluation of different form work systems utilization in construction projects // *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 8(2017) 11; 21-29. (ISSN 0976-6340)
- [23] Waghmare, Ashish P.; Hangarge, Renuka S.: Cost and Time estimation for Conventional, Aluminium & Tunnel Formwork // *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4(2017), 7; 1704-1707. (ISSN 2395-0072)
- [24] Joshi, Manan; Lalit, Ruchika: Comparative study between conventional and Peri formwork system on the basis of time and cost // *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 6(2019) 6; 237-246. (ISSN-2349-5162)
- [25] Brazas, Gintas; Daukšys, Mindaugas; Šadauskienė, Jolanta; Augonis, Mindaugas; Kelpša, Šarūnas: Productivity Analysis of Concrete Slab Construction by Using Different Types of Formwork // *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering*, 2(2016) 15; 38-46. (ISSN 2029-9990)



## Zaštita od suvišnih voda (dijela Jelas polja) *Protection against excess water (part of Jelas Polje)*

S. Maričić<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Hrvatska

\* [smaricic@gfos.hr](mailto:smaricic@gfos.hr)

### Sažetak

Proizvodnja hrane (poljoprivreda) presudni je element opstanka ljudskih zajednica te bi opći interes trebao biti usmjeren njezinom razvoju. Tijekom povijesti sve veće površine zemljišta su privođene poljodjelstvu, a pri tom, osim krčenja (prenamjene) i oblikovanja, važnu ulogu ima i uspostrava sustava za popravak vodo-zračnog režima tla. Na temeljne osobine zaštite od suvišnih voda može se ukazati adekvatnim postojećim primjerom.

U radu je predstavljen hidrotehnički sustav zaštite zemljišta od suvišnih voda dijela Jelas polja (hrvatske posavine). Na izdvojenom dijelu poljoprivrednog zemljišta (Krčevine, kod mjesta Radovanje) prikazana je problematika te složenost i osjetljivost zaštite od voda. Radi se o složenom hidrotehničkom sustavu s tri glavna podsustava. To su sustav zaštite od brdskih voda, sustav slivne odvodnje te sustav zaštite od velikih voda rijeke Save.

Iz prikaza i osobina ovih podsustava razvidna je nužnost da su svi funkcionalni, a ukupna efikasnost ovisi o koincidenciji glavnih ugroza – velike količine oborina i visokih vodostaja Save. Posebno je analizirana uloga dobrog održavanja svih elemenata sustava čime se utječe na njegovu efikasnost.

**Ključne riječi:** vodo-zračni režim tla, Jelas Polje, sustav zaštite od suvišnih voda, održavanje

### Abstract

Food production (agriculture) is a crucial element of the survival of human communities and the general interest should be focused on its development. Throughout history, increasing areas of land have been brought to agriculture, and in addition to clearing (conversion) and shaping, the establishment of a system for repairing the water-air regime of the soil also plays an important role. The basic features of protection against excess water can be pointed out by an adequate existing example.

The paper presents the hydrotechnical system of land protection from excess water in the part of Jelas Polje (Croatian Posavina). On a separate part of agricultural land (Krčevine, near settlement Radovanje), the problems and complexity and sensitivity of water protection are presented. It is a complex hydraulic system with three main subsystems. These are the system of protection against mountain waters, the system of drainage and the system of protection against large waters of the Sava River.





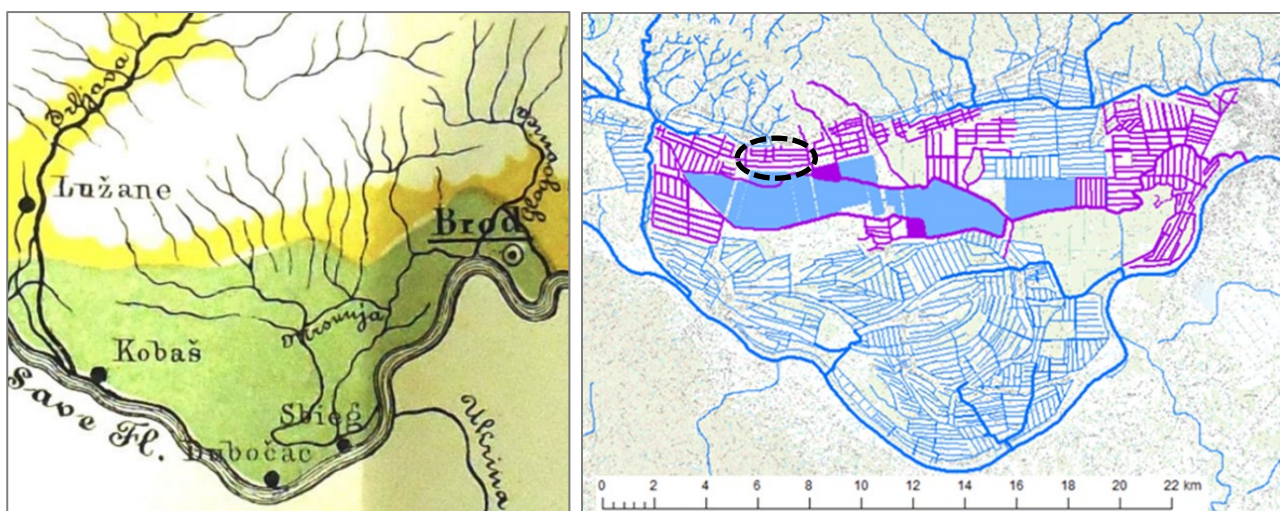
From the presentation and characteristics of these subsystems, it is clear that they are all functional, and the overall efficiency depends on the coincidence of the main threats - high rainfall and high water levels of the Sava. The role of good maintenance of all elements of the system, which affects its efficiency, is especially analyzed.

**Key words:** water-air soil regime, Jelas Polje, excess water protection system, maintenance

## 1. Uvod

Pokazalo se da su, i pored skupih i velikih, izvedenih te uspostavljenih sustava za zaštitu od štetnog djelovanja voda, štete neizbježne i izazivaju ozbiljne društvene krize. Da bi te krizne situacije što bolje savladali potrebno je povremeno ukazivati na osobine postojećih sustava, njihova ograničenja kao i mogućnosti te primjerene načine ponašanja i djelovanja u kriznim situacijama. [1].

Zaštita od štetnog djelovanja vode ostvaruje se putem više raznih hidrotehničkih sustava. Voda u svom kruženju po Zemlji ugrožava ljude naglom pojavom, velikom količinom, koncentriranom razornom snagom, ali i upornim, dugotrajnim radom. Nastojeći parirati tome razvijeni su tehnički sustavi regulacije korita rijeka, sustavi akumuliranja i reteniranja količina vode, protupoplavni sustavi usmjeravanja i raspodjele toka, sustavi zaštite od erozijskih procesa (uređenja brdskih vodotoka i strmih površina terena) i drugi. Ti sustavi najčešće ne djeluju pojedinačno već jedni na druge utječu ili pridonose zajedničkim efektima. Za neku sredinu, važno je znati što pridonosi njenoj sigurnosti, na koji način i kako se treba ponašati u nekim okolnostima. Nažalost, nerijetki su slučajevi da se učilo tek na vlastitim nesrećama. U nastavku je predstavljen jedan primjer poljoprivredne sredine čije stanje i proizvodne mogućnosti ovise o složenom hidrotehničkom sustavu sa tri važna podsustava. Često je vlasnicima zemljišta i nestručnim ljudima teško razumjeti kako takvi sustavi funkcioniraju, a njihov prosperitet pa i opstanak ovise o tome. [1, 2].



**Slika 1.** Hidrološki zemljovid brodske posavine iz 1874. [3] i današnja hidrografska mreža za odvodnju sliva Jelas polja s istaknutim dijelom koji gravitira rijeci Mrsunja



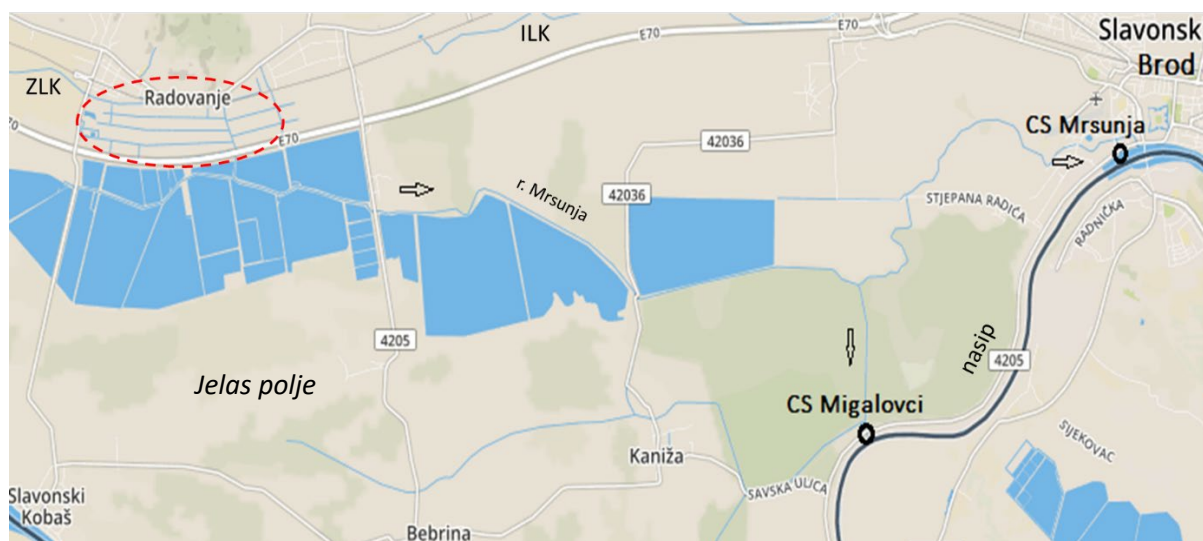


## 2. Područje razmatranja: Jelas polje – Krčevine

Jelas polje je nizinsko područje doline rijeke Save. To je lijevoobalni prostor negdje između 360-tog i 400-tog riječnog kilometra Save. S jugozapadne, južne te s jugoistočne strane omeđuje ga glavno korito rijeke Save. Prirodne granice su mu vodotok Orljava na zapadu, rub sliva potoka Glogovica na istoku te sa njegove sjeverne strane južni obronci Dilj gore. Hidrološku bit ovog područja dobro predočava, gotovo stoljeće i pol stari, zemljovid dat na slici 1 (lijevo), [3]. Jednom je bojom označena ocjedita ravnica, a drugom aluvijalna nizina, ponajviše izložena poplavama ucrtanih vodotoka. Na aktualnijoj slici (desno) je označena lokacija poljoprivrednih površina, domicilno poznata kao Krčevine, koje se nalaze uz naselje Radovanje u općini Oriovac. Uočljivo je da Jelas polje obiluje vodenim površinama jer ima i znatan broj ribnjačkih bazena, a razmatrana lokacija je u njihovoj blizini. Areal Krčevine specifično određuju: nasip željeznice s gornje, sjeverne strane i nasip autoceste s južne.

## 3. Hidrotehnički sustavi koji štite Krčevine od štetnog djelovanja vode

Melioracijska odvodnja relativno malog područja Krčevina riješena je s četiri poduža osnovna kanala koji prihvaćaju površinske i podzemne vode s priležećih poljoprivrednih tabli, ali i još neke pritječuće vode, s drugih površina. Ovi kanali ulijevaju se u prirodni, ali uređeni bujičar Topolovac, koji prikupljene količine vode provodi propustom ispod autoceste i, preko ustave, isporučuje u korito rijeke Mrsunje, (slika 2). Vodotok Mrsunja prikuplja vode iz još nekoliko sličnih odvodnih podsustava (što je vidljivo na slici 1, desno) te ih provodi do korita rijeke Save kao glavnog recipijenta slivnih voda. Ovaj odvodni sustav ima još dva bitna tehnička segmenta koja su morala biti ostvarena za njegovo uspješno koncipiranje. To su: podsustav prihvata vanjskih brdskih voda (sa južnih padina Dilj-gore) obodnim (lateralnim) kanalima i podsustav zaštite od poplavnih voda rijeke Save.



**Slika 2:** Položaj Krčevina i mjerodavnih elemenata sustava njegove odvodnje

Za prihvat i evakuaciju vanjskih (tuđih) voda s viših terena izgrađeni su: istočni lateralni kanal (ILK) Jelas polja te zapadni lateralni kanal (ZLK) Jelas polja, kojima se bujične vode usmjeravaju u tok rijeke Save (slika 2) i štiti nizinsko područje (Jelas polje). Istočni lateralni kanal dug je 21,74 km. Trasa mu ide od ušća u Savu istočnim dijelom Slavenskog Broda prema sjeveru, a potom od ušća najvećeg pritoka Glogovice skreće prema zapadu. ILK prima pritoke samo s lijeve, sjeverne strane s južnih obronaka Dilj-gore. Zapadni lateralni kanal dug je svega 4,74 km i odvodi sve brdske potoke između Radovanja do Malina u donji tok rijeke Orljave. Ipak postoje još neki, obodnim kanalima neobuhvaćeni, bujičnjaci (s obronaka Magovca), koji odvođe i dio naselja Radovanje i propustima ispod željezničke pruge pristižu u područje Krčevina. [4, 5].

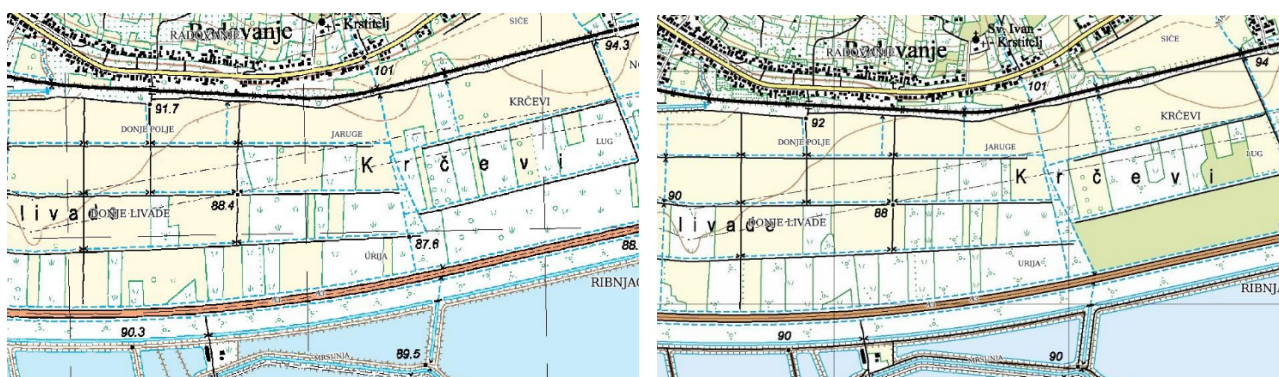
Podsustav zaštite od savskih velikih voda posljedica je gradnje nasipa uz lijevu obalu glavnog korita Save, kojim se dio nekadašnjeg prostora, po kojem su se razlijevale velike vode (nekadašnje inundacije), počeo štiti i koristiti za intenzivniju poljoprivrednu proizvodnju. Da bi se omogućila odvodnja vlastitih (unutarnjih) voda tako branjenog područja, u vrijeme visokih vodostaja Save, izvedeni su tzv. hidrotehnički čvorovi (sklopovi). U biti, ti čvorovi se sastoje od ustave na glavnom odvodnom koritu i crpne stanice za mehaničko dizanje i evakuaciju pristigle vode. Za potrebe područja Jelas polja (dijela sliva od blizu 20.000 ha) izgrađeno je (između 1938. do 1990. godine) četiri čvora (crpne stanice) sa ugrađenih 14 crpki, ukupnog kapaciteta 32,4 m<sup>3</sup>/s. To su, po slijedu gradnje: CS Dubočac (4,4 m<sup>3</sup>/s), CS Mrsunja (8,0 m<sup>3</sup>/s), CS Migalovci (12,0 m<sup>3</sup>/s), i CS Grlić (8,0 m<sup>3</sup>/s). [4, 5, 6]. Za uspješnu odvodnju suvišnih voda u poljoprivrednoj proizvodnji nužno je da sva tri osnovna segmenta ovog složenog hidrotehničkog sustava obavljaju svoju zadaću. Za odvodnju ovdje razmatranog područja, Krčevina bitni su hidrotehnički čvorovi (ustava + crpna stanica) Migalovci i Mrsunja (slika 2) gdje završavaju njegove suvišne vode. Uključivanje u pogon i režim rada ovih objekata definirani (uređeni) su pravilima vezanim za ustroj šireg sustava obrane od poplava Save (prema Zakonu o vodama i njegovim podzakonskim aktima). Ustave ovih hidrotehničkih čvorova (prema Uputama za rad) zatvaraju se kad je vodostaj 380 cm na AVP Slavonski Brod, tj. kada se dostigne kota 85,60 m nadmorske visine. Porastom vodostaja uključuje se potreban broj pojedinih crpki kojih je četiri (2+4+4+2, m<sup>3</sup>/s) na CS Migalovci i četiri (2+2+2+2, m<sup>3</sup>/s) na CS Mrsunja. Nastoji se koristiti jeftinija struja u noćnim satima (od 22,00 do 8,00 sati), ali po potrebi crpi se i 24 sata punim kapacitetom. Pri tom se nastoji održavati određeni raspon razina vode dovodnog kanala na svakoj od crpnih stanica. [7-10].

Prilikom slobodnog (gravitacijskog) otjecanja ustava Migalovci kapacitira, svojevremeno određenu 25-godišnju, veliku vodu od 43,5 m<sup>3</sup>/s s usporom od 0,41 m, pri čemu kota usporene vode kod ustave doseže 86,46 m nadmorskih. Mehanička (prisilna) odvodnja ograničena je maksimalnim kapacitetom crpne stanice Migalovci od 12,0 m<sup>3</sup>/s. Dakle, kod mehaničke odvodnje nastoji se ne prekoračiti kotu uspora, ali sa manje od 30% predviđenog kapaciteta od onog za deklariranu 25-godišnju vodu. To znači da je stupanj zaštite u takvim, rijetkim situacijama znatno manji. Ovih okolnosti mnogi korisnici tog prostora nisu svjesni.



#### 4. Analiza stanja odvodnog sustava

Područje Krčevina je građevinskim zahvatima formirano u melioracijske table pogodne za suvremenu poljoprivrednu proizvodnju. Melioracijske table su rascjepkane u vlasničke parcele i na njima se različito koristi tlo. Na starijim i novijim kartama te nedavnim snimcima ovog područja (slika 3) zamjetno je zapostavljanje poljoprivredne proizvodnje. Posljedica je to nepovoljnih elemenata društveno-ekonomskih prilika i zapostavljanja odvodnih hidrotehničkih sustava. Mnoge parcele su privatizirane, novi vlasnici i korisnici zemljišta suočavaju se s rascjepkanom proizvodnjom i problemima prekomjerne vlage. U takvim uvjetima proizvodnja je nesigurna i nedovoljno motivirajuća. U tom smislu važno je proizvođačima dati jasne odrednice mogućnosti i preduvjeta postojećih hidrotehničkih sustava o čijem funkcioniranju ovise okolnosti i uspješnost poljoprivredne proizvodnje.



Starija i novija karta - sve je više zapuštenih (zaraslih) tabli, a neke tako postaju i šumske

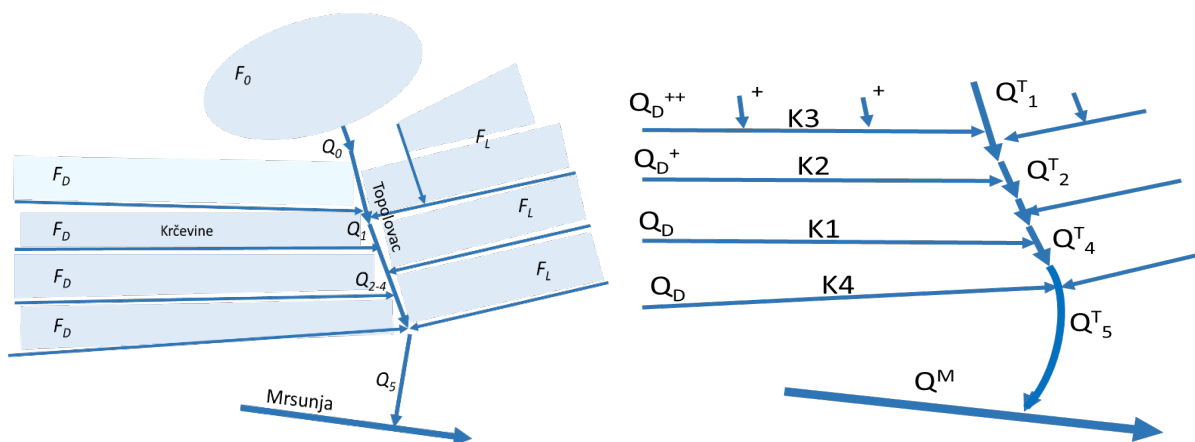


Stariji (2011.) ortofoto (geoportal.dgu.hr) i noviji (2020.) Google Maps API/Google Earth API

#### Slika 3: Promjene korištenja zemljišta uočljive na karografiji razmatranog područja

Za analizu stanja odvodnog sustava treba načiniti shemu proračunskog modela. Za razmatrano područje (Krčevine) prikladne sheme su predočene na slici 4. Ovaj dio šireg sustava obuhvaća slivnu površinu koja gravitira prema manjem recipijentu - potoku Topolovac. Kao što je već istaknuto, radi se o prirodnom bujičaru koji je reguliran (kanaliziran) i osposobljen za prihvata i provođenje slivnih voda do višeg recipijenta – rijeke Mrsunje. Svaki detaljni kanal i svaka dionica kanala-skupljača moraju provesti odgovarajuću količinu vode za predviđenu zaštitu određenog stupnja (povratnog perioda).





**Slika 4:** Shematski prikazi: sustava površinske odvodnje recipijenta Topolovac (lijevo) i mreže kanala s mjerodavnim protocima odvodnje područja Krčevina (desno);

Količine vode pojedinih dionica kanalske mreže ovise o osobinama pale oborine, a dubina vode u njima je veća ako nizvodni tok izaziva usporne efekte. Analiza je provedena s dnevnim kišama od 30 i 70 mm (jer je to rang maksimalnih ovdašnjih dnevnih kiša po mjesecima) pri slobodnom otjecanju (bez uspora). Konstatirano je da postojeći kanali (dubine 1,5 m) omogućuju primjerenu odvodnju i regulaciju vodo-zračnog režima tla.

### Tablice I i II:

Varijacije hidrauličkih elemenata otjecanja detaljnim kanalima (lijevo) te koritom potoka Topolovca (desno) meloracijskih tabli područja Krčevine

$I$ (%)	$n$	$B$ (m)	$m$	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	$H$ (m)
0,20	0,030	1,0	1,5	0,12	0,21
0,20	0,030	1,0	1,5	0,28	0,33
0,60	0,030	1,0	1,5	0,12	0,15
0,60	0,030	1,0	1,5	0,28	0,25
0,02	0,030	1,0	1,5	0,12	0,39
0,02	0,030	1,0	1,5	0,28	0,61
0,20	0,035	1,0	1,5	0,12	0,23
0,20	0,035	1,0	1,5	0,28	0,36
0,60	0,035	1,0	1,5	0,12	0,17
0,60	0,035	1,0	1,5	0,28	0,27
0,02	0,035	1,0	1,5	0,12	0,43
0,02	0,035	1,0	1,5	0,28	0,66
0,20	0,040	1,0	1,5	0,12	0,25
0,20	0,040	1,0	1,5	0,28	0,39
0,60	0,040	1,0	1,5	0,12	0,18
0,60	0,040	1,0	1,5	0,28	0,29
0,02	0,040	1,0	1,5	0,12	0,46
0,02	0,040	1,0	1,5	0,28	0,70

	$I$ (%)	$n$	$B$ (m)	$m$	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	$H$ (m)
$Q_0$ 30mm	2,0	0,030	1,0	1,5	0,21	0,15
	2,0	0,035	1,0	1,5	0,21	0,16
	2,0	0,040	1,0	1,5	0,21	0,18
$Q_0$ 70mm	2,0	0,030	1,0	1,5	0,49	0,24
	2,0	0,035	1,0	1,5	0,49	0,26
	2,0	0,040	1,0	1,5	0,49	0,28
$Q_1$ 30mm	2,0	0,030	1,0	1,5	0,43	0,23
	2,0	0,035	1,0	1,5	0,43	0,25
	2,0	0,040	1,0	1,5	0,43	0,26
$Q_1$ 70mm	2,0	0,030	1,0	1,5	0,99	0,36
	2,0	0,035	1,0	1,5	0,99	0,39
	2,0	0,040	1,0	1,5	0,99	0,41
$Q_2$ 30mm	0,15	0,030	1,0	1,5	0,55	0,51
	0,15	0,035	1,0	1,5	0,55	0,56
	0,15	0,040	1,0	1,5	0,55	0,60
$Q_2$ 70mm	0,15	0,030	1,0	1,5	1,27	0,78
	0,15	0,035	1,0	1,5	1,27	0,84
	0,15	0,040	1,0	1,5	1,27	0,89
$Q_3$ 30mm	0,15	0,030	1,0	1,5	0,61	0,54
	0,15	0,035	1,0	1,5	0,61	0,59
	0,15	0,040	1,0	1,5	0,61	0,63
$Q_3$ 70mm	0,15	0,030	1,0	1,5	1,43	0,83
	0,15	0,035	1,0	1,5	1,43	0,89
	0,15	0,040	1,0	1,5	1,43	0,95
$Q_4$ 30mm	0,15	0,030	1,0	1,5	0,73	0,59
	0,15	0,035	1,0	1,5	0,73	0,64
	0,15	0,040	1,0	1,5	0,73	0,68
$Q_4$ 70mm	0,15	0,030	1,0	1,5	1,71	0,90
	0,15	0,035	1,0	1,5	1,71	0,97
	0,15	0,040	1,0	1,5	1,71	1,03
$Q_5$ 30mm	0,15	0,030	1,0	1,5	0,92	0,67
	0,15	0,035	1,0	1,5	0,92	0,72
	0,15	0,040	1,0	1,5	0,92	0,77
$Q_5$ 70mm	0,15	0,030	1,0	1,5	2,16	1,00
	0,15	0,035	1,0	1,5	2,16	1,08
	0,15	0,040	1,0	1,5	2,16	1,15



No, kada glavni recipijent Sava nabuja njezini vodostaji na graničnoj dionici znaju premašivati 91,0 m n.m. što za razmatrano područje Krčevina (čiji niski teren je na 87,50 m n.m.) predstavlja ozbiljnu prijetnju. U takvim slučajevima odvodnja se odvija mehanički uz zatvorene ustave i značajniji uspor kompletom toku u kanalskoj mreži te je moguće i povremeno prelijevanje iz korita.

## 5. Održavanje sustava

Da bi se područje Jelas polja zaštitilo od štetnog djelovanja voda, potrebno je hidromelioracijske sustave stalno dograđivati i kontinuirano održavati, jer u protivnom i kvalitetno izvedena rješenja ne daju očekivane rezultate. [11]. Nažalost, činjenica je da je održavanje hidromelioracijskog sustava u 80-tim godinama prošlog stoljeća bilo neredovito, a u razdoblju 1991.-1995. godina potpuno je zamrlo. [6, 12].

Održavanje melioracijskih kanala i korita uređivanih prirodnih vodotoka je zahtjevno. Posebno je važna propusna moć korita glavnih skupljača slivne vode. Gdje god bilo, svako zamuljenje korita, obraslost korita vodenim biljem uz obale i zakrčenost obala bujnim raslinjem smanjuje propusnu moć korita, tj. usporava tok – uspostavlja veću dubinu toka ( $h$ ) za istu količinu protjecanja ( $Q$ ). [11].

Zaraslost korita se u inženjerskom izračunu obuhvaća izborom adekvatnog koeficijenta otpora (Manning-ov koeficijent). Iz priloženih tablica (I i II) se može vidjeti kako se različiti uvjeti korita odražavaju na protok i dubinu vode. Ovdje su korištene približne dimenzije glavnih provodnika (dovodnih kanala i Topolovca). Vidljivo je da nedostatno održavanje korita može izazvati povećanje dubine vode u koritima oko 10-20 %.

Zbog ratnih događanja te društvenih i gospodarskih promjena nezahvalno je govoriti o održavanju sustava po pravilima struke. Inače, potrebno je provoditi tehničko i gospodarsko održavanje vodotoka i cjelokupne kanalske mreže kako je propisano *Pravilnikom o tehničkim, gospodarskim i drugim uvjetima za uređenje sustava melioracijske odvodnje, te osnovama za tehničko i gospodarsko održavanje sustava* (NN, br. 4/98.), [13]. Postojeći sustav regulacija na vodotocima također traži kontinuirano održavanje. U sustavu obrane od poplava planirani radovi obuhvaćaju tehničko i gospodarsko održavanje postojećih zaštitnih vodnih građevina. [7, 8].

Površina rijeke i kanala Mrsunja te pojasi obostrano u širini od 20,0 m od ruba pokosa njihovih korita su javno vodno dobro; površina kanala II. reda bujičara Topolovac i pojasevi obostrano u širini od 5,0 m od ruba; regulacijske i vodne građevine su dobra od interesa za Republiku Hrvatsku i u njenom su vlasništvu.

Recipijenti voda predmetnog područja traže redovno izmuljenje - tehničko čišćenje dna korita. Dakako, treba provoditi gospodarsko i tehničko održavanje i svih ovdje prisutnih melioracijskih kanala po Pravilniku.

Prema normativima i standardima „Hrvatskih voda“, [15], za redovno održavanje hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje predviđeno je:

*Gospodarskim održavanjem sustava melioracijske odvodnje smatraju se: redovna kontrola rada odvodnje, kontrola rasta vegetacije, odstranjivanje raslinja i manjih količina nanosa u vodotocima sustava, popravci manjih oštećenja objekata, te ostali radovi kojima se*





*osigurava normalan rad objekta (stepenice, ustave, crpne stanice i dr.) i pogonska ispravnost hidrotehničke i ostale u njih ugrađene opreme.*

*Ovi se radovi obavljaju, ovisno o tehničkim značajkama melioracijskih vodnih građevina i prirodnim značajkama područja ili tla, redovno svake godine u potrebnoj učestalosti: jedanput (1) do dvaput (2) godišnje.*

Obilazak i pregled terena i stanja objekata te sastavljanja zapisnika o stanju vodnih građevina za potrebe gospodarskog održavanja obavlja se najmanje dva puta godišnje.

Glavni radovi gospodarskog održavanja za sve osnovne melioracijske objekte [gdje spadaju melioracijski vodotoci (melioracijski objekti I. reda), glavni odvodni kanali (melioracijski objekti II. reda) te detaljni melioracijski objekti - sabirni ili grupni kanali (melioracijski objekti III. reda) i parcelni ili detaljni kanali (melioracijski objekti IV. reda)] prvenstveno su: *Kontrola i suzbijanje rasta trave i korova košnjom strojevima. Pokošena vegetacija se suši, skuplja, spaljuje ili odvozi. Radovi se obavljaju priključnim, samohodnim kosilicama raznih konstrukcija i zahvata košnje, te plovnim kosilicama: u inudacijama, na bankinama i pokosima ili u dnu kanala (u suhom ili u vodi). Radovi se obavljaju jedan (1) do dva (2) puta godišnje u vremenu od svibnja do listopada.*

Za ostale objekte na melioracijskim kanalima (među kojima su i cijevni propusti) glavni radovi su: *Kontrola propusne moći objekata i odstranjivanje nanosa, raslinja ili predmeta iz protjecajnog profila. Radovi se obavljaju u pravilu ručno, ali i strojno (visokotlačnim crpkama) kod tipskih propusta, čepova ili sifona i obavljaju se prema potrebi; te Košnja trave i korova neposredno uz objekt (uzvodno i nizvodno). Rad se obavlja u pravilu ručno. Radovi se obavljaju najmanje dva (2) puta godišnje.*

Da bi se predstavljeni Pravilnik [13] uopće mogao primijeniti, potrebno je melioracijski sustav dovesti u „normalno“ stanje funkcioniranja i onda takav sustav redovno održavati. [15]

Poslije svega navedenog kao značajni ističu se slijedeći elementi. Po pravilima, svakih 15 godina treba rekonstruirati glavne provodnike i osigurati im potrebnu propusnu moć, a tu spada korito Mrsunje (koje je na popisu državnih melioracijskih građevina I. reda). Uz pretpostavku da su radovi održavanja korita većih vodotoka mjestimično provedeni unutar propisanog vremenskog okvira i da se to okvalificira kao održavanje prema „mogućnostima društva“, kanalizirani vodotok - bujičar Topolovac (glavni odvodnik) izmuljen je (rekonstruiran) tek 2016. godine.

Održavanje detaljnih kanala i sakupljača u području Krčevina provodile su Hrvatske vode. One su planirale radove, ugovarale njihovu izvedbu i nadzirale provedbu. Uvijek ističu da se radi o „redovitom održavanju“ pod čim podrazumijevaju jednom godišnje košnju dna, pokosa i bankina korita. Poljoprivrednici ukazuju na lošu praksu da se pokošena biljna masa ne uklanja iz korita te da se nisu čistili propusti. Nadzorni inženjeri su ovjeravali uredno izvršenje radova koji podrazumijevaju otklanjanje i zbrinjavanje pokošenog materijala te čišćenje propusta. Prilike na terenu ukazuju na močvarni karakter područja (slika 5) iz čega proizlazi zaključak o potrebi češće košnje izraslog bilja te obaveznog uklanjanja otkosa iz korita jer se radi o šašu i trci, biljkama širokog i dugog lišća, većih i čvrstih stabljika. Jedna košnja godišnje i to ako je izvan perioda izrazitog vegetacijskog rasta nije dovoljna da osigura gospodarski primjerenu propusnost kanala.



**Slika 5:** Stanje kanalske mreže u proljeće 2020. godine (fotografije iz arhive autora): korito skupljača Topolovca - pogled nizvodno; jedan detaljni kanal (K1) - pogled uzvodno

## 6. Zaključak

Hidrotehnički sustavi, intenzivno uspostavljeni tijekom prošlog stoljeća, suočavaju se sa društveno-ekonomskim izazovima. Zapostavljeni su na prijelazu tisućljeća, a nastoje se revitalizirati u novonastalim okolnostima reorganizacije vodnog gospodarstva i privatizacije općenito te posebno u poljoprivrednoj proizvodnji. Može se reći da su današnji poljoprivrednici i novi ustroj upravljanja vodama u svojevrsnoj fazi usaglašavanja.



## 7. Literatura

- [1] Bonacci, Ognjen. Upravljanje vodnim resursima u novim uvjetima // *Izazovi u graditeljstvu 2* / Lakušić, Stjepan (ur.). (ISBN 978-953-6686-15-5), Zagreb, Hrvatski savez građevinskih inženjera, 2014., str. 160-187.
- [2] Petošić, Dragutin; Tomić, Frane. (2011): Reguliranje suvišnih voda; (ISBN 978-953-6135-94-3), Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Zagreb;
- [3] Baurath, Beyer, Lassbacher. Die Regulirung des Saveflusses, dann die Ent- und Bewässerung des Savethales in Kroazien und Slavonien; Herausgegeben über Anordnung des k. k. Generalcommando's in Agram; 1876.  
(iz: [http://darhiv.ffzg.unizg.hr/id/eprint/4971/1/Diplomski%20rad\\_Jakop%C4%8Di%C4%87.pdf](http://darhiv.ffzg.unizg.hr/id/eprint/4971/1/Diplomski%20rad_Jakop%C4%8Di%C4%87.pdf))
- [4] Piha, Davorin. VGI za mali sliv „Brodsko Posavina“ // *Hrvatska vodoprivreda*, (ISSN 1330-321X I UDK 628), Hrvatske vode Zagreb, broj 213, godište XXIII., listopad/prosinac 2015. str. 24-33.
- [5] Plan navodnjavanja Brodsko-posavske županije, broj projekta I-859/06, Hidroing d.o.o. Osijek, izradio: Tadić Zdenko i suradnici, investitor: Brodsko-posavska županija i Hrvatske vode, Osijek, kolovoz 2007.
- [6] Budišić, Dražen. Stanje melioracijskih sustava na vodnom području Save. *Hrvatske vode*, (ISSN 1330-1144), broj 45, godina 11, prosinac 2003.
- [7] Zakon o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14)
- [8] Državni plan obrane od poplava (NN 84/2010)
- [9] Glavni provedbeni plan obrane od poplava, Klasa 325-02/14-06/7, Ur. broj 374-1-01-14-2 od 7. veljače 2014. g.,
- [10] Provedbeni plan obrane od poplava branjenog područja Sektor D - srednja i donja Sava, branjeno područje 2, Područje maloga sliva Brodsko Posavina; Hrvatske vode, ožujak 2014.;  
[https://www.voda.hr/sites/default/files/clanak/bp\\_10\\_-\\_provedbeni\\_plan\\_obrane\\_od\\_poplava.pdf](https://www.voda.hr/sites/default/files/clanak/bp_10_-_provedbeni_plan_obrane_od_poplava.pdf)
- [11] Kos, Zorko. Potrebe, principi i načini održavanja odvodnih hidromelioracijskih sustava; Priručnik za hidrotehničke melioracije; I. kolo Odvodnjavanje; knjiga 6. Održavanje; (ISBN 978-953-6953-13-4), Društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje Hrvatske, Zagreb; str. 1-25; 1991.
- [12] Šošarić, Jasna; Romić, Davor; Marušić, Josip; Josipović, Marko; Petošić, Dragutin. Stanje melioracijskih sustava za odvodnju i navodnjavanje u Republici Hrvatskoj // *Zbornik radova 51. hrvatskog i 11. međunarodnog simpozija agronoma* / Pospišil, Milan; Vnučec, Ivan (ur.). (ISBN 978-953-7878-51-1), Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, 2016. str. 10-17;
- [13] Pravilnik o tehničkim, gospodarskim i drugim uvjetima za uređenje sustava melioracijske odvodnje, te osnovama za tehničko i gospodarsko održavanje sustava (NN, br. 4/98.);
- [14] Maričić, Siniša; Mijušković-Svetinović, Tatjana. Problematika održavanja korita rijeka i kanala hidrotehničkih sustava. HDO - Hrvatsko društvo održavatelja: *Zbornik radova: 18. međunarodno savjetovanje Održavanje 2012*, (ISBN 978-953-55219-3-8), Šibenik, 4.-6. lipnja 2012.; str. 97-104;





## Suvremeni pristup urbanoj odvodnji *Modern approach to the urban drainage*

M. Šperac<sup>1,\*</sup>, T. Mijušković - Svetinović<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Građevinski i arhitektonski fakultet Osijeku, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Hrvatska

\*Autor za korespondenciju. E-mail: [msperac@gfos.hr](mailto:msperac@gfos.hr)

### Sažetak

Jedna od karakteristika modernog vremena je koncentracija stanovništva u urbanim sredinama. Povećanje broja stanovnika i urbanizacija u smislu sve većih nepropusnih površina prostora stvara veliki pritisak na sustave odvodnje, kako u smislu otpadnih voda (kućanskih i industrijskih) tako i oborinskih voda. Današnji sustavi odvodnje otpadnih voda u urbanim sredinama su sastavljeni od mreže podzemnih cijevi koje su dimenzionirane za prikupljanje sanitarnih i industrijskih otpadnih voda te projektnog pljuska, pratećih većih i manjih objekata, uređaja za pročišćavanje otpadnih voda te ispusta. Urbani sustavi odvodnje mogu se pokazati lokalno neučinkovitima kao posljedica: količine vode koja ne uspije doteći u mrežu, neočekivane količine vode koja stvara preopterećenost mreže te kao posljedica lokalnih kvarova na sustavu. Optimalno upravljanje gradskom odvodnjom uključuje više ciljeva koji se mogu sintetizirati kao kontrola oborinskih voda, minimiziranje kombiniranih izljeva u kanalizaciju, upravljanje prvim dotokom oborinske vode i optimizacija uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Budući razvoj urbane odvodnje treba obuhvatiti analizu karakteristika sliva; odabir prihvatljivog sustava odvodnje; utjecaj na vodne resurse, posebno na podzemne vode kao najkvalitetniji resurs za vodoopskrbu; uređaj za pročišćavanje otpadnih voda. Novim pristupom u urbanoj odvodnji je potrebno osigurati održivi integrirani razvoj, kao i ekološki održive urbane protoke. To se može postići upravljanjem sustavom u realnom vremenu korištenjem raspoloživih rezervnih kapaciteta sustava te smanjenjem nepropusnih površina uvođenjem polupropusnih/propusnih i zelenih infrastruktura za prihvat i odvodnju urbanih oborinskih voda.

Ključne riječi: kanalizacijski sustav, urbana odvodnja, oborinske vode, zelene infrastrukture

### Abstract

One of the characteristics of modern times is the concentration of the population in urban areas. Increasing the number of inhabitants and urbanization in terms of increasing impermeable areas of space creates great pressure on drainage systems, both in terms of wastewater (domestic and industrial) and rainwater. Today's wastewater drainage systems in urban areas are composed of a network of underground pipes that are dimensioned for the collection of sanitary and industrial wastewater and project rain, accompanying larger and smaller facilities, wastewater treatment plants and drains. Urban drainage systems can prove to be locally inefficient as a result of: the amount of water that fails to flow into the network, unexpected amounts of water that create network congestion, and as a result of



local system failures. Optimal urban drainage management includes multiple objectives that can be synthesized as stormwater control, minimizing combined sewage discharges, managing first rainwater inflows, and optimizing wastewater treatment plants. The future development of urban drainage should include an analysis of basin characteristics; selection of an acceptable drainage system; impact on water resources, especially groundwater as the best resource for water supply; wastewater treatment plant. The new approach in urban sewerage needs to ensure sustainable integrated development as well as environmentally sustainable urban flows. This can be achieved by managing the system in real time by using the available reserve capacities of the system and reducing impermeable areas by introducing semi-permeable / permeable and green infrastructures for the reception and drainage of urban rainwater.

Keywords: sewage system, urban drainage, rainwater, green infrastructure

## 1. Uvod

Karakteristika modernog vremena je nagli porast urbanizacije. Prvi put u povijesti više od polovice svjetske populacije živi u gradovima. Očekuje se da će se gradsko stanovništvo povećati za 84% do 2050., s 3,4 milijarde u 2009. na 6,3 milijarde u 2050. godini [1] Također, predviđa se da će gradovi primiti do 70% globalne populacije do 2050. [2,3] Razvoj i povećanje zemljišta u urbanizaciji utječu na količinu i kvalitetu vode [4]. Velika promjena koja će pratiti urbani rast je povećana potražnja za energijom i vodom. Globalna potražnja za vodom će se povećati za 55% do 2050., dok će se globalna potražnja za energijom povećati za oko 33% do 2035. Urbanizacija negativno utječe na prirodni okoliš vršeći pritisak na smanjivanje zelenih površina u mnogim gradovima u Europi, na sjeveru Amerike, Južna Amerike, Azije i Afrike; situacija u Africi je kritična [5,1].

Urbani razvoj značajno mijenja hidrološki ciklus. Otjecanje u urbanim sredinama razlikuje se od otjecanja u prirodnim područjima. U urbanim sredinama, stvaranjem nepropusne površine, ovisno o stupnju izgrađenosti područja, površinsko otjecanje vode povećava se nekoliko puta. Manji dio infiltrira se u podzemlje, razina podzemne vode se smanjuje, otjecanje podzemne vode se smanjuje, a količina oborina koja isparava u atmosfera se povećava zbog nedostatka zelenila. Površinsko otjecanje vode raste od 1,5 do 2 puta, a vršno otjecanje raste od 2 do 5 puta. Ako se tome doda protok kroz kanalizacijski sustav, porast izlaznog hidrograma je još veći [6]

Zbog povećanog površinskog otjecanja kod urbaniziranih sredina povećava se vršni protok što možemo vidjeti na slici 1.





Slika 1. Hidrogram otjecanja s prirodnog i urbaniziranog područja [6]

Slika 1. prikazuje hidrogram otjecanja na kojem se vidi razlika u vršnom protoku na prirodnom i urbaniziranom području. Na prirodnim područjima vršni protok je znatno manji od onih na urbaniziranom području, što znači da imaju bolja drenažna svojstva, odnosno mogu prihvatiti veću količinu vode. Kod prirodnih propusnih tala površinsko otjecanje je 10-20%, dok se kod nepropusnih površina površinsko otjecanje višestruko poveća 30-55% [7].

Širenje gradova obično smanjuje zelene površine. Razvoj zelenih površina u gradovima ublažava negativan utjecaj na hidrološki ciklus i poboljšava se kvaliteta okoliša i kvaliteta života u gradovima. Povećana zadržavanje vode slivova poboljšava zaštitu od poplava, kvalitetu vode, okoliš i vodeni ekosustavi.

## 2. Konvencionalni način urbane odvodnje

### 2.1. Urbani kanalizacijski sustavi

Općenito, prema načinu prihvata i odvodnje otpadne vode, postoje dva glavna sustava urbane odvodnje: mješoviti i razdjelni. Postoji i treći sustav, kombinirani kod kojeg, najčešće, stari dio grada ima mješoviti sustav odvodnje, a novi dio grada koji je rezultat širenja urbanog područja, razdjelni.

U razdjelnom sustavu odvodnje postoje dvije odvojene kanalizacijske mreže, od kojih jedna služi za odvodnju oborinskih voda, a druga za kućanske i industrijske otpadne vode.

Mješoviti sustav odvodnje skuplja sve kategorije urbanih voda (kućansku i industrijsku otpadnu vodu, te oborinsku vodu) i odvodi ih zajedničkim kanalima i kolektorima. Prema količinama, najveći dio voda koje se prikupljaju ovim sustavom su oborinske vode. U tom smislu, za dimenzioniranje su najvažnije oborinske vode. Međutim, s obzirom na trajanje otjecanja, najkraće trajanje imaju oborinske vode (pojavljuju se samo u razdoblje kiša), a najdulje kućanske vode, koje praktički teku neprekidno. Zbog toga kućanske vode imaju dugoročan i stalan utjecaj na sustav, a oborinske periodičan. Iz ekonomskih razloga mješoviti kanalizacijski sustav se projektira tako da odvodi i dio oborinske vode, a najčešće je to u našoj hidrotehničkoj praksi protok 2-3 veći od suhog dotoka. U slučaju jake oborine,

količina oborinske vode u kanalizaciji će premašiti tu količinu, a taj višak vode se ispušta u prijamnik. Objekti koji to omogućavaju u mješovitom kanalizacijskom sustavu su kišni preljevi, odnosno tzv. kišna rasterećenja. Pomoću ovih objekata se otpadne vode razrijeđene oborinskom vodom ispuštaju izravno ili preko kišnih bazena u prijamnik. Kod mješovitog sustava s uređajem za čišćenje otpadnih voda problem odvođenja oborinske vode je složeniji jer se osim dimenzioniranja kolektora mora obaviti i dimenzioniranje ostalih objekata (preljevi, rasteretne građevine, crpne stanice, retencije, objekti uređaja za čišćenje, postotak čišćenja otpadnih voda, itd.). Uvjet da se to kvalitetno obavi je poznavanje dinamike količine i kakvoće kako oborinskih tako i ostalih otpadnih voda (kućanske, industrijske, itd.). Mješovita kanalizacijska mreža je originalno projektirana da svu otpadnu vodu odvodi, što je prije moguće, izvan naseljenog mjesta, ali uz osiguranje sanitarnih uvjeta i zaštitu od poplava. Uređaj za pročišćavanje je posljednja točka u tom sustavu, a služi kao zaštita kakvoće vode prijamnika. Stupanj pročišćavanja otpadne vode je određen zakonskim propisanim emisijskim standardima koji ovise o konkretnom uvjetima prijamnika koji prihvaća pročišćenu otpadnu vodu. Danas je strategija projektiranja kanalizacijskog sustava promijenjena. Sadašnji pristup je odvoditi otpadnu vodu kanalizacijskim sustavom što je moguće sporije, odnosno iskoristiti njegove retencijske mogućnosti, bez narušavanja sanitarnih uvjeta i zaštitu od poplave. Nadalje, utjecaj na prijamnik je od presudne važnosti za ocjenu rada sustava, umjesto jednostavnog kriterija podsustava kao što je određeni broj pojava prelijevanja u godini. Dinamičko opterećenje zagađenja u preljevnim vodama i pročišćenim otpadnim vodama iz uređaja za pročišćavanje je značajnije i važnije od volumetrijske ravnoteže. Također, dnevna varijacija izlivanja iz kanalizacije, njegov sadržaj (npr. dušik i fosfor) i proces samočišćenja prijamnika (npr. otopljeni kisik) postaju mnogo važniji od same količine preljevnih voda. Da bi se smanjila učestalost prelijevanja, na kanalizacijskom sustavu se grade bazeni za oborinsku vodu i/ili retencijski bazeni. Sadržaj bazena uglavnom odlazi na uređaj za čišćenje naknadno, nakon kišnog događaja. Tradicionalno, većina kanalizacijskih sustava u Europi, pa tako i u Hrvatskoj, je mješovitog tipa. Prema Strategiji upravljanja vodama [8] u Hrvatskoj ima 50% sustava mješovitog tipa, 41 % razdjelnih i 9 % kombiniranih. Razdjelni dominiraju u naseljima do 2.000 stanovnika, a mješoviti kod ostalih naselja. Kombiniranih sustava je najviše u naseljima koja imaju više od 50.000 stanovnika.

Hrvatska ima povijesno naslijeđe mješovitih kanalizacijskih sustava. Ti sustavi su građeni krajem 19. i početkom 20. stoljeća u razdoblju ubrzane urbanizacije nakon industrijske revolucije. Ovi sustavi odvodnje su projektirani tako da vode odvede što je brže moguće iz gradova. Mješovita kanalizacija je projektirana kako bi se mogla nositi s određenim protokom. Danas postoje i nedostaci ovih sustava, premali i kruti otpad ne može se transportirati zbog formiranja prepreka - blokada u sustavu. Također, preveliki profili za vrijeme suhog dotoka (razdoblja bez kiše), zbog malih brzina, ne omogućuju odnošenje onečišćenja. Povremeno, pogotovo za vrijeme intenzivnih oborina, se javlja i preopterećenost sustava. Naime, kako su gradovi „narasli“ (tj. imaju sve više nepropusnih površina ali i kućnih priključaka), rezultat je sve veća opasnost od poplava i prelijevanja. Crpne stanice imaju slične preljeve koji se aktiviraju tijekom velikih oborina. Trenutno,

zamjena mješovite kanalizacije razdjelnom, većinom, nije moguća zbog velikih troškova, ali i logistike ponovne izgradnje sustava. Najbolje čemu se možemo nadati u bliskoj budućnosti je obnova/rekonstrukcija takvih sustava ili odvajanje oborinske vode iz mješovitog sustava. Međutim, kako su mješoviti sustavi dosta stari, može biti neophodna zamjena nekih dijelova mreže, osobito tamo gdje se pojavljuje prekomjerna infiltracija podzemne vode u kanalizacijski sustav, što može uvelike dugoročno povećati hidrauličko opterećenje, a negativno utjecati na rad uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.

Također, suočavamo se s realnosti da je održivi razvoj prioritet, inače će se u budućnosti inženjerska zajednica morati suočiti s problemom razvijanja održivih sanacijskih i rekonstrukcijskih programa kanalizacijskih sustava u kojima će se sustavi koji nisu u skladu s prirodnim ekosustavima morati ponovno uskladiti u istom cilju, ali ti programi i projekti će, najvjerojatnije, imati mnogo veću cijenu.

Specifične ideje koje se postavljaju ispred dosadašnjih koje su usmjerene na pristupe održive infrastrukture uključuju ideju integracije. Termin integracija može imati različita značenja s obzirom na to tko ga koristi. Jedan tip integracije podrazumijeva da se urbanim vodnim ciklusom, koji predstavlja prirodno bogatstvo, gospodari sveobuhvatno. Prema tome, otpadnom vodom, vodom za opskrbu, oborinskom vodom, i drugim vodnim resursima u urbanom okruženju će se gospodariti sveobuhvatno na održivi način. Druga, šira perspektiva integracije uključuje integraciju cijele infrastrukture. To dovodi do razvoja na tom području, jer će se razmatrati infrastrukturni sustavi kao što su opskrba električnom energijom, voda, otpadna voda, oborinska voda, kruti otpad, transport, komunikacija, i drugi, na integrirani, cjelovit način. Mogući načini za postizanje toga će biti razvijanje sustava infrastrukture sveobuhvatno promovirajući suradnju u djelovanju i gospodarenju za poboljšanje života u zajednici. Sigurno, ideje bliske integraciji su još u povoju i zbog toga postoji teškoća u lociranju primjera i definiranju postupaka primjene.

Općenito, gospodarenje kišnim razdobljem u novourbaniziranim područjima će biti u budućnosti važno jer vodni resursi postaju sve više i više nedostatni. Broj stanovnika na našoj planeti raste nevjerojatnom brzinom i urbanizacija površina u zemljama u razvoju zahtijeva izgradnju moderne infrastrukture. Također urbaniziranje područja u razvijenim zemljama je u ekspanziji. Neki od gore spomenutih problema, koji se odnose na budućnost gospodarenja kišnim razdobljem, vjerojatno će biti inkorporirani kod razvoja novourbaniziranih područja. To će poticati ideje održivog, cost-effectivnog, opsežnog gospodarenja za koje je pokazano da je važan aspekt gospodarenja kišnim razdobljem.

## 2.2. Urbana odvodnja i klimatske promjene

Klimatske promjene predstavljaju izazov za mješovite sustave odvodnje zbog svojih negativnih učinaka izraženih kroz ekstremne oborine na okoliš urbanih područja. Povijesno gledano, urbana odvodnja projektirana je s osnovnim ciljem da osigura hidraulički i ekonomski učinkovit transport otpadnih voda i površinskog otjecanja kroz urbana područja u lokalni prijamnik i pri tom zaštititi urbano stanovništvo od mogućih zaraza i poplava, osiguravajući kontrolu zadržavanja otjecanja u udolinama urbanog područja.



U posljednjem desetljeću postao je primarni cilj ograničiti utjecaj urbanizacije na vodni sustav tako da je došlo do pomaka prema revitalizaciji urbanih voda, racionalnom korištenju vode te njenoj ponovnoj uporabi. Mjere održivog urbanog odvodnog sustava za kontrolu i pročišćavanje oborinske vode (umjetne močvare, kišni vrtovi, propusne površine na parkiralištima, zeleni/plavi krovovi, otvoreni kanali i bare) su primijenjene u novijim stambenim naseljima diljem svijeta, kako u ruralnim tako i u urbanim područjima. Prije takvih mjera, bilo je neugodnih plavljenja urbanih površina i podruma i to otpadnim vodama iz mješovitog sustava kanalizacije, koje su po kakvoći otpadna voda do određenog stupnja razblažena oborinskom. Navedenim mjerama su ovakve pojave uklonjene/smanjene, a količina voda koja se preljeva preko kišnih preljeva smanjena je za otprilike 75% [12]. Postoji dosta istraživanja koja se bave ispitivanjem kakvoće preljevnih voda kao i utjecajima klimatskih promjena i urbanizacije na njihovu količinu i kakvoću. [9 -12]

### 3. Suvremeni pristup urbanoj odvodnji

Danas se upravljanje urbanom odvodnjom nastoji poboljšati primjenom upravljanja kanalizacijskim sustavom u realnom vremenu te postavljanjem zelenih infrastruktura na prihvatljivim lokacijama

#### 3.1. Upravljanje kanalizacijskim sustavom u realnom vremenu

Problem izlivanja otpadnih voda i lokalnih poplava tradicionalno se rješava velikim programima kapitalnog poboljšanja koji se usredotočuju na građevinske alternative, kao što je razdvajanje mreže sanitarne i oborinske vode ili izgradnja retencijskih bazena. Troškovi takvih projekata često su visoki, osobito u naseljima s velikom gustoćom naseljenosti i gdje je vrijednost zemljišta velika. U posljednjih nekoliko godina, upravljanje u realnom vremenu transportnih sustava pojavljuje se kao atraktivna alternativa. Ova se tehnologija uspješno implementirana u velike urbane sustave. Globalna kontrola u realnom vremenu gradskih odvodnih sustava sve se više primjenjuje kao isplativo rješenje za poboljšanje performansi konvencionalnih sustava. Sustavi gradske odvodnje obično su projektirani i izgrađeni za dugo projektno razdoblje, što često dovodi do okolnosti u kojima se dijelovi sustava ne mogu dovoljno iskoristiti, dok su druga područja preopterećena tijekom olujnog vremena, što doprinosi izlivanju kanalizacije. Upravljanje u stvarnom vremenu (RTC –Real Time Control) je prilagođeni računalno potpomognuti sustav upravljanja za određenu gradsku kanalizacijsku mrežu koji se aktivira tijekom velikih protoka po kišnom vremenu. Iako je uporaba RTC sustava započela sredinom 60 -ih, razvoj u računalima, telekomunikacijama, instrumentaciji i automatizaciji učinio je RTC naprednom tehnologijom 21. stoljeća. Došlo je do velikih poboljšanja u sofisticiranosti i pouzdanosti ovih sustava. Trenutno se RTC sustavi mogu dizajnirati za rješavanje bilo kojeg aspekta upravljanja kanalizacijom : kontroliranjem kombiniranih preljeva kanalizacije, preljeva sanitarne kanalizacije, poplava, linijskog i izvanmrežnog skladištenja( kanali pod usporom, retencijski bazeni), smanjenja opterećenja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda i lokacija ispusta otpadnih voda u recipijent. Važna značajka upravljanja RTC -om je njegova isplativost. [13] Implementacija RTC -a uključuje nekoliko različitih aspekata, uključujući hidrauliku, instrumente, daljinsko praćenje, kontrolu procesa, razvoj softvera, matematičko modeliranje, organizacijska pitanja i predviđanje oborina ili protoka.

Jedna od prepreka za šire prihvaćanje RTC -a je činjenica da su RTC sustavi uvijek složeni

#### 3.2. Zelene infrastrukture



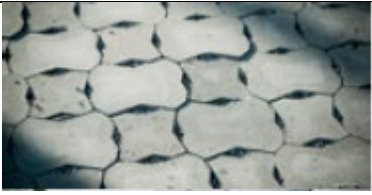


Održivi sustav urbane odvodnje predstavlja integralni pristup, podržava održivi razvoj i poboljšava urbani dizajn, te predstavlja alternativu konvencionalnom načinu odvodnje. Ovakav pristup podrazumjeva projektiranje, izgradnju i održavanje zelenih infrastruktura na prihvatljivim lokacijama u urbanim slivovima. Ovi sustavi su projektirani da smanje velika površinska otjecanja, da zadrže oborinske vode na slivu, pročiste ih, smanje dotok na uređaj za pročišćavanje otpadnih voda, smanje direktan dotok u recipijente i prihranjiju podzemne vode. Ovakvim pristupom bi se zadovoljili i ekološki izazovi poput klimatskih promjena i rasta stanovništva. Mjere ( oblici ) koje se primjenjuju u urbanim sustavima za uspostavu održive urbane odvodnje su: zeleni krovovi, zeleni zidovi, infiltracijske površine i jarci, infiltracijske žardinjere, propusne prometnice, rezervoari za kišnicu, bioretencije ili kišni vrtovi, infiltracijske ulične ekstenzije.( Tablica 1.)

Tablica 1.: Primjeri zelenih struktura koje su karakteristične za održivi sustav urbane odvodnje

	<p>Površinska infiltracija</p> <p>Direktna infiltracija kišnice kroz zelene površine, obnavljanje podzemnih voda</p>
	<p>Infiltracijski jarak</p> <p>Pravilan geometrijski rov u zemlji , stabiliziran poroznim materijalom, umotan u geotekstil, pokriven zemljom i vegetacijom. Najčešće dimenzije jarka: širina 0,60m; dubina 1m; dužina nekoliko metara</p>
	<p>Kišni vrtovi</p> <p>Kišni vrtovi su depresije u terenu namijenjene za primanje, pohranjivanje i filtriranje oborinske vode s krovova i drugih površina. To su površine zasađene posebno odabranim biljkama koje se mogu prilagoditi sušnim i kišnim uvjetima</p>
	<p>Infiltracijske ekstenzije nogostupa</p> <p>Kišni vrtovi smješteni uz rubove nogostupa s infiltracijskim jarkom ispod njih.</p>
	<p>Zeleni krovovi</p> <p>Zeleni krovovi su pokriveni višeslojnim sustavom: sloj za rast biljaka, drenažni sloj i membranski sloj. U usporedbi s konvencionalnim krovovima, ovi krovovi usporavaju otjecanje i smanjuju volumen otjecanja. Zeleni krovovi izoliraju zgrade od zagrijavanja i mogu pružiti stanište za neke insekte i ptica, povećavaju količinu vode koja isparava.</p>

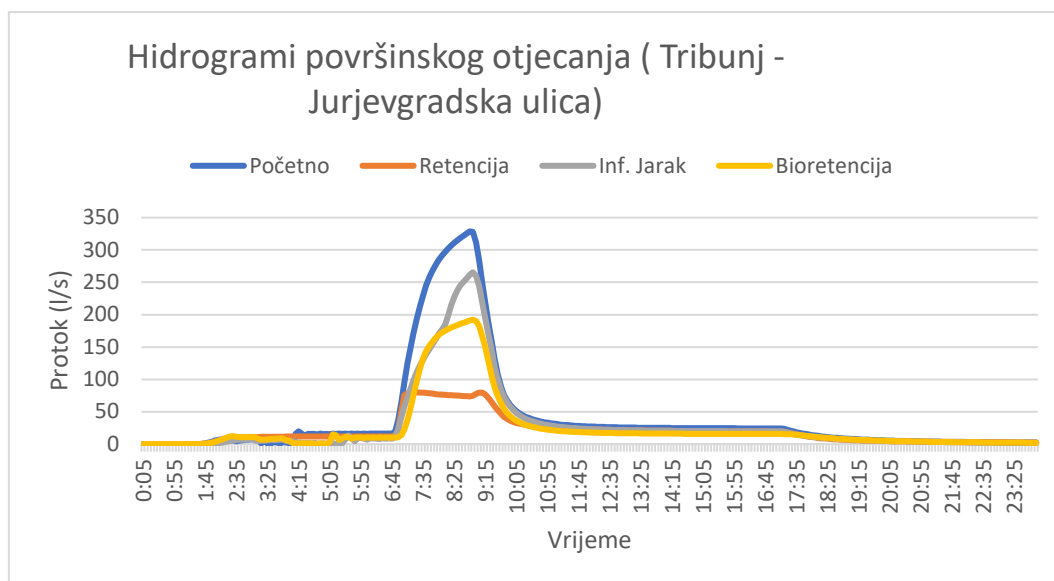




	<p><b>Propusni pločnici</b></p> <p>Propusni pločnici i kolnici omogućavaju infiltraciju kišnice. Kapacitet infiltracije ovisi o vrsti dizajna, vrsti materijala za popločavanje, te karakteristikama tla ispod i uz pločnike/kolnike.</p>
	<p><b>Kanalice za oborinsku vodu</b></p> <p>Koriste se za površinsko otvoreno vođenje kišnice na mjestima gdje ne ometaju promet.</p>
	<p><b>Jarak</b></p> <p>Jarak je uski kanal iskopan u tlu, obično se koristi za odvodnju uz cestu ili rub polja.</p>

Prilikom planiranja i projektiranja zelenih infrastruktura potrebno je napraviti prethodnu analizu relevantnih parametara, a to su karakteristika sliva: vrste površina, propusnost sliva, količina oborina, temperature, vrste i učestalosti vjetra; odabir vrste i lokacije zelene infrastrukture. Značajni elementi kod odabira vrste zelene infrastrukture su način na koji ona funkcionira i način održavanja iste. [14]

Uvođenjem zelenih infrastruktura u urbane sredine smanjuje se površinsko otjecanje i rasterećuje kanalizacijski sustav te smanjuje opasnost od urbanih poplava, ujedno povećava se infiltracija. Na slici 2. koja prikazuje hidrograme otjecanja kritične urbane površine u Tribunju (kritične u smislu učestalih urbanih poplava nakon jakih kiša) vidljivo je koliki utjecaj na smanjenje vršnog dijela osnovnog hidrograma površinskog otjecanja (početno stanje) imaju pojedine zelene infrastrukture.



Slika 2.: Hidrogrami površinskog otjecanja za Tribunj bez (početno stanje) i sa zelenim infrastrukturama [15]

#### 4. Zaključak

Svakodnevni rastom svjetske populacije te koncentracijom velikog broja stanovništva u velikim urbanim sredinama stvara se pritisak na urbane vodne sustave. Klimatske promjene koje su sve izraženije također utječu na urbane vodne sustave. Postojeći konvencionalni sustavi urbane odvodnje su većinom stari te tradicionalnim načinom njihovog upravljanja funkcionalnost istih nije zadovoljavajuća. Budući razvoj urbane odvodnje treba obuhvatiti analizu karakteristika sliva; odabir prihvatljivog sustava odvodnje; utjecaj na vodne resurse, posebno na podzemne vode kao najkvalitetniji resurs za vodoopskrbu; uređaj za pročišćavanje otpadnih voda. Novim pristupom u urbanoj odvodnji je potrebno osigurati održivi integrirani razvoj, kao i ekološki održive urbane protoke. To se može postići upravljanjem sustavom u realnom vremenu korištenjem raspoloživih rezervnih kapaciteta sustava te smanjenjem nepropusnih površina uvođenjem polupropusnih/propusnih i zelenih infrastruktura za prihvata i odvodnju urbanih oborinskih voda.

#### 5. Literatura

- [1] Abebe, Mathias Tesfaye and Magento, Tebarek Lika The city of Addis Ababa from “Forest city” to “Urban heat island”: Assessment of urban green space dynamics, J. Urban Environ. Engng **10**(2), 254-262, doi: 10.4090/juee.2016.v10n2.254262(2016)
- [2] United Nations, Department of Economic and Social Affairs (UN DESA), Population Division (2014) World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights (ST/ESA/SER.A/352)
- [3] Sharifi, Ehsan and Lehmann, Steffen. : Correlation analysis of surface temperature of rooftops, streetscapes and urban heat island effect: case study of central Sydney, J. Urban Environ. Engng **9**(1), 3-11,doi: 10.4090/juee.2015.v9n1.003011 (2015)

- [4] Gulbaz, Sezar and Cevza, Melek : Investigating the effects of low impact development (LID) on surface runoff and TSS in a calibrated hydrodynamic model, J. Urban Environ. Engng **9**(2), 91-96, doi: 10.4090/juee.2015.v9n2.091096 (2015)
- [5] Mensah, Collins Adjei : Destruction of urban green spaces: A problem beyond urbanization in Kumasi city (Ghana). American Journal of Environmental Protection **3**(1), 1-9, doi: 10.11648/j.ajep.20140301.11(2014)
- [6] Margeta, Jure. Kanalizacija naselja, Sveučilište u Splitu Građevinski fakultet, Split, 2009
- [7] Bonacci, Ognjen: Oborine: glavna ulazna veličina u hidrološki ciklus, GEING, Split, Sveučilišta u Splitu i Osijeku, R. Hrvatska. (1994)
- [8] Strategija upravljanja vodama, Zagreb, 2009. g.
- [9] Mijušković – Svetinović, Tatjana i Vouk, Dražen: Utjecaj klimatskih promjena na mješoviti sustav odvodnje, 1. SIMPOZIJ DOKTORSKOG STUDIJA GRAĐEVINARSTVA / Lakušić, Stjepan - Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb, 2015, 149-158
- [10] Villarreal-Gonzalez, Edgar; Semadeni Davies, Annette; Bengtsson, Lars: Inner city stormwater control using a combination of BMPs. Ecol. Eng. **22** (4–5), 279–298., 2004
- [11] Scherrenberg, Martijn: Treatment Techniques for Combined Sewer Overflows, Master thesis, Delft, August 2006
- [12] Arbjerg-Nielsen, Karsten; Willems, Patrick; Ollson, Jonas; Beecham, Simon: Impact of climate change on rainfall extremes and urban drainage system: a review, Water Science & Tehnology, 2013
- [13] *Vitasovic, Cello, Speer, Eddie : "Real Time Control for CSO Reduction." Water Environment and Technology, Vol. 2, No. 3.( 1990)*
- [14] Šperac, Marija. Obradović, Dino. : Parameters of interest for the design of green infrastructure Journal of Urban and Environmental Engineering, v.13, n.1, p 92-101, ISSN 1982-3932, doi: 10.4090/juee.2019.v13n1.092101( 2019)
- [15] Stipaničev, Ivan. :Revitalizacija sustava oborinske odvodnje, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijeku, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku , dilopmski rad, 2021.



# Ishođenje građevinskih dozvola u državama Europske unije i izvan nje kao pokazatelj lakoće poslovanja

## *Obtaining construction permits in the countries of the European Union and abroad as an indicator of the ease of doing business*

D. Obradović<sup>1,\*</sup>, I. Unukić<sup>2</sup>, U. Klanšek<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Osijek, Hrvatska

<sup>2</sup> Ekonomski fakultet u Osijeku, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Osijek, Hrvatska

<sup>3</sup> Fakultet za građevinarstvo, prometno inženjerstvo i arhitekturu, Sveučilište u Mariboru, Maribor, Slovenija

\*Autor za korespondenciju. E-mail: [dobradovic@gfos.hr](mailto:dobradovic@gfos.hr)

### Sažetak

Lakoća poslovanja je ukupni pokazatelj koliko se lagano ili teško u nekoj državi posluje (brzina, vrijeme, kvaliteta, troškovi) u smislu pokretanja poslovanja, ishođenja građevinske dozvole, dobivanja (priklučenja) na električnu energiju, uknjižbe prava vlasništva, rješavanje trgovačkih sporova itd. Lakoća poslovanja razlikuje se među gradovima u jednoj državi, kao i u različitim državama. Kako je prije navedeno, jedan od pokazatelja lakoće poslovanja je lakoća ishođenja građevinskih dozvola. U radu su kratko definirani neki od pokazatelja lakoće poslovanja. Analizirat će se države u Europskoj uniji (Republika Hrvatska, Republika Češka, Republika Slovačka i Republika Slovenija) te države koje nisu u Europskoj uniji (Federacija Bosne i Hercegovine i Republika Srbija). Pokazatelj poslovanja koji je prikazan u radu je ishođenje građevinskih dozvola te s njim povezan broj procedura, trajanje, troškovi te kvaliteta cijelog postupka od početka do kraja izgradnje građevine i dobivanja uporabne dozvole. Navedeno će se analizirati i prokomentirati za svaku od promatranih šest država. Cilj ovog rada je kratko prikazati procedure potrebne za ishođenje građevinske dozvole, odnosno službene procedure od početka do kraja izgradnje, pokazati položaj RH u odnosu na promatrane države analizirajući prikazane pokazatelje te potaknuti na poboljšanje postupka ishođenja građevinske dozvole i kvalitetu postupaka vezanih uz izgradnju građevine.

**Ključne riječi:** Europska unija, građevinska dozvola, lakoća poslovanja, trajanje postupka, troškovi

### Abstract

The ease of doing business is an overall indicator of how easy or difficult is to do business in a country (speed, time, quality, costs) in terms of starting a business, dealing with



construction permits, connecting to the power grid, registering property, enforcing contracts, etc. The ease of doing business varies between cities in one country as well as in different countries. As aforementioned, one of the indicators of the ease of doing business is the ease of obtaining construction permits. The paper briefly defines some of the indicators of business ease. Countries in the European Union (the Republic of Croatia, the Czech Republic, the Slovak Republic and the Republic of Slovenia) and countries that are not in the European Union (Federation of Bosnia and Herzegovina, and the Republic of Serbia) will be analyzed. The business indicator that is presented in the paper is dealing with construction permits and the related number of procedures, duration, costs and quality of the entire procedure from the beginning to the end of construction of the building and obtaining the Certificate of Occupancy. It will be analyzed and commented on for each of the six countries observed. The aim of the paper is to briefly present the procedures required to obtain a construction permit, i.e. official procedures from the beginning to the end of the construction process. Also, the aim of the paper is to show the position of the Republic of Croatia in relation to the observed countries by analyzing the presented indicators.

**Key words:** European Union, construction permit, ease of doing business, duration of procedure, costs

## 1. Uvod

Različite države svijeta mjere svoju lakoću poslovanja i cilj im je biti što bolji. Bolji rezultat u praksi znači da su bodovi države bliži broju 100. Bodovi i promjene bodova puno su važnija informacija od mjesta na kojem se zemlja nalazi. Navedeno se mjeri izvješćem *Doing Business*. To je sustav pokazatelja lakoće poslovanja koji ujesen svake godine objavljuje Svjetska banka. Mjerenje se obavlja sredinom svake godine u kojoj se pokazatelji objavljuju. Prema tome, *Doing Business 2020* odražava situaciju 2019. [1]. Što je kvalitetnije poslovno okruženje u nekoj državi, ono stvara bolje uvjete za dugoročni gospodarski rast i osnovni je preduvjet za razvoj poslovanja i povećanje konkurentnosti zemlje [2].

Pokazatelja lakoće poslovanja ima više, a to su: pokretanje poslovanja, ishođenje građevinske dozvole, dobivanje priključka na električnu energiju, uknjižba prava vlasništva, rješavanje trgovačkih sporova, dobivanje kredita, zaštita malih ulagača, plaćanje naknada, prekogranično trgovanje i rješavanje nesolventnosti [3].

Pokazano je da troškovi vezani uz dobivanje građevinskih dozvola i broj dana za dobivanje dozvola mijenjaju reakciju makroekonomskih varijabli na promjene kamatnih stopa. Smanjenje kamatnih stopa manje stimulira gospodarstvo zemlje s većim troškovima dobivanja građevinskih dozvola. Štoviše, što je dulje vrijeme potrebno za dobivanje dozvola, to je odgođena reakcija gospodarstva na promjene kamatnih stopa [4]. Građevinska industrija ima važnu ulogu u svjetskim gospodarstvima, građevinske aktivnosti utječu na gotovo svaki aspekt gospodarstva i građevinska industrija je ključna za daljnji rast gospodarstva [5, 6, 7]. Građevinska industrija čini oko trećinu bruto kapitalnih investicija. Vlade imaju veliku ulogu kao klijenti, regulatori i vlasnici građevinskih poduzeća.





Građevinska industrija je rangirana kao jedna od najkorumpiranijih: uobičajena su velika plaćanja za dobivanje ili izmjenu ugovora [8], a prekomplikirana pravila gradnje i birokracija povećavaju mogućnost korupcije [9]. Ekonomski razvoj uvelike ovisi o mogućnosti države da privuče investicije i stimulira bolju poslovnu klimu unutar države. Jedan od važnih i presudnih faktora koji utječu na ostvarivanje ovog strateškog cilja, imajući u vidu da je sektor infrastrukture najveći sektor jedne države, jeste učinkovitije izdavanje građevinskih dozvola [10]. Sustav za izdavanje građevinskih dozvola koji dobro funkcionira doprinosi procesu stvaranja kapitala. Međutim, ako su postupci koji se javljaju kod ishoda građevinskih dozvola prekomplikirani ili skupi, obično se nastavlja graditi bez građevinske dozvole [11]. Jedna od mjera kontrole kvalitete u građevinskoj industriji je provođenje propisa koji zahtijevaju dobivanje dozvola prije početka gradnje. Zakoni, propisi i standardi ključni su okvir za osiguravanje kvalitete građevine [12]. Pitanje dozvola temelji se na usklađenosti projekata sa standardima i specifikacijama. Procesi povezani s dobivanjem dozvola prekidaju tijekom aktivnosti prije izgradnje što dovodi do kašnjenja i mogućeg prekoračenja troškova kao i smanjenja vrijednosti [13]. Brza dostava (mogućnost dobivanja) građevinske dozvole od strane lokalne vlasti potaknut će građevinsku industriju na brži rast [7]. Stoga, ishoda građevinskih dozvola je važno kada se građevinska dozvola promatra kao važan dokument koji daje neku sigurnost u smještaj građevine u prostoru, jamči određenu kvalitetu gradnje i poštivanje zakonskih propisa, ali i kao početni preduvjet za rast gospodarstva.

## 2. Pokazatelji lakoće poslovanja

Pokazatelji lakoće poslovanja koji će biti kratko prikazani su: pokretanje poslovanja, ishoda građevinske dozvole, dobivanje električne energije, uknjižba prava vlasništva, rješavanje trgovačkih sporova te još sedam pokazatelja koji su samo navedeni budući da bi i njihovo prikazivanje premašilo dopušteni opseg rada.

### 2.1. Pokretanje poslovanja

Pokretanje poslovanja bilježi sve postupke koji su službeno potrebni, ili se obično obavljaju u praksi, a koje poduzetnik treba napraviti kako bi osnovao i službeno vodio poduzeće te vrijeme i trošak za dovršetak tih postupaka i potrebni uplaćeni minimalni kapital. Kako bi se mogli usporediti podaci za različite lokacije, koristi se standardizirano društvo s ograničenom odgovornošću koje je u 100-postotnom domaćem vlasništvu, ima pet vlasnika, početni kapital deset puta veći od dohotka po stanovniku, obavlja opće industrijske ili komercijalne poslove te u prvom mjesecu poslovanja ima od 10 do 50 zaposlenih [14, 15].

### 2.2. Ishoda građevinske dozvole

Lakoća ishoda građevinskih dozvola mjeri i bilježi postupke, vrijeme i trošak koji su malom ili srednjem poduzeću potrebni za dobivanje građevinske dozvole komercijalnog skladišta i priključenje na vodovod i kanalizaciju. To uključuje sve inspekcije i potvrde potrebne prije, tijekom i nakon izgradnje skladišta. Kako bi se mogli usporediti podaci za

različite lokacije, pretpostavlja se da se skladište nalazi u periurbanom području grada, da nije u posebnoj gospodarskoj ili industrijskoj zoni i da će se koristiti za skladištenje neopasnih materijala kao što su knjige. Uz to, analiza lakoće ishođenja građevinske dozvole sadrži indeks kontrole kvalitete gradnje koji mjeri kvalitetu građevinskih propisa i kontrole na kojoj se on temelji. Na indeks kontrole kvalitete gradnje i propisa se odnosi četvrtina bodova u pogledu udaljenosti od graničnog broja bodova za ishođenje dozvola za gradnju [14, 15].

### 2.3. Dobivanje električne energije

Lakoća dobivanja priključka na električnu energiju mjeri sve postupke koji su potrebni da bi poduzeće dobilo stalni priključak na elektroenergetsku mrežu i opskrbu električnom energijom skladišta. Ti postupci uključuju podnošenje zahtjeva i sklapanje ugovora s energetske društvima, sve potrebne inspekcije i potvrde distributera električne energije i drugih agencija te vanjske završne radove na priključku. Kako bi se mogli usporediti podaci za različite lokacije, koristi se nekoliko pretpostavki o skladištu i priključku na elektroenergetsku mrežu. Pretpostavlja se da se skladište nalazi unutar grada, nazivna snaga priključka iznosi 140 kilovolt-ampera (kVA), a dužina priključka je 150 metara. Osim toga, mjeri se i pouzdanost opskrbe energijom te transparentnost tarifa za potrošače te cijena električne energije. Također se mjeri i potrebno vrijeme za dobivanje priključka na električnu energiju [14, 15].

### 2.4. Uknjižba prava vlasništva

Uknjižba prava vlasništva bilježi lakoću i cijeli redoslijed postupaka koje poduzeće (kupac) treba obaviti kako bi kupilo nekretninu od drugog poduzeća (prodavatelja) i prenijelo pravo vlasništva na svoje ime tako da je može koristiti za širenje svojeg poslovanja, kao instrument osiguranja pri uzimanju novih zajmova ili da je može prodati drugom poduzeću. Mjere se i vrijeme i trošak obavljanja svakog od tih postupaka. Također se mjeri ima li sustav zemljišnih knjiga i katastar odgovarajuću infrastrukturu kojom se jamče visoki standardi i smanjuje rizik od pogrešaka, zatim mjeri jesu li i na koji način informacije o zemljištima iz sustava upravljanja zemljištem javno dostupne, opseg u kojem sustav zemljišnih knjiga i katastar pruža geografsku pokrivenost čestica u privatnom vlasništvu te dostupnost mehanizama za rješavanje sporova i opseg odgovornosti za subjekte ili službenike koji evidentiraju zemljišne transakcije [14, 15].

### 2.5. Rješavanje trgovačkih sporova

Rješavanje trgovačkih sporova mjeri vrijeme i trošak rješavanja trgovačkog spora pred lokalnim prvostupanjskim sudom. U studiji slučaja pretpostavlja se da prodavatelj kupcu isporučuje robu izrađenu po mjeri te da kupac odbija primitak jer smatra da je roba neodgovarajuće kvalitete. Za izvršenje kupoprodajnog ugovora prodavatelj podnosi tužbu lokalnom sudu koji razmatra argumente. Prije donošenja odluke u korist prodavatelja imenuje se vještak koji dostavlja mišljenje o kvaliteti sporne robe, zbog čega se predmet razlikuje od obične ovrhe duga. Navedeno uključuje i mjerenje indeksa kvalitete sudskih postupaka koji mjeri je li na nekom području usvojen niz dobrih praksi u sudskom sustavu u



četirima područjima: strukturi sudova i postupcima, upravljanju predmetima, automatizaciji sudskih postupaka i alternativnom rješavanju sporova. Također se mjere i dani za rješavanje trgovačkog spora, troškovi odvjetnika, suda i ovrhe te primjena dobrih praksi [14, 15].

## 2.6. Ostali pokazatelji lakoće poslovanja

Osim prethodno navedenih pet pokazatelja lakoće poslovanja, postoji još nekoliko koji se mjere, a to su: dobivanje kredita, zaštita malih ulagača, plaćanje izdataka, prekogranična trgovina, izvršenje ugovora, rješavanje nesolventnosti i zapošljavanje radnika [3].

## 3. Učinkovitost ishoda građevinskih dozvola

Analiza učinkovitosti ishoda građevinske dozvole obuhvaća vrijeme, trošak i procedure da se izgradi jednostavno skladište uključujući vrijeme od podnošenja zahtjeva za izdavanje građevinske dozvole (uz sve potrebne predradnje), preko svih potrebnih inspekcija do, na kraju, provođenja tehničkog pregleda i dobivanja uporabne dozvole. Također, mjeri se i kvaliteta svih postupaka, broj potrebnih nadzora prije, tijekom i na kraju gradnje. Države za koje će se napraviti navedena analiza su redom: Bosna i Hercegovina, Češka, Hrvatska, Slovačka, Slovenija i Srbija. Važno je naglasiti da u troškove ne ulazi trošak građenja građevine - skladišta, a u analizirano vrijeme ne ulazi samo trajanje izgradnje koje je određeno kao fiksno i u svim slučajevima je 30 tjedana.

Kod pokazatelja indeksa kontrole kvalitete koji može biti u rasponu bodova od 0 do 15 mjeri se šest vrsta (pokazatelja) kvalitete, i to:

- 1) Indeks kvalitete građevinskih propisa (mogući broj bodova iznosi od 0 do 2)
- 2) Indeks kontrole kvalitete prije gradnje (mogući broj bodova iznosi od 0 do 1)
- 3) Indeks kontrole kvalitete tijekom gradnje (mogući broj bodova iznosi od 0 do 3)
- 4) Indeks kontrole kvalitete nakon izgradnje (mogući broj bodova iznosi od 0 do 3)
- 5) Indeks odgovornosti i sustava osiguranja (mogući broj bodova iznosi od 0 do 2)
- 6) Indeks profesionalnih certifikata (mogući broj bodova iznosi od 0 do 4).

### 3.1. Osnovne pretpostavke analize

Kako bi se omogućila navedena usporedba u različitim državama (ekonomijama), te usporedba troškova ishoda građevinske, uporabne dozvole, svih drugih dozvola/potvrda, mjerila kvalitete ishoda dozvola i postupaka te na kraju kvalitete te vremena potrebnog za ishođenje dozvola, postoje određene pretpostavke koje vrijede u svim promatranim državama. U nastavku su navedene samo neke pretpostavke za građevinsko poduzeće, skladište (predmet izgradnje) i priključke na vodovod i kanalizaciju.

Građevinsko poduzeće je društvo s ograničenom odgovornošću, ima sve dozvole i osiguranje za izvođenje građevinskih projekata, ima 60 zaposlenika građevinske i ostalih potrebnih struka, kao i ovlaštenog arhitekta i inženjera koji su upisani u registar (komoru) arhitekata ili inženjera. Osim toga, navedeno poduzeće je vlasnik zemljišta na kojem će izgraditi skladište koje će prodati nakon izgradnje.



Skladište će se koristiti za skladištenje uobičajenog materijala, kao što su knjige ili uredski materijal te se neće koristiti za robu za koju su potrebni posebni uvjeti, kao što su hrana, kemikalije ili farmaceutski proizvodi. Skladište će biti nova građevina, sastojat će se od dvije nadzemne etaže ukupne površine od približno 1.300,60 m<sup>2</sup>, a svaki kat će biti visine 3 metra te će biti izgrađeno na građevnoj čestici površine od oko 929 m<sup>2</sup>. Vrijednost skladišta će biti jednaka vrijednosti od 50 dohotka po stanovniku svake promatrane države i u tu cijenu je uključena sva tehnička oprema u skladištu kako bi ono bilo u punoj funkciji i moglo dobiti uporabnu dozvolu. Za izgradnju skladišta potrebno je 30 tjedana.

Priključci za vodu i kanalizaciju bit će udaljeni 150 metara od postojećeg priključka na vodovod i kanalizaciju. Ako na tom mjestu ne postoji vodovod, iskopat će se bušotina (bunar) za vodu, a u slučaju da nema kanalizacije, postaviti će se ili izgraditi najmanja moguća septička jama. U prosjeku će se koristiti 662 litre vode na dan i bit će prosječno 568 litara otpadnih voda na dan. Najveća (vršna) dnevna potrošnja vode bit će 1.325 litara vode, a najveća količina otpadne vode bit će 1.136 litara. Promjer priključka za vodu bit će 2,5 cm, a za kanalizaciju 10 cm [14].

### 3.2. Ishođenje građevinske dozvole u Federaciji Bosne i Hercegovine

Pretpostavljena vrijednost skladišta je 490.426,50 BAM [16]. Kada se taj iznos preračuna u HRK onda je to 1.878.331,58 HRK prema srednjem tečaju Hrvatske narodne banke (HNB) na dan 15.07.2021. [17].

Ukupno trajanje od početka ishođenja građevinske dozvole do dobivanja uporabne dozvole iznosi 180 dana, potreban broj procedura je 17, a ukupan trošak svih procedura i dozvola iznosi 99.525,00 BAM što je 20,30 % od procijenjene ukupne vrijednosti skladišta [16].

### 3.3. Ishođenje građevinske dozvole u Republici Češkoj

Pretpostavljena vrijednost skladišta je 23.628.092,70 CZK [18]. Kada se taj iznos preračuna u HRK onda je to 6.875.774,98 HRK prema srednjem tečaju Hrvatske narodne banke (HNB) na dan 15.07.2021. [17].

Ukupno trajanje od početka ishođenja građevinske dozvole do dobivanja uporabne dozvole iznosi 246 dana, potreban broj procedura je 21, a ukupan trošak svih procedura i dozvola iznosi 52.000,00 CZK što je 0,22 % od procijenjene ukupne vrijednosti skladišta [18].

### 3.4. Ishođenje građevinske dozvole u Republici Hrvatskoj

Pretpostavljena vrijednost skladišta je 4.555.159,80 HRK [3].

Ukupno trajanje od početka ishođenja građevinske dozvole do dobivanja uporabne dozvole iznosi 146 dana, potreban broj procedura je 22, a ukupan trošak svih procedura i dozvola iznosi 420.305,00 HRK što je 9,22 % od procijenjene ukupne vrijednosti skladišta [3].

### 3.5. Ishođenje građevinske dozvole u Republici Slovačkoj

Pretpostavljena vrijednost skladišta je 810,560,90 EUR [19]. Kada se taj iznos preračuna u HRK onda je to 6.053.268,80 HRK prema srednjem tečaju Hrvatske narodne banke (HNB) na dan 15.07.2021. [17].

Ukupno trajanje od početka ishodaenja građevinske dozvole do dobivanja uporabne dozvole iznosi 300 dana, potreban broj procedura je 14, a ukupan trošak svih procedura i dozvola iznosi 1.516,00 EUR što je 0,19 % od procijenjene ukupne vrijednosti skladišta [19].

### 3.6. Ishodaenje građevinske dozvole u Republici Sloveniji

Pretpostavljena vrijednost skladišta je 1.093.383,80 EUR [20]. Kada se taj iznos preračuna u HRK onda je to 8.165.386,48 HRK prema srednjem tečaju Hrvatske narodne banke (HNB) na dan 15.07.2021. [17].

Ukupno trajanje od početka ishodaenja građevinske dozvole do dobivanja uporabne dozvole iznosi 247,5 dana, potreban broj procedura je 17, a ukupan trošak svih procedura i dozvola iznosi 29.546,00 EUR što je 2,70 % od procijenjene ukupne vrijednosti skladišta [20].

### 3.7. Ishodaenje građevinske dozvole u Republici Srbiji

Pretpostavljena vrijednost skladišta je 34.386.644,50 RSD [21]. Kada se taj iznos preračuna u HRK onda je to 2.183.551,92 HRK prema srednjem tečaju Hrvatske narodne banke (HNB) na dan 15.07.2021. [17].

Ukupno trajanje od početka ishodaenja građevinske dozvole do dobivanja uporabne dozvole iznosi 99,5 dana, potreban broj procedura je 11, a ukupan trošak svih procedura i dozvola iznosi 481.049,00 RSD što je 1,40 % od procijenjene ukupne vrijednosti skladišta [21].

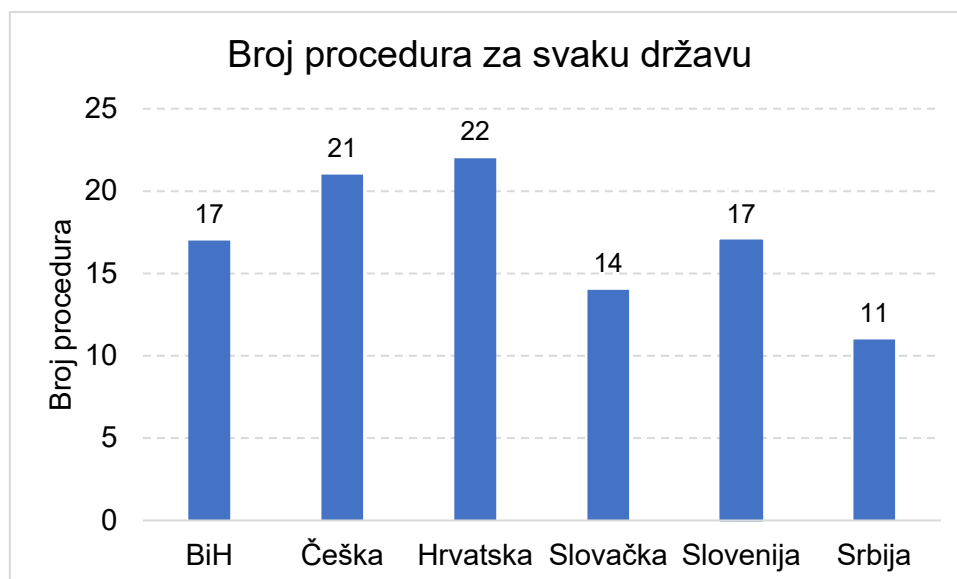
## 4. Usporedni prikaz ishodaenja građevinskih dozvola svih analiziranih država

Ovaj dio rada prikazuje tablično i grafički usporedbu svih šest država prema četiri kriterija (broj procedura potrebnih za ishodaenje građevinske dozvole, trajanje svih postupaka u danima, trošak svih potrebnih postupaka izražen u % od vrijednosti skladišta te indeks kvalitete koji mjeri različite pokazatelje kvalitete od početka do kraja izgradnje, kao i kvalitetu postupaka koji se provode kod izdavanja dozvola).

**Tablica 1.** Usporedni prikaz broja procedura, trajanja, troškova potrebnih za izgradnju skladišta uključivo dobivanje građevinske i uporabne dozvole te indeksa kvalitete [izrada autora prema: 3, 16, 18, 19, 20, 21]

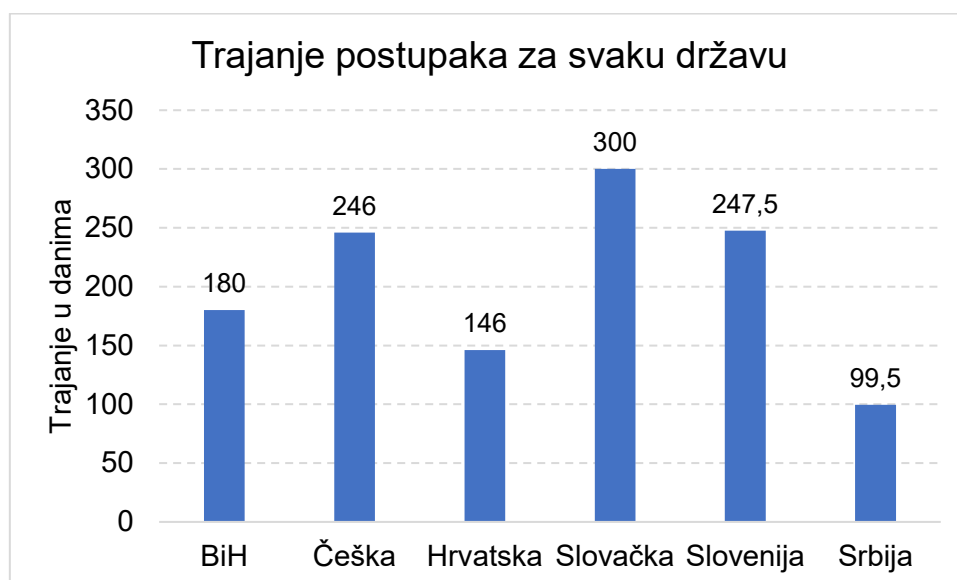
Indikator	Država					
	BiH	Češka	Hrvatska	Slovačka	Slovenija	Srbija
Procedure [broj]	17	21	22	14	17	11
Trajanje [dani]	180	246	146	300	247,5	99,5
Trošak [% od vrijednosti skladišta]	20,30	0,22	9,22	0,19	2,70	1,4
Indeks kvalitete [0-15]	13	8	12	8	13	14





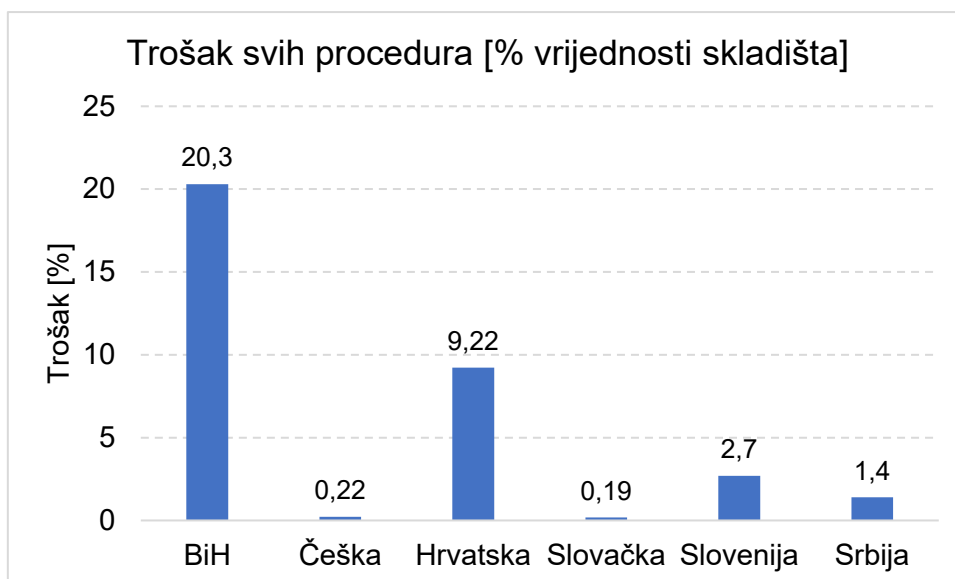
**Grafikon 1.** Usporedni prikaz broj potrebnih procedura u svim analiziranim državama od početka do kraja izgradnje skladišta (izrada autora)

Na grafikonu 1. vidljivo je da najveći broj procedura ima Hrvatska (22), a najmanje Srbija (11).



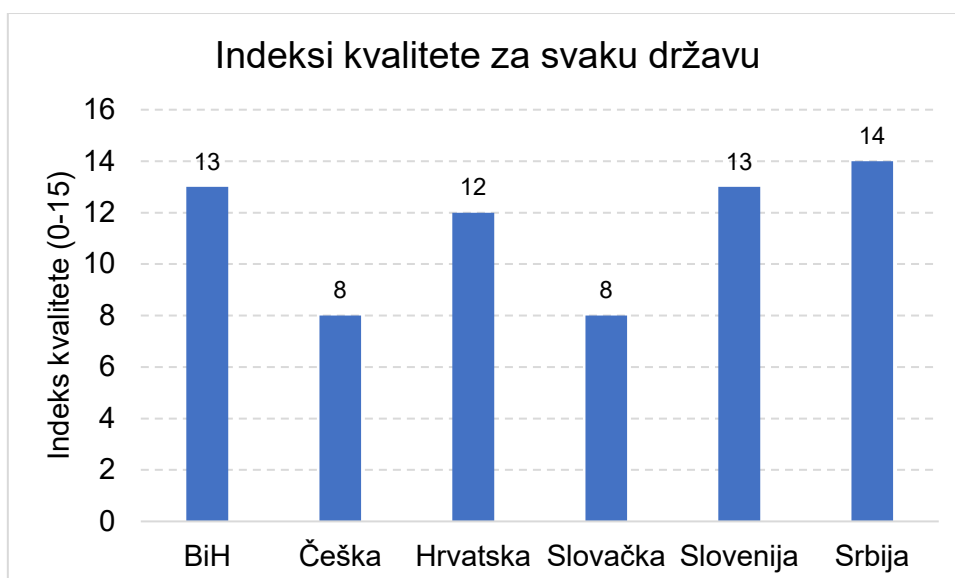
**Grafikon 2.** Usporedni prikaz trajanja postupaka u svim analiziranim državama od početka do kraja izgradnje skladišta (izrada autora)

Na grafikonu 2. prikazano je da je trajanje postupka ishođenje građevinske dozvole i s njom povezanih akata u Slovačkoj 300 dana, dok je u Srbiji trajanje najkraće i iznosi 99,5 dana.



**Grafikon 3.** Usporedni prikaz troškova svih procedura u svim analiziranim državama od početka do kraja izgradnje skladišta (izrada autora)

Na grafikonu 3. pokazano je da je trošak ishođenja građevinske dozvole i s njom povezanih postupaka i akata od početka do kraja izgradnje skladišta iznosi 20,30 % od pretpostavljene vrijednosti skladišta u Federaciji Bosne i Hercegovine, dok je u Slovačkoj to samo 0,19 %.



**Grafikon 4.** Usporedni prikaz indeksa kvalitete u svim analiziranim državama od početka do kraja izgradnje skladišta (izrada autora)

Na grafikonu 4. se vidi da je indeks kvalitete najveći u Srbiji (14 od mogućih 15), dok je u Češkoj i Slovačkoj jednak i iznosi 8 bodova.



## 5. Zaključak

Lakoća poslovanja u državi je važna kako bi potencijalni investitori znali što mogu očekivati ako ulažu u različite poslove, ili kako bi sami stanovnici države znali i mogli se usporediti s drugim državama u regiji ili šire. Lakoću poslovanja analizira Svjetska banka u svom izvješću Doing Business. To izvješće mjeri nekoliko pokazatelja kao što su pokretanje poslovanja, ishođenje građevinske dozvole, dobivanje - priključenje na električnu energiju, uknjižbu prava vlasništva, rješavanje trgovačkih sporova itd. te tako omogućuje usporedbu među različitim državama. Građevinska industrija je jedna od ključnih industrija za rast gospodarstva i ekonomski razvoj države, a što država privuče više investicija to potiče bolju poslovnu klimu unutar države. Kako je učinkovitije (u smislu: brže, jeftinije, jednostavnije i kvalitetnije) ishođenje građevinske dozvole važan preduvjet za izgradnju, tako je ono jedan od ključnih pokazatelja lakoće poslovanja države.

U radu je analizirana lakoća ishođenja građevinske dozvole, ali uz važnu napomenu da je tamo samo naziv pokazatelja koji ne mjeri samo lakoću ishođenja građevinske dozvole, nego mjeri brzinu dobivanja svih potrebnih studija, projekata, dokumenata, potvrda, suglasnosti, dozvola koji su potrebni kako bi se mogla dobiti građevinska dozvola. Zatim sve radnje i postupke koje se javljaju tijekom izgradnje građevine (npr. nadzor, tehnički pregled), spajanje na vodovod i kanalizaciju, do dobivanja uporabne dozvole. Također, navedeni pokazatelj mjeri i indeks kontrole kvalitete koji kvalitetu građevinskih propisa i kontrole na kojoj se on temelji. Analizirano je šest država: Hrvatska, Češka, Slovačka, Slovenija, Bosna i Hercegovina te Srbija.

Promatrajući tablicu 1., odnosno grafikone 1. do 4. vidi se sljedeće:

- 1) U dijelu (indikatoru) broja potrebnih procedura najmanje ih ima Srbija (11), a Hrvatska ima najviše procedura - čak 22.
- 2) U dijelu trajanja od početka svih postupaka potrebnih za dobivanje građevinske dozvole, preko ishođenja građevinske dozvole, do na kraju, dobivanja uporabne dozvole najbolja je Srbija sa samo 99,5 dana, dok je to najsporije u Slovačkoj (čak 300 dana).
- 3) U dijelu troškova postupaka povezanih s ishođenjem građevinske dozvole je najbolja Slovačka sa samo 0,19 % vrijednosti skladišta, a najskuplja je Bosna i Hercegovina s čak 20,30 % vrijednosti skladišta.
- 4) U dijelu indeksa kvalitete najbolja je Srbija (14 ostvarenih bodova od mogućih maksimalnih 15), a najlošije su Češka i Slovačka s ostvarenih 8 bodova.

Vidi se da ulazak u Europsku uniju nije ujednačio procedure i sve administracijske postupke u promatranim državama koje su članice EU, te je država koja nije članica EU – Srbija bolja u većini dijelova pokazatelja lakoće ishođenja građevinskih dozvola.

Potrebno je Republici Hrvatskoj uložiti još dodatnih napora kako bi se poboljšao promatrani pokazatelj lakoće poslovanja, potrebno je smanjiti broj procedura i smanjiti troškove ishođenja građevinske dozvole. Indeks kontrole kvalitete gradnje koji mjeri kvalitetu građevinskih propisa, kontrole kvalitete prije, za i nakon građenja, odgovornost i sustave osiguranja te profesionalne certifikate je vrlo dobar u RH - iznosi 12 od mogućih 15 bodova, ali je i tu moguće poboljšanje.

## 6. Literatura

- [1] Ekonomski lab. Doing Business 2020: napredak do 51. mjesta je povratak na staro, 2020. <https://arhivanalitika.hr/blog/doing-business-2020-napredak-do-51-mjesta-je-povratak-na-staro/> (pristupljeno: 14.07.2021).
- [2] Fabus, Michael. Business environment analysis based on the Global Competitiveness Index (GCI) and Doing Business (DB): case study Slovakia // *Journal of Security and Sustainability Issues*. 7 (2018), 4; 831-839. (ISSN 2029-7025)
- [3] World Bank Group. Doing Business 2020: Economy Profile Croatia, 2019. <https://www.doingbusiness.org/content/dam/doingBusiness/croatia/HRV.pdf> (pristupljeno: 15.07.2021.)
- [4] Gete, Pedro. Dealing with Construction Permits, Interest Rate Shocks and Macroeconomic Dynamics. 2014. <https://www.worldbank.org/content/dam/doingBusiness/media/Miscellaneous/Conference2014/2014-GETE-permits-interest-rate---macro-dynamics.pdf> (pristupljeno: 13.07.2021.)
- [5] Oladinrin, T. O.; Ogunsemi, D. R.; Aje, I. O. (2012). Role of Construction Sector in Economic Growth: Empirical Evidence from Nigeria // *FUTY Journal of the Environment*, 7 (2021), 1, 50-60. (ISSN 1597-8826)
- [6] Jovanović, Tatjana; Aristovnik, Aleksander; Lugarić Rogić, Tereza (2016). A comparative analysis of building permits procedure in Slovenia and Croatia: Development of a simplification model // *Theoretical and Empirical Researches in Urban Management*, 11 (2016) 2, 5-23. (ISSN 2065- 3921)
- [7] Bin Maideen, Ahamed Bashir. Improvement of construction permit process approval at local government in Malaysia. Thesis. Faculty of Built Environment and Surveying University Teknologi Malaysia, 2018. <http://eprints.utm.my/id/eprint/84002/1/BashirAhamedMaideenMFABU2018.pdf> (pristupljeno: 15.07.2021.)
- [8] Kenny, Charles. Construction, Corruption, and Developing Countries. World Bank Policy Research Working Paper 4271, 2007. <http://documents1.worldbank.org/curated/en/571281468137721953/pdf/wps4271.pdf> (pristupljeno: 14.07.2021.)
- [9] The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. Doing Business: Reforming through Difficult Times. 2009. <https://www.doingbusiness.org/content/dam/doingBusiness/media/AnnualReports/English/DB10-FullReport.pdf> (pristupljeno: 14.07.2021.)
- [10] Mihajlović, Z. Zorana. Elektronske građevinske dozvole kao uslov rasta investicija i globalno liderstvo Srbije u izdavanju građevinskih dozvola - analiza efekata i kritične tačke budućeg napretka // *Ekonomika preduzeća*, 66 (2018) 1-2. 167-176. (ISSN 2406-1239)
- [11] Moullier, Thomas. Reforming Building Permits: Why Is It Important and What Can IFC Really Do? International Finance Corporation, Washington, DC., 2009.
- [12] Emmitt, Stephen. Architectural Technology. Blackwell Science, Oxford, 2002 (ISBN 978-1-405-19479-2)
- [13] Kpamma, e. Zoya. Adjei-Kumi, Theophilus. Construction permits and flow of projects within the Sunyani Municipality, Ghana. Proceedings IGLC-21, July 2013. Fortaleza,



- Brazil, 257-266. <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-e200e234-177a-41b0-89c0-890f095506a5.pdf> (pristupljeno: 14.07.2021.)
- [14] Svjetska banka. Doing Business u Europskoj Uniji 2018.: Češka, Hrvatska, Portugal i Slovačka. Washington, DC: Svjetska banka, 2018. <https://www.doingbusiness.org/content/dam/doingBusiness/media/Special-Reports/DB18-EU2-Report-Croatian.pdf> (pristupljeno: 14.07.2021.)
- [15] World Bank Group. Doing Business 2020: Doing Business in the European Union 2018: Croatia, the Czech Republic, Portugal and Slovakia, 2018. <https://www.doingbusiness.org/en/reports/subnational-reports/eu-croatia-czechrepublic-portugal-slovakia> (pristupljeno: 14.07.2021.)
- [16] World Bank Group. Doing Business 2020: Economy Profile Bosnia and Herzegovina. 2019. <https://www.doingbusiness.org/content/dam/doingBusiness/country/b/bosnia-and-herzegovina/BIH.pdf> (pristupljeno: 14.07.2021.)
- [17] Hrvatska narodna banka (HNB). Tečajna lista, Tečajevi ostalih valuta. 2021. <https://www.hnb.hr/temeljne-funkcije/monetarna-politika/tečajna-lista/tečajna-lista> (pristupljeno: 15.07.2021.)
- [18] World Bank Group. Doing Business 2020: Economy Profile Czech Republic, 2019. <https://www.doingbusiness.org/content/dam/doingBusiness/country/c/czech-republic/CZE.pdf> (pristupljeno: 14.07.2021.)
- [19] World Bank Group. Doing Business 2020: Economy Profile Slovak Republic, 2019 <https://www.doingbusiness.org/content/dam/doingBusiness/country/s/slovakia/SVK.pdf> (pristupljeno: 18.07.2021.)
- [20] World Bank Group. Doing Business 2020: Economy Profile Slovenia, 2019. <https://www.doingbusiness.org/content/dam/doingBusiness/country/s/slovenia/SVN.pdf> (pristupljeno: 19.07.2021.)
- [21] World Bank Group. Doing Business 2020: Economy Profile Serbia, 2019. <https://www.doingbusiness.org/content/dam/doingBusiness/country/s/serbia/SRB.pdf> (pristupljeno: 19.07.2021.)





## **Provedba zaštite osobnih podataka prema Općoj uredbi o zaštiti podataka 2016/679 Europskog parlamenta i Vijeća**

### ***Implementation of personal data protection according to the General Data Protection Regulation 2016/679 of the European Parliament and of the Council***

**S. Franjić**

Autor za korespondenciju E-mail: [sinisa.franjic@gmail.com](mailto:sinisa.franjic@gmail.com)

#### **Abstract**

The General Data Protection Regulation (GDPR) 2016/679 is a regulation of the European Union which regulates data protection and privacy of persons within the European Union, and also enacts regulations related to the export of data to third countries. The main objectives of the GDPR are to restore citizens' control over their personal data and to simplify the regulatory environment for international corporations by harmonizing regulations across the Union. The GDPR applies from 25th May 2018.

**Keywords:** GDPR, Information Technology, Personal Data, Computer Criminality

#### **Sažetak**

Opća uredba o zaštiti podataka (GDPR) 2016/679 uredba je Europske unije kojom se regulira zaštita podataka i privatnost osoba unutar Europske unije, a donosi i propise vezane za iznošenje podataka u treće zemlje. Glavni su ciljevi GDPR-a vratiti građanima nadzor nad njihovim osobnim podacima i pojednostaviti regulatorno okruženje za međunarodne korporacije ujednačavanjem propisa u cijeloj Uniji. GDPR se primjenjuje od 25. svibnja 2018.

**Ključne riječi:** GDPR, Informacijska tehnologija, Osobni podaci, Računalni kriminalitet

#### **1. Uvod**

Zaštita pojedinaca s obzirom na obradu osobnih podataka temeljno je pravo. Člankom 8. stavkom 1. Povelje Europske unije o temeljnim pravima te člankom 16. stavkom 1. Ugovora o funkcioniranju Europske unije (UFEU) utvrđuje se da svatko ima pravo na zaštitu svojih osobnih podataka. Načela i pravila o zaštiti pojedinaca u vezi s obradom njihovih osobnih



podataka trebala bi poštovati njihova temeljna prava i slobode, a posebno njihovo pravo na zaštitu osobnih podataka, bez obzira na nacionalnost ili boravište pojedinaca. Ovom Uredbom želi se doprinijeti uspostavi područja slobode, sigurnosti i pravde te gospodarske unije, gospodarskom i socijalnom napretku, jačanju i približavanju gospodarstava na unutarnjem tržištu te dobrobiti pojedinaca. Direktivom 95/46/EZ Europskog parlamenta i Vijeća nastoji se uskladiti zaštita temeljnih prava i sloboda pojedinaca u vezi s obradom podataka kao i osigurati slobodan protok osobnih podataka između država članica. Obrada osobnih podataka trebala bi biti osmišljena tako da bude u službi čovječanstva. Pravo na zaštitu osobnih podataka nije apsolutno pravo; mora ga se razmatrati u vezi s njegovom funkcijom u društvu te ga treba ujednačiti s drugim temeljnim pravima u skladu s načelom proporcionalnosti. Ovom se Uredbom poštuju sva temeljna prava i uvažavaju slobode i načela priznata Poveljom koja su sadržana u Ugovorima, osobito poštovanje privatnog i obiteljskog života, doma i komuniciranja, zaštita osobnih podataka, sloboda mišljenja, savjesti i vjeroispovijedi, sloboda izražavanja i informiranja, sloboda poduzetništva, pravo na učinkoviti pravni lijek i pošteno suđenje te pravo na kulturnu, vjersku i jezičnu raznolikost. Gospodarska i društvena integracija proizašla iz funkcioniranja unutarnjeg tržišta dovela je do znatnog povećanja prekograničnih protoka osobnih podataka. Povećala se razmjena osobnih podataka između javnih i privatnih sudionika, uključujući pojedince, udruženja i poduzetnike širom Unije. U skladu s pravom Unije nacionalna tijela država članica pozivaju se na suradnju i razmjenu osobnih podataka kako bi mogla izvršavati svoje dužnosti ili izvršavati zadaće u ime tijela u drugoj državi članici. Zbog brzog tehnološkog razvoja i globalizacije pojavili su se novi izazovi u zaštiti osobnih podataka. Opseg prikupljanja i razmjene osobnih podataka značajno se povećava. Tehnologijom se privatnim društvima i tijelima javne vlasti omogućuje uporaba osobnih podataka u dosada nedosegnutom opsegu radi ostvarenja njihovih djelatnosti. Pojedinci svoje osobne informacije sve više čine dostupnima javno i globalno. Tehnologija je preobrazila i gospodarstvo i društveni život te bi trebala dalje olakšavati slobodan protok osobnih podataka u Uniji i prijenos trećim zemljama i međunarodnim organizacijama, osiguravajući pri tome visoku razinu zaštite osobnih podataka.

## 2. GDPR

Nakon više od sedam godina od početne inicijative i četiri godine pregovora, novi europski okvir za zaštitu osobnih podataka konačno je usvojen u travnju 2016. godine [2]. Opća EU uredba o zaštiti osobnih podataka 2016/679 ili GDPR (General Data Protection Regulation) zamjenjuje trenutnu EU direktivu i izravno se primjenjuje u svim državama članicama Europske unije. Mogućnost prilagodbe određenih dijelova ipak je ostavljena u nacionalnom zakonodavstvu zaključno s 25. svibnja 2018. kada se GDPR počinje primjenjivati! Ključna pretpostavka razvoja suvremene digitalne ekonomije temelji se na ubrzanom razvoju informacijskih i komunikacijskih tehnologija, istodobno stvarajući nove izazove i ugroze privatnosti i zaštite osobnih podataka. Obrada podataka, osobito obrada osobnih podataka, novi IT alati i digitalno tržište, razvilo je potrebu za povećanjem zaštite privatnosti novih digitalnih proizvoda i usluga. Rješenje je navedeno u novoj reformi EU okviru zaštite osobnih

podataka koja unosi velike promjene u načine upravljanja osobnim podacima i izravno se primjenjuje na sve organizacije koje raspolažu osobnim podacima građana Europske unije. Također, GDPR sa sobom donosi bitne promjene u pravilima koja definiraju osobne podatke te uvodi nove pojmove kao i usklađenost, planiranje, implementaciju, održavanje usklađenosti te procjenu učinka. U nekim slučajevima organizacije će trebati imenovati i kvalificiranog službenika za zaštitu osobnih podataka (DPO – Data Protection Officer) koji će odgovarati izravno Upravi.

Kada se organizacija ili institucija bavi podacima bilo koje vrste, potreban joj je upravljački okvir koji može podatke organizirati u informacije [3]. Informacije su ono što ljudi govore, tumače ili analiziraju kada uzimaju podatke i organiziraju ih na način koji im daje smisao. Uz velike i sve veće količine podataka koji prolaze putem interneta, postoji upražnjeno mjesto za organizacije i institucije koje mogu prevesti te podatke u skup informacija.

Važnost GDPR-a je u tome što on tim organizacijama ili institucijama daje odgovornost za postupanje s tim osjetljivim podacima. Informacije koje proizvode skupovi podataka čine informacijski sustav. Sustav je skup komplementarnih mreža koje prikupljaju i analiziraju skupove podataka. Poslovni informacijski sustavi se oslanjaju na tehnološke komponente, kao što su to hardver i softver, ali i na ljude koji komuniciraju s tehnologijom na način koji olakšava poslovanje.

Razvoj interneta kao moderne informacijsko-komunikacijske tehnologije znatno izmjenjuje poznate oblike komuniciranja, pokreće ekonomski razvoj i na svoj način sudjeluje u stvaranju globalizacije [4]. Internet je multiplicirao važnost informacije, skratio vrijeme njezina prijenosa i omogućio vlastito sudjelovanje u njezinom kreiranju. Internet je svojom pojavom promijenio svijet stvarivši nove oblike komuniciranja. Svojom je pojavom donio niz promjena u brojnim sferama društvenog života, posebice u gospodarski razvijenim državama. Dovoljno je reći da uz pomoć interneta ljudi danas pronalaze niz važnih informacija od posebnog značaja, ali uz pomoć interneta, ljudi danas kupuju, razmjenjuju ideje, traže posao, imaju pristup najrazličitijim bazama podataka itd.

Zaštita fizičkih osoba u odnosu na obradu osobnih podataka temeljno je pravo [5]. Načela i pravila o zaštiti fizičkih osoba u pogledu obrade njihovih osobnih podataka trebala bi, bez obzira na njihovo državljanstvo ili prebivalište, poštivati njihova temeljna prava i slobode, posebno njihovo pravo na zaštitu osobnih podataka. Cilj je ove Uredbe pridonijeti ostvarivanju područja slobode, sigurnosti i pravde, gospodarskog i socijalnog napretka, jačanja i približavanja gospodarstava unutar unutarnjeg tržišta te dobiti fizičkih osoba. Obrada osobnih podataka trebala bi biti osmišljena tako da služi čovječanstvu. Pravo na zaštitu osobnih podataka nije apsolutno pravo; ono se mora razmatrati u odnosu na njegovu funkciju u društvu i mora se ujednačiti s drugim temeljnim pravima u skladu s načelom proporcionalnosti. Ovom se Uredbom poštuju sva temeljna prava i uvažavaju slobode i načela koja su priznata u Povelji i koja su sadržana u Ugovorima, posebice poštovanje privatnog i obiteljskog života, doma i komunikacija, zaštita osobnih podataka, sloboda mišljenja, savjesti i vjeroispovijesti, sloboda izražavanja i informiranja, sloboda poduzetništva, pravo na učinkoviti pravni lijek i pošteno suđenje te pravo na kulturnu, vjersku i jezičnu raznolikost.



### 3. Informacijska tehnologija

Tehnološkim razvojem i novim načinima obrade osobnih podataka, postalo je nužno donošenje novog instrumenta koji će osigurati zaštitu prava i temeljnih sloboda pojedinaca u vezi s obradom njihovih osobnih podataka [2]. U svim modelima kroz povijest razvoja informacijske znanosti nedvojbeno je činjenica da je informacija ključni fenomen, entitet, što se razmjenjuje u komunikacijskom procesu čija priroda nikada do kraja nije pojašnjena: bilo zato što su definicije parcijalne i usmjerene samo na određene vidove ili fragmente komunikacijskih procesa ili što nikada nije postignut konsenzus o ponuđenim definicijama. U suvremenom, informacijskom društvu informacije postaju temeljem procesa javnog informiranja, sastavnog dijela demokratskih i političkih procesa. Informacije postaju i važan element slobode i prava na širenje informacija koji u velikoj mjeri ovisi upravo o legitimnosti i mogućnosti upravljanja zbirkama podataka. Razvidno je da postupak širenja informacija, njihovog tiskanja, objavljivanja ili emitiranja u medijima podliježe njihovom pogrešnom interpretiranju. Logično, jedno od ustavnopravnih i diferencirajućih sredstava ograničavanja slobode javnog informiranja radi zaštite prava ličnosti jest pravo na ispravak informacije. Ustav Republike Hrvatske jamči pravo na ispravak svakomu kome je javnom viješću povrijeđeno Ustavom i Zakonom utvrđeno pravo. Postupak širenja informacija, njihovog tiskanja, objavljivanja ili prikazivanja uređuje pravna regulativa javnog informiranja.

Digitalizacija je okosnica razvoja informacijske superprometnice te otvara kompleksnost zaštite privatnosti i informacijske sigurnosti. Liberalizacija se ponajprije odnosi na otvorenost neograničenog komunikacijskog prostora s pratećim procesom kulturne globalizacije. Globalizacija pak, uz podršku informacijskih i komunikacijskih tehnologija i otvorena globalnog prostora, svjetske trendove premješta u lokalne okvire. Preduvjet za ovakav razvoj Interneta bila je otvorena, decentralizirana, interaktivna mrežna arhitektura, zatim mrežni protokoli koji također moraju biti otvoreni i koji se mogu jednostavno modificirati, te institucije/strukture upravljanja i razvoja Interneta koji moraju biti u skladu s principima otvorenosti i suradnje kako ga ne bi kočile. Otvorenost arhitekture Interneta i njegov kontinuirani razvoj u kojemu su korisnici bili istovremeno i kreatori i pridonosili njegovu daljnjem razvoju, bile su njegove glavne snage razvoja. Nezaustavljivi trend informacijskog društva unaprjeđuje kvalitetu komunikacija, oplemenjuje razvoj tehnologija, ali ima važan zadatak – uspostavljanje modela zaštite podataka, osobito zaštite osobnih podataka, najvrjednijeg dijela osobnosti i koncepta individualnosti i nasuprot globalnoj univerzalnosti.

### 4. Podaci i baze podataka

Uporaba moderne informacijske tehnologije omogućava prikupljanje i obradu velike količine različitih podataka iz najrazličitijih područja ljudskih djelatnosti [4]. Pojava interneta u velikoj mjeri otvorila mogućnost pristupa takvim informacijama. Golema količina podataka, a neke od baza podataka sadržavale su i najintimnije osobne podatke, postala je dostupna diljem svijeta, a o zaštiti od zlouporaba nije se vodilo računa. Ovdje treba istaknuti da se baza podataka jednostavno definira kao organizirana zbirka podataka. Iz ovoga proizlazi da

se pod pitanjem zaštite podataka uglavnom misli na zaštitu privatnosti. Budući da je ovdje riječ o temeljnom pravu čovjeka i građanina na slobodno raspolaganje i odlučivanje o svojim osobnim podacima, početkom sedamdesetih godina XX. stoljeća započeo je rad na pravnom reguliranju zaštite podataka pohranjenih u različitim informacijskim sustavima. Informacijski sustav definira se kao skup jasno definiranih pravila, praktičnog iskustva i metoda rada kod kojih ljudi, grupe (ili i jedni i drugi), trebaju raditi na unošenju datih podataka u računalo, koji će obraditi informaciju tako da pruži sve specifikacije što će omogućiti pojedincima da se odluče u datim poslovnim situacijama. Osnovan je tzv. Youngerov odbor koji je proučavao pitanja privatnosti i pitanja njezine zaštite. Ustanovio je sljedeća opća načela za rad s takvim bazama podataka:

- svaki podatak može se koristiti samo za posebnu namjenu i ne može se bez odgovarajuće dozvole koristiti za druge svrhe
- pristup treba biti omogućen samo ovlaštenim osobama koje ih koriste za svrhu za koju su prvobitno prikupljeni
- količina podataka mora odgovarati namjeni
- u sustavima koji obrađuju podatke u statističke svrhe, rad mora biti organiziran tako da su podaci za identifikaciju odvojeni od ostalih
- uspostaviti načine informiranja da bi svaka osoba čiji se podaci nalaze u sustavu mogla saznati informacije koje se na nju odnose
- treba se unaprijed odrediti stupanj sigurnosti sustava, kao i mjere zaštite od zlouporabe ili pogrešne uporabe
- uspostaviti sustav tehničke kontrole koji će olakšati otkrivanje kršenja sigurnosti
- potrebno je odrediti i vremensko razdoblje nakon kojega se podaci više neće moći čuvati
- podaci moraju biti točni, potrebno je utvrditi načine za ispravljanje netočnosti kao i otkrivanje zastarjelih podataka
- voditi posebno računa o kodiranju vrijednosnih sudova kako ne bi došlo do njihove izmjene
- za radnike izraditi poseban kodeks profesionalne etike

#### **4. Zaštita osobnih podataka**

Osobni podaci su svi oni podaci koji se odnose na pojedinca čiji je identitet utvrđen ili se može utvrditi [1]. Pojedinac čiji se identitet može utvrditi jest osoba koja se može identificirati izravno ili neizravno, osobito uz pomoć identifikatora kao što su ime, identifikacijski broj, podaci o lokaciji, mrežni identifikator ili uz pomoć jednog ili više čimbenika svojstvenih za fizički, fiziološki, genetski, mentalni, ekonomski, kulturni ili socijalni identitet tog pojedinca. Kako bi se osigurala postojana i visoka razina zaštite pojedinaca te uklonile prepreke protoku osobnih podataka unutar Unije, razina zaštite prava i sloboda pojedinaca u vezi s obradom takvih podataka trebala bi biti jednaka u svim državama članicama. U čitavoj Uniji trebalo bi osigurati postojanu i homogenu primjenu pravila za zaštitu temeljnih prava i sloboda pojedinaca u vezi s obradom osobnih podataka. U pogledu obrade osobnih podataka za usklađivanje s pravnom obvezom, za izvršavanje zadaće od javnog interesa ili pri obavljanju službene ovlasti dodijeljene voditelju obrade državama članicama trebalo bi





dopustiti da zadrže ili uvedu nacionalne odredbe kako bi se dodatno odredila primjena pravila iz ove Uredbe. Zajedno s općim i horizontalnim zakonodavstvom o zaštiti podataka kojim se provodi Direktiva 95/46/EZ, države članice imaju nekoliko posebnih zakona za pojedine sektore u onim područjima u kojima su potrebne konkretnije odredbe. Ovom Uredbom također se državama članicama pruža prostor za djelovanje kako bi bolje odredile njezina pravila uključujući obradu posebnih kategorija osobnih podataka („osjetljivi podaci”). U tom smislu ovom se Uredbom ne isključuje pravo države članice kojim se utvrđuju okolnosti posebnih situacija obrade, što uključuje preciznije određivanje uvjeta pod kojima je obrada osobnih podataka zakonita. Djelotvorna zaštita osobnih podataka širom Unije zahtijeva jačanje i detaljno određivanje prava ispitanika i obveza onih koji obrađuju i određuju obradu osobnih podataka, kao i jednake ovlasti praćenja i osiguravanja poštovanja pravila za zaštitu osobnih podataka i jednake sankcije za kršenja u državama članicama. Kako bi se osigurala dosljedna razina zaštite pojedinaca širom Unije i spriječila razilaženja koja ometaju slobodno kretanje osobnih podataka na unutarnjem tržištu, potrebna je Uredba radi pružanja pravne sigurnosti i transparentnosti gospodarskim subjektima, uključujući mikropoduzeća, mala i srednja poduzeća, te pružanja pojedincima u svim državama članicama istu razinu pravno primjenjivih prava i obveza te odgovornosti za voditelje obrade i izvršitelje obrade kako bi se osiguralo postojano praćenje obrade osobnih podataka i jednake sankcije u svim državama članicama, kao i djelotvornu suradnju između nadzornih tijela različitih država članica. Za ispravno funkcioniranje unutarnjeg tržišta ne ograničava se niti zabranjuje slobodno kretanje osobnih podataka u Uniji zbog razloga povezanih sa zaštitom pojedinaca u vezi s obradom osobnih podataka. Zaštita koja se pruža ovom Uredbom u vezi s obradom osobnih podataka trebala bi se odnositi na pojedince bez obzira na njihovu nacionalnost ili boravište. Ovom se Uredbom ne obuhvaća obrada osobnih podataka koji se tiču pravnih osoba, a osobito poduzetnika koji su ustanovljeni kao pravne osobe, uključujući ime i oblik pravne osobe i kontaktne podatke pravne osobe.

Rizik za prava i obveze pojedinaca, različitih vjerojatnosti i ozbiljnosti, može proizaći iz obrade osobnih podataka koja bi mogla prouzročiti fizičku, materijalnu ili nematerijalnu štetu, posebno ako ta obrada može dovesti do diskriminacije, krađe identiteta ili prijevare, financijskog gubitka, štete za ugled, gubitka povjerljivosti osobnih podataka zaštićenih poslovnom tajnom, neovlaštenog obrnutog postupka pseudonimizacije, ili bilo koje druge znatne gospodarske ili društvene štete; ili ako ispitanici mogu biti uskraćeni za svoja prava i slobode ili spriječeni u obavljanju nadzora nad svojim osobnim podacima; ako se obrađuju osobni podaci koji odaju rasno ili etničko podrijetlo, politička mišljenja, vjerska ili filozofska uvjerenja, članstvo u sindikatu i ako je riječ o obradi genetičkih podataka, podataka koji se odnose na zdravlje ili spolni život ili kaznene osude i kažnjiva djela ili povezane sigurnosne mjere; ako se procjenjuju osobni aspekti, osobito analiza ili predviđanje aspekata u vezi s učinkom na poslu, ekonomskim stanjem, zdravljem, osobnim preferencijama ili interesima, pouzdanošću ili ponašanjem, lokacijom ili kretanjem kako bi se izradili ili upotrebljavali osobni profili; ako se obrađuju osobni podaci osjetljivih pojedinaca, osobito djece; ili ako obrada uključuje veliku količinu osobnih podataka i utječe na velik broj ispitanika.



## 5. Obrada osobnih podataka

Obrada osobnih podataka u mjeri koja je nužna i proporcionalna za potrebe osiguravanja sigurnosti mreže i informacija, odnosno sposobnosti mreže ili informacijskog sustava da se odupre, na danom stupnju povjerljivosti, slučajnim događajima ili nezakonitim ili zlonamjernim radnjama koje ugrožavaju dostupnost, autentičnost, integritet i povjerljivost pohranjenih ili prenesenih osobnih podataka te sigurnost povezanih usluga koje nude ili koje su dostupne putem tih mreža i sustava, koju provode tijela javne vlasti, jedinice za hitne računalne intervencije (CERT-ovi), jedinice za računalne sigurnosne incidente (CSIRT-ovi), pružatelji elektroničkih komunikacijskih mreža i usluga te davatelji sigurnosnih tehnologija i usluga smatra se legitimnim interesom dotičnog voditelja obrade podataka [1]. To bi, na primjer, moglo uključivati sprečavanje neovlaštenog pristupa elektroničkim komunikacijskim mrežama i širenja zlonamjernih kodova te zaustavljanje napada „uskraćivanjem usluge” te sprečavanje štete na računalnim i elektroničkim komunikacijskim sustavima. Obrada osobnih podataka u svrhe različite od svrha za koje su podaci prvotno prikupljeni smjela bi se dopustiti samo ako je obrada usklađena sa svrhama za koje su osobni podaci prvotno prikupljeni. U takvom slučaju nije potrebna pravna osnova zasebna od one kojom je dopušteno prikupljanje osobnih podataka. Ako je obrada potrebna za obavljanje zadaće koja se obavlja u javnom interesu ili pri izvršavanju službene ovlasti koju ima voditelj obrade, pravom Unije ili pravom države članice mogu se utvrditi i odrediti zadaće i svrhe za koje će se nastavak obrade smatrati usklađenim i zakonitim. Nastavak obrade u svrhe arhiviranja u javnom interesu, u svrhe znanstvenog ili povijesnog istraživanja ili u statističke svrhe trebalo bi smatrati usklađenom zakonitom obradom. Pravna osnova koja se predviđa pravom Unije ili pravom države članice za obradu osobnih podataka također može činiti pravnu osnovu za daljnju obradu. Radi utvrđivanja je li svrha nastavka obrade usklađena sa svrhom prvotnog prikupljanja osobnih podataka, voditelj obrade nakon ispunjavanja svih zahtjeva zakonitosti izvorne obrade trebao bi uzeti u obzir, među ostalim, svaku vezu između te svrhe i svrhe planiranog nastavka obrade, kontekst u kojem su prikupljeni osobni podaci posebno opravdana očekivanja ispitanika koja se temelje na njihovom odnosu s voditeljem obrade u pogledu daljnje uporabe podataka, prirodu osobnih podataka, posljedice planiranog nastavka obrade za ispitanike i postojanje primjerenih zaštitnih mjera u izvornoj i planiranoj daljnjoj obradi. Ako je ispitanik dao privolu ili se obrada temelji na pravu Unije ili pravu države članice koje čini potrebnu i razmjernu mjeru u demokratskom društvu posebno za zaštitu važnih ciljeva od općeg javnog interesa, voditelju obrade trebalo bi dopustiti daljnju obradu osobnih podataka neovisno o usklađenosti svrha. U svakom slučaju trebalo bi osigurati primjenu načela iz ove Uredbe, a osobito informirati ispitanika o tim drugim svrhama te o njegovim pravima, među ostalim o pravu na prigovor. Ukazivanje voditelja obrade na moguća kaznena djela ili prijetnje javnoj sigurnosti i prijenos relevantnih osobnih podataka nadležnom tijelu u pojedinim slučajevima ili u više njih koji se odnose na isto kazneno djelo ili prijetnje javnoj sigurnosti trebalo bi smatrati legitimnim interesom voditelja obrade. Međutim, takav prijenos u legitimnom interesu voditelja obrade ili daljnju obradu osobnih podataka trebalo bi zabraniti ako obrada nije u skladu s pravnim, profesionalnim ili drugim prisilnim obvezama poštovanja tajnosti.



Svaka obrada osobnih podataka trebala bi biti zakonita i poštena. Za pojedince bi trebalo biti transparentno kako se osobni podaci koji se odnose na njih prikupljaju, upotrebljavaju, daju na uvid ili na drugi način obrađuju, kao i do koje se mjere ti osobni podaci obrađuju ili će se obrađivati. Načelom transparentnosti traži se da svaka informacija i komunikacija u vezi s obradom tih osobnih podataka bude lako dostupna i razumljiva te da se upotrebljava jasan i jednostavan jezik. To se načelo osobito odnosi na informacije ispitaniku o identitetu voditelja obrade i svrhama obrade te daljnje informacije radi osiguravanja poštenosti i transparentnosti obrade s obzirom na pojedince o kojima je riječ i njihovo pravo da dobiju potvrdu i na obavijest o osobnim podacima koji se obrađuju, a koji se odnose na njih. Pojedinci bi trebali biti upoznati s rizicima, pravilima, zaštitnim mjerama i pravima u vezi s obradom osobnih podataka i načinom ostvarenja svojih prava u vezi s obradom. Osobito, određena svrha u koju se osobni podaci obrađuju trebala bi biti izrijekom navedena i opravdana te određena u vrijeme prikupljanja osobnih podataka. Osobni podaci trebali bi biti primjereni, bitni i ograničeni na ono što je nužno za svrhe u koje se podaci obrađuju. Zbog toga je osobito potrebno osigurati da je razdoblje u kojem se osobni podaci pohranjuju ograničeno na strogi minimum. Osobni podaci trebali bi se obrađivati samo ako se svrha obrade opravdano ne bi mogla postići drugim sredstvima. Radi osiguravanja da se osobni podaci ne drže duže nego što je nužno, voditelj obrade trebao bi odrediti rok za brisanje ili periodično preispitivanje. Trebalo bi poduzeti svaki razumno opravdani korak radi osiguravanja da se netočni osobni podaci isprave ili izbrišu. Osobne podatke trebalo bi obrađivati uz odgovarajuće poštovanje sigurnosti i povjerljivosti osobnih podataka, što obuhvaća i sprečavanje neovlaštenog pristupa osobnim podacima i opremi kojom se koristi pri obradi podataka ili njihove neovlaštene upotrebe.

## 6. Privola

Privola ispitanika znači svako dobrovoljno, posebno, informirano i nedvosmisleno izražavanje želja ispitanika kojim on izjavom ili jasnom potvrdnom radnjom daje pristanak za obradu osobnih podataka koji se na njega odnose [1].

Privola bi se trebala davati jasnom potvrdnom radnjom kojom se izražava dobrovoljan, poseban, informiran i nedvosmislen pristanak ispitanika na obradu osobnih podataka koji se odnose na njega, poput pisane izjave, uključujući elektroničku, ili usmene izjave. To bi moglo obuhvaćati označivanje polja kvačicom pri posjetu internetskim stranicama, biranje tehničkih postavaka usluga informacijskog društva ili drugu izjavu ili ponašanje koje jasno pokazuje u tom kontekstu da ispitanik prihvaća predloženu obradu svojih osobnih podataka. Šutnja, unaprijed kvačicom označeno polje ili manjak aktivnosti stoga se ne bi smjeli smatrati privolom. Privola bi trebala obuhvatiti sve aktivnosti obrade koje se obavljaju u istu svrhu ili svrhe. Kada obrada ima višestruke svrhe, privolu bi trebalo dati za sve njih. Ako se privola ispitanika treba dati nakon zahtjeva upućenog elektroničkim putem, taj zahtjev mora biti jasan, jezgrovit i ne smije nepotrebno ometati upotrebu usluge za koju se upotrebljava.



Kako bi se osiguralo da je privola dana dobrovoljno, ona ne bi smjela predstavljati valjanu pravnu osnovu za obradu osobnih podataka u određenom slučaju kada postoji jasna neravnoteža između ispitanika i voditelja obrade, posebno ako je voditelj obrade tijelo javne vlasti i stoga nije vjerojatno da je s obzirom na sve okolnostima te posebne situacije privola dana dobrovoljno. Smatra se da privola nije dana dobrovoljno ako se njome ne omogućuje davanje zasebne privole za različite postupke obrade podataka, unatoč tome što je primjerena pojedinačnom slučaju ili ako izvršenje ugovora, među ostalim i pružanje usluge, ovisi o privoli i ako takva privola nije nužna za takvo izvršenje.

## 7. Pravo na privatnost

Pravo na privatnost je jedno od osnovnih, neotuđivih i apsolutnih ljudskih prava svakog pojedinca kojim se jamči integritet i dostojanstvo ljudske ličnosti zbog očuvanja tajnosti i slobode njegova privatnog života. Ovo pravo je apsolutnog karaktera i ničim se ne smije ograničiti pa makar to bili i viši interesi države. Razvojem informatičke znanosti i tehnologije, ovo pravo vrlo lako može biti ugrožena. Zbog toga zakoni tretiraju privatnost kao pravo pojedinca da kontrolira koji podaci o njemu mogu postati dostupni drugima. Interes društva i države je da spriječi neovlašteno prikupljanje podataka, pristup podacima u domeni tajnosti ili privatnosti, neautorizirano korištenje i mijenjanje podataka, odnosno da dozvoli uvid u podatke od vitalnog značaja za društvo. Interes pojedinca je saznati prikupljaju li se podaci o njemu da se podaci o njemu, tko će ih koristiti, u koje svrhe, koliko dugo, jesu li relevantni, kompletni i točni. Interes korisnika je da što lakše dođe do njemu potrebnih informacija u skladu sa zakonima. Bez obzira na svoju kompleksnost i značaj, ovo pravo ne predstavlja novi vid prava, nego nadopunjuje pravo na privatnost. Pravo na privatnost pojedinca se odnosi na podatke o osobi na osnovi kojih ono može biti identificirano, ali s kojim se netko može i ugroziti. Ono je relativnog karaktera, može biti narušeno u posebnim okolnostima, posebice kada su u pitanju, na primjer, nacionalna sigurnost i kazneni postupak.

## 8. Računalni kriminalitet

Uz razvoj računalne tehnologije, razvija se, na žalost, i njezina zlouporaba, odnosno zlouporaba podataka i informacija obrađenih suvremenim informacijskim tehnologijama [4]. Zlouporaba računala usko je povezana s računalnim kriminalitetom. Masovnost ove pojave poprimila je goleme razmjere, a izravne štete su nesagledive. Masovna uporaba računala u najrazličitijim prilikama, uz sve veće korištenje telekomunikacijske opreme od sve većeg broja korisnika, omogućuje da sve veći broj nestručnih i neovlaštenih osoba (hackera) uzrokuje nesagledive posljedice. S obzirom da su informacijski sustavi u većini slučajeva ranjivi, svakako treba istaknuti da će se hackeri na sve moguće načine pokušati domoći svih onih podataka koji će im omogućiti neometani pristup objektu svoje buduće kriminalne radnje. To, konkretno, znači da će se pokušati domoći svih onih pristupnih podataka koji su u uporabi kada se radi o pristupu nekoj usluzi. Tuđim pristupnim podacima koriste se kako bi uopće mogli pristupiti sustavu, a kada mu pristupe, s njime, praktički, mogu činiti ono što god hoće. Do pristupnih kodova najčešće dolaze putem elektroničke pošte, odnosno e-maila u kojemu se traži neki povjerljiv podatak. Takav e-mail izgleda tako kao da ga je poslao neki



poznati davatelj elektroničkih usluga. Budući da se u današnje moderno doba sve više razvijaju najrazličitiji oblici poslovanja koji se obavljaju putem interneta, u svakoj od potrebitih transakcija mora se dokazati identitet osoba koje posluju jedna s drugom. Identitet se dokazuje unosom pristupnih kodova, korisničkim imenom, zaporkom itd., a ako se dogodi da netko drugi sazna te podatke, on u tuđe ime može rabiti uslugu.

## 9. Zaključak

Zbog tehnološkog razvoja i novih načina obrade podataka javila se potreba za novim zakonom koji bi korisnicima dao više nadzora nad korištenjem njihovih podataka. Budući da se primjenjuje u svim državama članicama Europske unije, GDPR bi trebao pojednostaviti zakonodavni okvir i olakšati usklađivanje tvrtkama koje posluju u više država članica. GDPR jača prava ispitanika i donosi opsežnije definicije novih pojmova važnih za privatnost. Propisi iz GDPR-a odnose se na tvrtke koje prikupljaju podatke bez obzira u kojoj se državi Europske unije nalaze. Uredba se primjenjuje na voditelje obrade, tj. organizacije koje prikupljaju podatke EU građana, i na izvršitelje obrade, tj. organizacije koje obrađuju podatke prema nuputcima voditelja obrade, poput pružatelja usluga u oblaku ako su predmet obrade podaci ispitanika (osoba) iz EU-a. Uredba se primjenjuje i na organizacije sa sjedištem izvan EU-a koje prikupljaju osobne podatke EU građana.

## 10. Literatura

- [1] Uredba (EU) 2016/679 Europskog parlamenta i Vijeća od 27. travnja 2016. o zaštiti pojedinaca u vezi s obradom osobnih podataka i o slobodnom kretanju takvih podataka te o stavljanju izvan snage Direktive 95/46/EZ
- [2] Čizmić, Jozo; Boban, Marija: Učinak nove EU uredbe 2016679 (GDPR) na zaštitu osobnih podataka u Republici Hrvatskoj // Zbornik radova Pravnog fakulteta Sveučilišta u Rijeki, Rijeka, Hrvatska, 39, 1/2018, str. 377. - 410.
- [3] Gobeo, Antoni; Fowler, Connor; Buchanan, William J.: GDPR and Cyber Security for Business Information Systems // River Publishers, Gistrup, Danska, str. 70., 2018.
- [4] Šimundić, Slavko; Franjić, Siniša: Računalni kriminalitet // Sveučilište u Splitu – Pravni fakultet, Split, Hrvatska, str. 19. - 22.; 29., 2009.
- [5] Franjić, S.: Importance of the protection of personal data according to Regulation 2016/679 of the European Parliament and of the Council // Zbornik radova 17. skup o prirodnom plinu, toplini i vodi; 10. međunarodni skup o prirodnom plinu, toplini i vodi, Raos, Pero (ur.), ISSN 1849-0638, Strojarski fakultet u Slavanskom Brodu, Slavonski Brod, Osijek, Hrvatska, 25. - 27. 09. 2019., str. 180-187



## **3D sinkrona tehnologija modeliranja pogonskog sklopa trokrilne zupčaste pumpe ZPC - 32**

### ***3D synchronous technology design of the drive assembly a three-wing pump ZPC - 32***

**B. Hršak<sup>1,2\*</sup>, A. Čikić<sup>2\*</sup>, M. Šunjo<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Veleučilište u Bjelovaru, Trg E. Kvaternika 4, 43000 Bjelovar

<sup>2</sup>Sveučilište Sjever, 104. Brigade 3, 42000 Varaždin

\*Autori za korespondenciju e-mail: [bhrsak@vub.hr](mailto:bhrsak@vub.hr) [acikic@unin.hr](mailto:acikic@unin.hr)

#### **Sažetak:**

Prikazana je 3D sinkrona tehnologija modeliranja pogonskog sklopa trokrilne zupčaste pumpe ZPC – 32 na temelju postojeće 2D radioničke dokumentacije primjenom reverzibilnog inženjeringa. U programskom alatu Solid Edge – Synchronous Technology izrađeni su 3D modeli dijelova – pozicija, 3D modeli pogonskog sklopa i sklopa trokrilne zupčaste pumpe. U programskom modulu Motors izrađena je 3D animacija radne funkcije pogonskog sklopa, a u programskom okruženju ERA (Explode-Render-Animate) 3D prikaz pogonskog sklopa i sklopa trokrilne zupčaste pumpe u rastavljenom stanju (Exploded View). U programskom alatu Solid Edge – FlowEFD provedena je analiza toka strujanja fluida u 3D modelu sklopa trokrilne zupčaste pumpe ZPC – 32 za volumni protok  $V = 0,001194 \text{ m}^3/\text{s}$ . Kompletna 2D radionička dokumentacija pogonskog sklopa "generirana" je u programskom modulu ISO Metric Draft. Predloženi postupci 3D Sinkrone tehnologije modeliranja doprinose praktičnoj primjeni u unapređenju i razvoju brze izrade i 3D oblikovanja prototipa (Rapid Prototyping) kao i postojećeg proizvoda strojnih elemenata trokrilnih zupčastih pumpi pomoću "upravljača" za sinkrono oblikovanje – Steering Wheel, za različita postrojenja i procesne sustave.

**Ključne riječi:** Trokrilna pumpa, 3D modeli pozicija, Solid Edge ST8 – Sinkrona tehnologija, 3D animacija, Analiza strujanja fluida, 2D radionička dokumentacija

#### **Abstract:**

3D synchronous technology for modeling the ZPC - 32 three - wing gear pump drive assembly based on the existing 2D workshop documentation using reversible engineering is presented. In the software tool Solid Edge - Synchronous Technology, 3D models of parts - position, 3D models of the drive assembly and the three-wing gear pump assembly were created. In the Motors software module, a 3D animation of the operating function of the drive assembly was created, and in the ERA (Explode-Render-Animate) programming environment, a 3D display of the drive assembly and the three-blade gear pump assembly

in disassembled state (Exploded View). In the software tool Solid Edge - FlowEFD, the analysis of the fluid flow in the 3D model of the three - wing gear pump assembly ZPC - 32 for the volume flow  $V = 0,001194 \text{ m}^3/\text{s}$  was performed. The complete 2D workshop documentation of the powertrain is "generated" in the ISO Metric Draft software module. The proposed procedures 3D Synchronous modeling technology contribute to the practical application in the improvement and development of rapid fabrication and 3D prototyping (Rapid Prototyping) as well as the existing product of machine elements of three-bladed gear pumps using "controls" for synchronous shaping - Steering Wheel, for various plants and process systems.

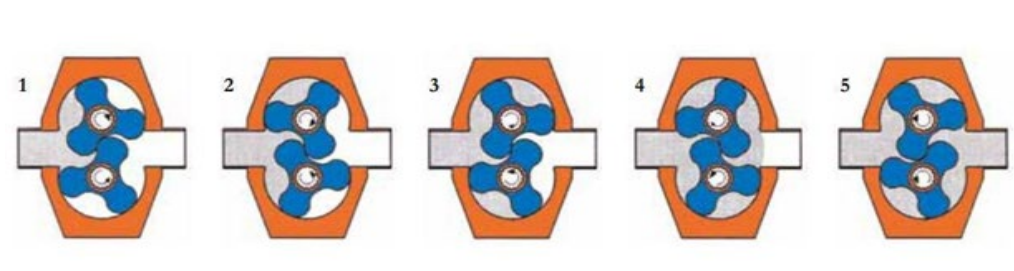
**Key words:** Wing pump, 3D model positions, Solid Edge ST8 – Synchronous technology, 3D animation, Fluid flow analysis, 2D documentation works

## 1. Uvod

Trokrilna zupčasta pumpa (Slika 1.) je rotacijska pumpa u kojoj su elementi za potiskivanje fluida izrađeni u obliku krilaca. Princip rada krilnih pumpi bazira se na rotaciji dva rotora u suprotnim smjerovima, koja su postavljena unutar kućišta. Krila su fiksirana na osovinama (pogonska i gonjena) koje su spojene pomoću sinkronizatora. Osovine su opremljene sa zupčanicima, koji se nalaze unutar sinkronizatora, i daju pogonsku snagu pomoćnom gonjenom vratilu. Rotacija osovine je sinkronizirana, tako da se one "ne susreću jedna sa drugom" u toku samog procesa rada [1].



**Slika 1.** Trokrilna zupčasta pumpa [1]



**Slika 2.** Ciklus rada trokrilne zupčaste pumpe [1]

Ciklus rada pumpe počinje kada su krila otkočena, što uzrokuje povećanje usisnog kapaciteta pumpe, izazivajući pražnjenje dovoda (slika 1 - sa slike 2.). To dovodi do preljeva fluida unutar kućišta pumpe. Upumpan fluid se pomiče uzduž zida kućišta pumpe (slika 2. i slika 3. sa slike 2.), od usisne do potisne strane pumpe (slika 4. sa slike 2.). Kada se krila poklope/podudare, prostor između njih se smanjuje, što uzrokuje povećanje tlaka iz otvora. To dovodi do istiskivanja fluida iz kućišta pumpe (slika 5. sa slike 2.).

Krilne pumpe omogućavaju relativno jednostavan proces pumpanja i efikasno se koriste za transport fluida za koje je neophodno sačuvati njihovu originalnu strukturu. Osiguravaju ravnomjeren i kontinuirani protok. Pumpa je pogodna za transport fluida visoke viskoznosti. Vrlo često se primjenjuju u farmaceutskoj, kozmetičkoj, prehrambenoj i kemijskoj industriji. Koriste se kod prepumpavanja benzina, nafte, loživog ulja, mineralnih ulja, alkohola, tekućih plinova, boja i drugih tekućina koje nisu agresivne na sivi lijev i ugljični čelik. Ugrađuju se i na kamion – cisternu za prijevoz naftnih derivata i drugih tekućina u rafinerijama i skladištima derivata (slika 3.) [1]. Prednosti su joj higijenski dizajn, ravnomjerni protok, male dimenzije u odnosu na kapacitet, velika mogućnost samo-uisavanja te mogućnost pogona benzinskim, dizelskim, elektro i hidrauličkim pogonom, malo trošenje radnih elemenata, dugi vijek trajanja i minimalno održavanje [1].

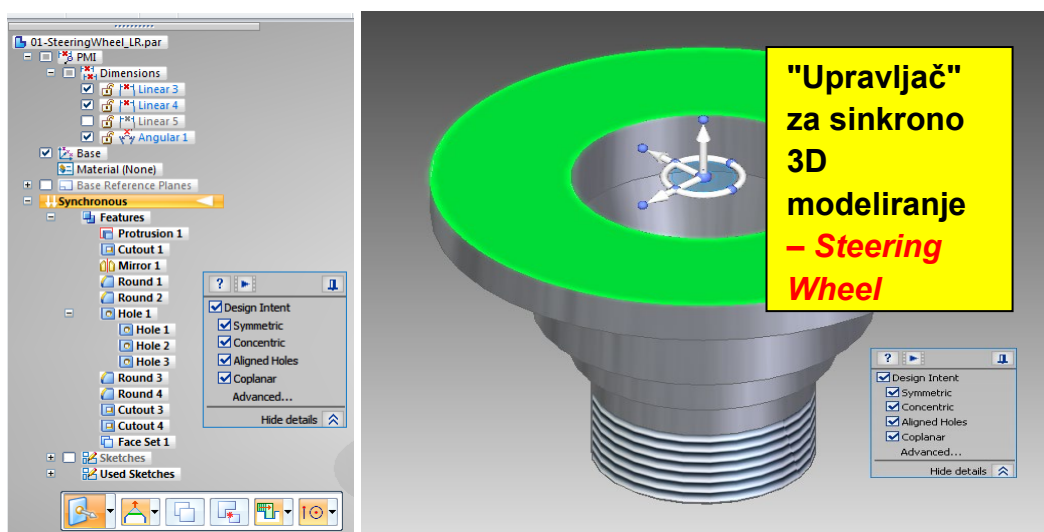


**Slika 3.** Primjena trokrilne zupčaste pumpe [2]

## **2. Izrada 3D modela pozicija pogonskog sklopa trokrilne zupčaste pumpe ZPC - 32**

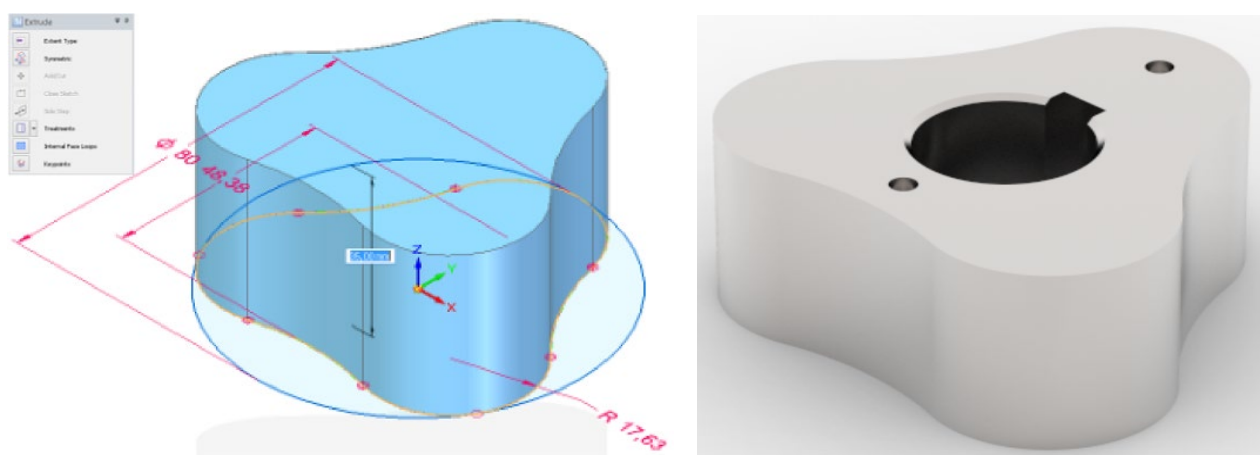
Na temelju postojeće 2D radioničke dokumentacije reverzibilnim inženjeringom, prikazana je izrada 3D modela pozicija i pogonskog sklopa trokrilne zupčaste pumpe u programskom alatu SolidEdge ST8 – *Synchronous Technology*. Programski alat Solid Edge ST 8 sa sučeljem prikazanim na slici 4. koristi "sinkronu" tehnologiju 3D modeliranja - *Synchronous Technology* gdje skica nije "direktno" povezana hijerarhijski sa značajkom (odnosno površinom pomoću "upravljača" za sinkrono 3D modeliranje – *Steering Wheel*), niti se izravno nadovezuje na "stablo" 3D modela. Takvom tehnologijom značajnije se smanjuje opasnost od mogućeg "pada" složenijeg (parametarski) 3D modela, te je u svakom

trenutku moguća izmjena 3D modela (značajki modela) direktno u 3D prostoru izrade 3D modela pomoću vidljivo prikazanih 3D kota.



**Slika 4.** Sučelje i 3D model priključka DN50 izrađen "sinkronom" tehnologijom 3D modeliranja – *Synchronous Technology* u programskom alatu Solid Edge ST8 [3]

Postupak 3D modeliranja rotora trokrične zupčaste pumpe ZPC – 32 programskim alatom Solid Edge ST8 - *Synchronous Technology* započinje izradom skice, te korištenjem značajke dodavanja materijala, a pomoću alata za napredno 3D modeliranje izrađen je renderirani (fotorealistički) 3D model rotora (Slika 5.).



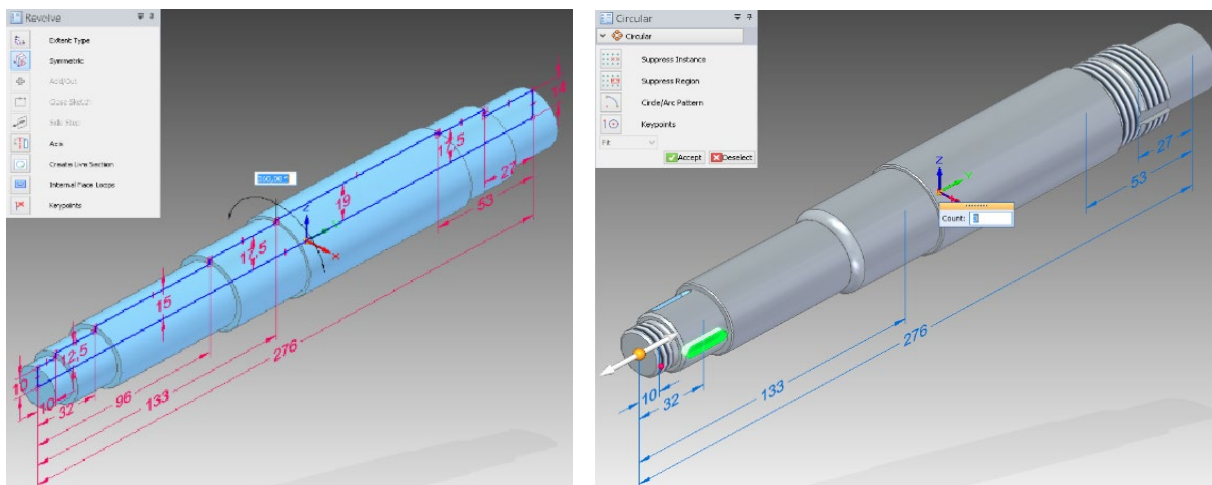
**Slika 5.** Dodavanje materijala na skicu rotora i renderirani (fotorealistički) 3D model rotora trokrične zupčaste pumpe u programskom alatu Solid Edge ST8 – *Synchronous Technology*

Postupkom 3D modeliranja gonjenog vratila trokrične zupčaste pumpe izrađena je skica te značajkom dodavanja materijala oko zadane osi ili jednostavno označavanje željene



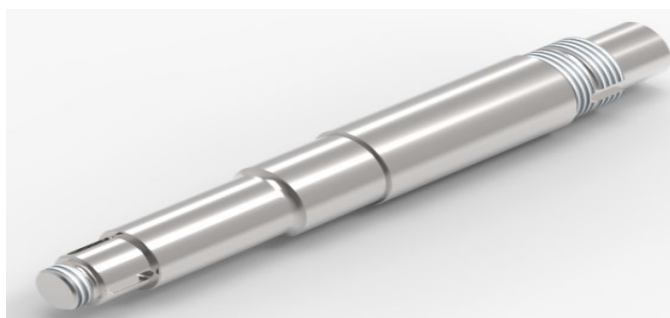


površine. Pozicioniranjem upravljača *Steering Wheel* koincidentno Y - osi označen je torus upravljača zakrenut za željeni kut ( u ovom slučaju 360°) (slika 6.).



**Slika 6.** Izrada kružnog dodavanja materijala oko osi pomoću upravljača *Steering Wheel* i izrada utora za klinove oduzimanjem materijala i kružnim umnožavanjem u programskom alatu Solid Edge ST8 – *Synchronous Technology*

3D modeliranje gonjenog vratila završeno je značajkom oduzimanja materijala na zasebnoj skici, te se potom značajkom kružnog umnožavanja izrađeni utori za klinove. Pomoću alata za napredno 3D modeliranje izrađeni (fotorealistički) 3D model gonjenog vratila (slika 7.).



**Slika 7.** Renderirani (fotorealistički) 3D model gonjenog vratila trokrilne zupčaste pumpe u programskom alatu Solid Edge ST8 – *Synchronous Technology*

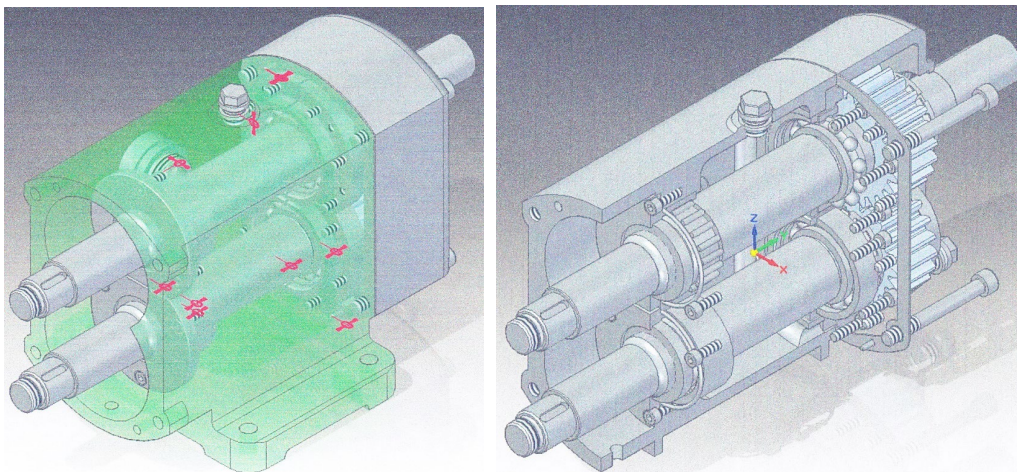
Na iste načine ("slijednom - sinkronom" tehnologijom – *SynchronousTechnology* 3D oblikovanja) modelirane su i ostale pozicije i podsklopovi gotovog proizvoda trokrilne zupčaste pumpe ZPC – 32 (pogonsko vratilo, nosač prstena, matica, osigurača – podloška za osiguranje matica, pritezni prsten, poklopac ležaja, priрубnica, poklopac brtve, unutrašnji prsten, vanjski prsten, priključak DN 50, čep, brtva, podsklop uljokaza, kućište, poklopac, poklopac nosača, sinkroni zupčanici).





### 3. Izrada 3D modela pogonskog sklopa trokrilne zupčaste pumpe ZPC - 32

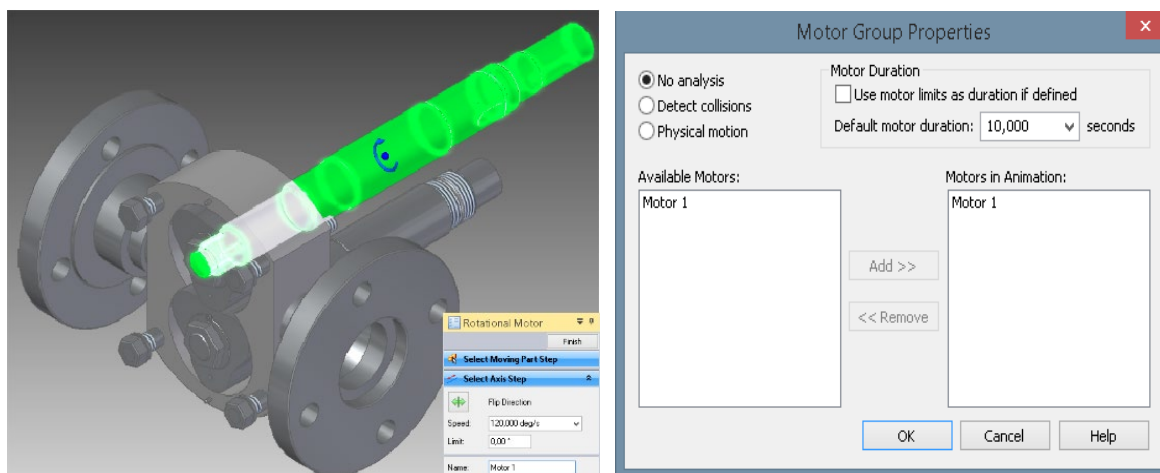
Nakon 3D modeliranja svih pozicija i podsklopova, izvršeno je njihovo spajanje u jedinstvenu cjelinu – gotov pogonski sklop trokrilne zupčaste pumpe (slika 8.).



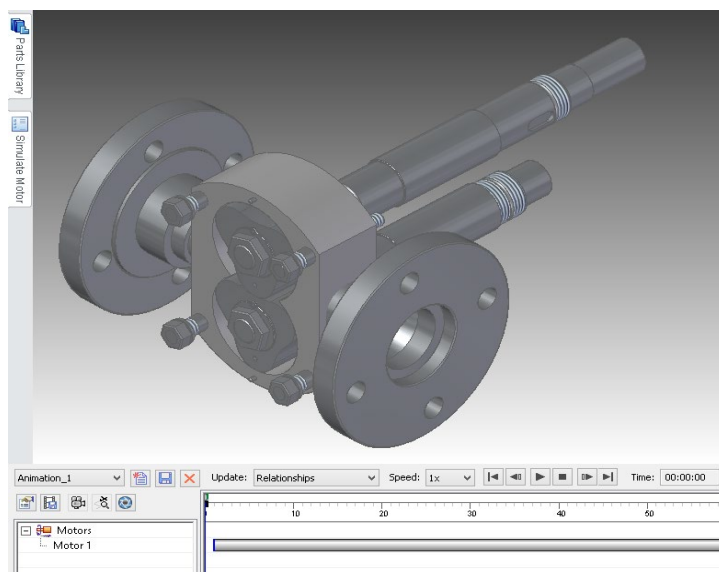
**Slika 8.** Prikaz spajanja svih pozicija i gotov 3D model pogonskog sklopa trokrilne zupčaste pumpe ZPC – 32

### 4. Izrada prikaza 3D animacije radne funkcije gotovog proizvoda – trokrilne zupčaste pumpe ZPC - 32

U programskom modulu Motors izrađena je 3D animacija radne funkcije gotovog proizvoda u cilju provjere ispravnosti rada pogonskog sklopa i sklopa zupčastog para trokrilne zupčaste pumpe. Animacija radne funkcije gotovog proizvoda izrađena je odabirom značajke rotacijski motor, koja se postavlja na pogonsko vratilo trokrilne zupčaste pumpe (slika 9.). Izrada 3D animacije sklopa (slika 10.) izvršena je odabirom svojstva značajke simulacije postavljenog motora (slika 9.).



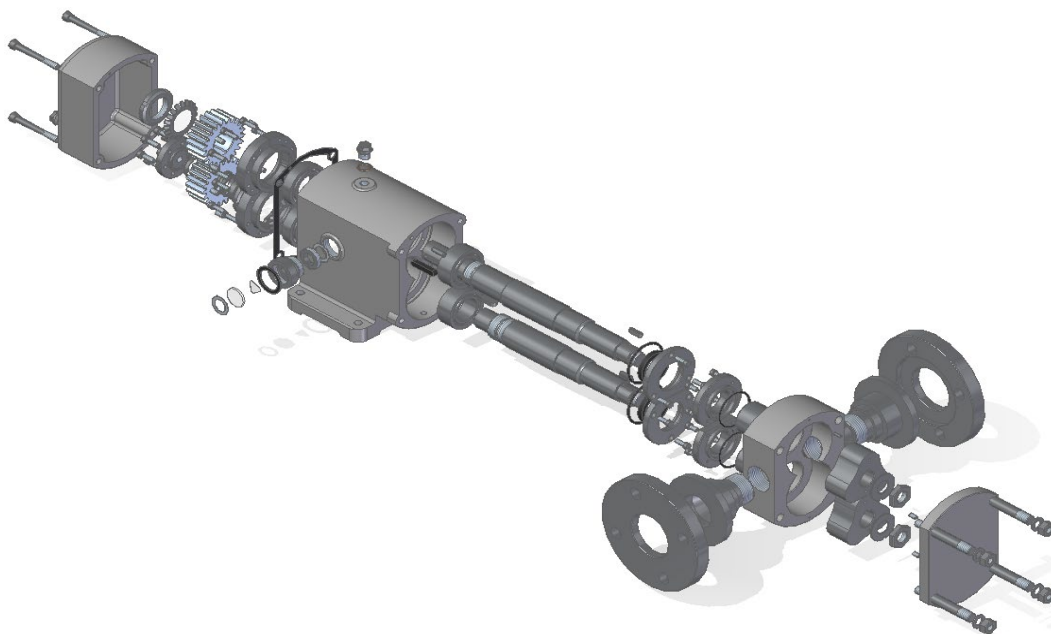
**Slika 9.** Postavljanje značajke rotacijskog motora na pogonsko vratilo i prikaz svojstva značajke simulacije motora



**Slika 10.** Izrada 3D animacije pogonskog sklopa i sklopa zupčastog para trokrilne zupčaste pumpe korištenjem značajke simulacije motora

## 5. 3D prikaz pogonskog sklopa i sklopa trokrilne zupčaste pumpe u rastavljenom stanju.

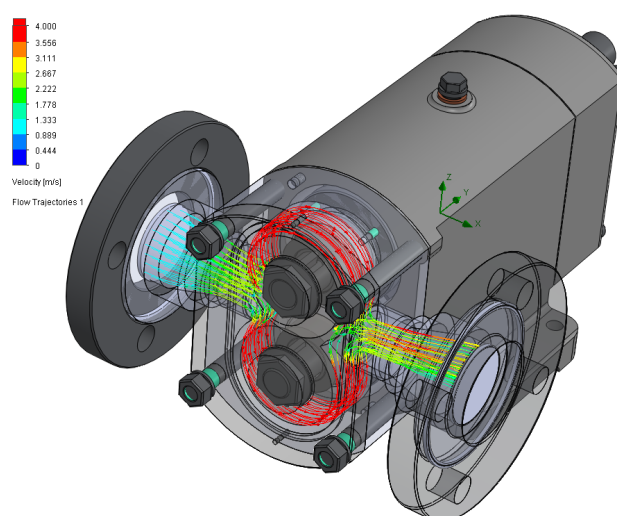
U programskom okruženju ERA (Explode-Render-Animate) izrađen je 3D prikaz pogonskog sklopa i sklopa trokrilne zupčaste pumpe u rastavljenom stanju (Exploded View). Primjenjuje se prilikom definiranja postupaka redosljeda montaže gotovog proizvoda i izrade kataloga rezervnih dijelova odabirom značajke Explode (slika 11.).



**Slika 11.** 3D prikaz pogonskog sklopa i sklopa trokrilne zupčaste pumpe u rastavljenom stanju (Exploded View)

## 6. Analiza toka strujanja fluida u 3D modelu sklopa trokrilne zupčaste pumpe ZPC - 32

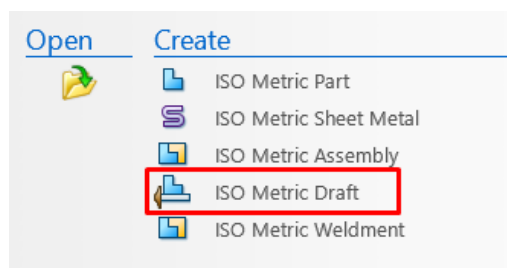
Analiza toka strujanja fluida u 3D modelu sklopa trokrilne zupčaste pumpe ZPC – 32 provedena je u programskom modulu SolidEdge – FlowEFD odabirom vrste analize (unutarnja ili vanjska), vrste fluida, parametrima koji određuju strujanje fluida (volumnim protokom i tlakom) te postavljanjem "poklopaca" na ulazne i izlazne priključke pumpe pomoću kojih se definiraju ulazni i izlazni parametri strujanja značajkom graničnih uvjeta. Na ulazni priključak zadan je volumni protok od 0,001194 m<sup>3</sup>/s, a na izlazni (tlačni) priključak atmosferski tlak od 0,1 MPa. Provedena je analiza toka strujanja fluida. Na slici 12. prikazan je tok i brzina strujanje fluida u 3D modelu sklopa trokrilne zupčaste pumpe ZPC – 32 za volumni protok od 0,001194 m<sup>3</sup>/s.



**Slika 12.** Prikaz toka i brzine strujanja fluida kroz trokrilnu pumpu ZPC -32 za volumni protok  $Q = 0,001194 \text{ m}^3/\text{s}$  u 3D sklopu pumpe (izometrijski prikaz)

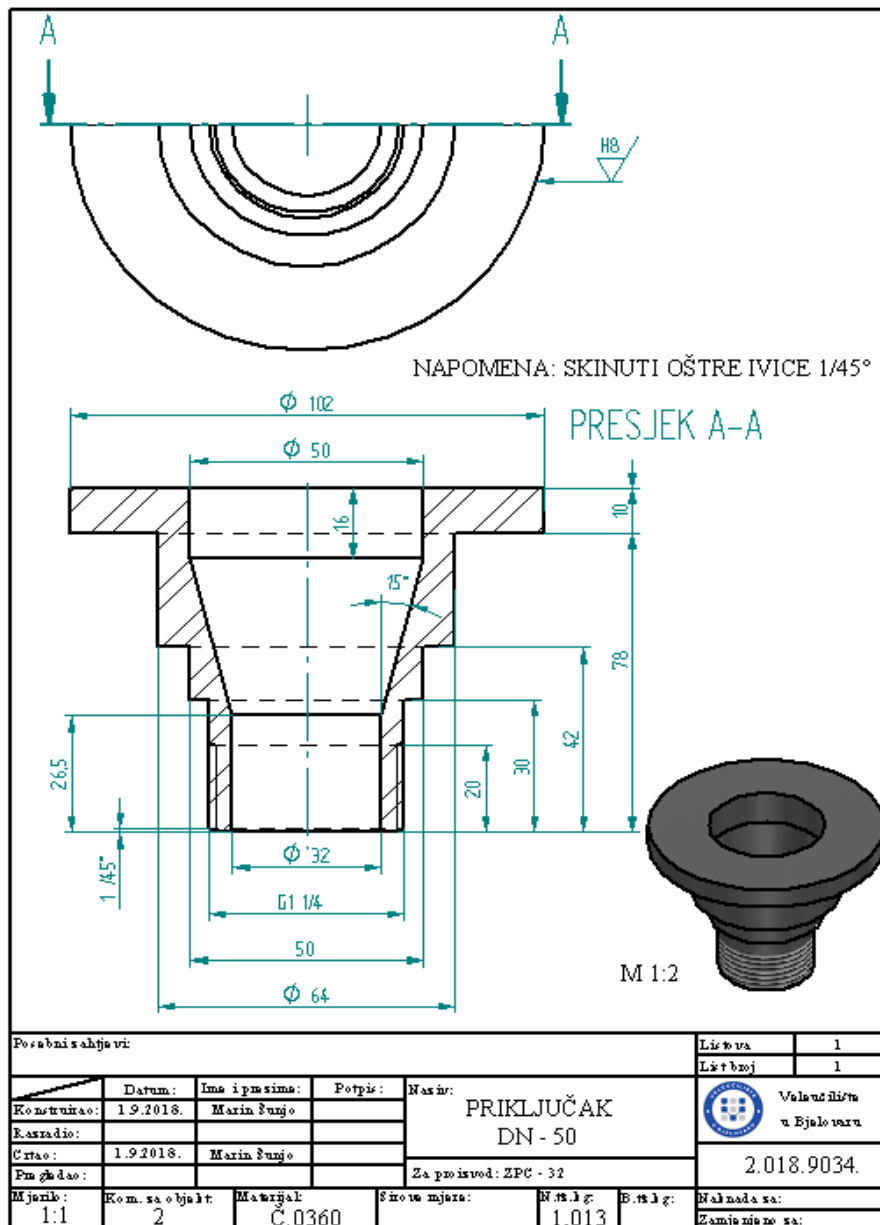
## 7. Izrada (generiranje) 2D radioničke dokumentacije

2D radionička dokumentacija „generirana“ je iz postojećih 3D modela koji su prethodno izrađeni u programskom modulu ISO Metric Draft (slika 13.). Generiranje je provedeno bez crtanja posebnih radioničkih nacrtā, automatski iz samoga 3D modela, a izmjena 3D modela odražava se na promjenu oblika i dimenzija 2D radioničkog crteža.



**Slika 13.** Odabir radioničkog crteža

Na slici 14. prikazan je primjer generirane 2D radioničke dokumentacije priključka DN50 izrađen "sinkronom" tehnologijom 3D modeliranja - *Synchronous Technology* u programskom alatu SolidEdge ST8.



**Slika 14.** Generirana 2D radionička dokumentacija priključka DN50 izrađena "sinkronom" tehnologijom 3D modeliranja – *Synchronous Technology* u programskom alatu Solid Edge ST 8

## 8. Zaključak

Na temelju postojeće 2D radioničke dokumentacije primjenom reverzibilnog inženjeringa u programskom alatu *SolidEdge ST8* – *Synchronous Technology* naprednim tehnikama modeliranja, izrađeni su 3D modeli pogonskog sklopa i sklopa trokrilne zupčaste pumpe sa



svim pozicijama kao i kompletna 2D radionička dokumentacija pozicija, sklopova s mogućnošću izrade stvarnog izratka prototipa gotovog proizvoda. Skica u programskom alatu *SolidEdge ST8* predstavlja "površinu" i pomoću alata za upravljanje sinkronim modeliranjem (torusnog elementa sa glavnim osima - *Steering Wheel*) upravlja se pomicanjem i zakretanjem direktno na 3D modelu. Time se značajno skraćuje vrijeme izrade 3D modela, za razliku od "standardne" (*Ordered Technology*) tehnologije 3D modeliranja koja se temelji na "linearnom hijerarhijskom stablu" i "strogo" definiranom slijedu povijesti skica i značajki koje su u direktnoj međusobnoj ovisnosti. U programskom alatu *SolidEdge ST8 – Synchronous Technology* u programskom modulu Motors prikazan je postupak izrade 3D animacije radne funkcije pogonskog sklopa, a u programskom modulu ERA (Explode-Render-Animate) 3D prikaz pogonskog sklopa i sklopa trokrilne zupčaste pumpe u rastavljenom stanju (Exploded View). Pomoću programskog alata *Solid Edge - FlowEFD* provedena je analiza toka strujanja fluida u 3D modelu sklopa trokrilne zupčaste pumpe za volumni protok  $V = 0,001194 \text{ m}^3/\text{s}$ . U programskom modulu ISO Metric Draft izrađena je kompletna 2D dokumentacija gotovog proizvoda – trokrilne zupčaste pumpe ZPC – 32.

Predloženi postupci 3D sinkrone tehnologije modeliranja doprinose praktičnoj primjeni u unapređenju i razvoju brze izrade i 3D oblikovanja prototipa (Rapid Prototyping) kao i postojećeg proizvoda strojnih elemenata trokrilnih zupčastih pumpi pomoću „upravljača“ za sinkrono oblikovanje – *Steering Wheel*, za različita postrojenja i procesne sustave.

## 9. Literatura

- [1] [http://www.tapflo.rs/images/brochures/lobe\\_pumps\\_web\\_serbia.pdf](http://www.tapflo.rs/images/brochures/lobe_pumps_web_serbia.pdf) (11.10.2018.)
- [2] <http://alfons-haar.com.au/case-studies/defence-fuelling> (11.10.2018.)
- [3] <https://solidedge.siemens.com/en/solutions/products/3d-design/synchronous-technology/> (07.05.2021.)





## ***Optimal design of industrial pipeline bridge***

**F. Orbán<sup>1,\*</sup>, Gy. Vasvári<sup>1</sup>, T. Zsebe<sup>1</sup>, F. Dako<sup>2</sup>, I. Samardžić<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Mechanical Engineering Department, University of Pécs, Hungary

<sup>2</sup>University of Slavonski Brod, Croatia

\* Corresponding Author: Ferenc Orbán. E-mail: [orban.ferenc@mik.pte.hu](mailto:orban.ferenc@mik.pte.hu)

### **Abstract**

Pipelines over roads and railway lines are usually placed in pipeline bridges (Fig. 1). In this study two different structures, a truss and a welded I-section are designed. The function of the structures is identical: each supports a pipeline. The truss structure is made up of hot formed hollow sections (SHS). The I-section is made up of plates because it is more economical than choosing standard I-sections. To compare the two alternatives, optimal design is needed. For the optimal calculation the TDO software platform is used. According to literature, if the span of bridge is smaller than 20 metres, a beam structure is economical, above 20 metres a truss structure is better. The constraints are maximum stress and displacement, but it is important to take buckling into account as well. The results will be checked using FEM.

**Keywords:** overhead pipeline, truss bridge, optimum design of I-section, FEM

### **1. Introduction**

Overhead pipeline support structures are very diverse. The construction depends on the span and the service load. If the span is long, cable-supported structures carry the overhead pipeline from one side to the other. Often simply supported beams or two-support trussed bridges are used. In this paper two structures are compared. The beam structure is heavier but the construction cost is cheaper. It is very advantageous to design truss structures with SHS profiles because the nodes are formed without extra connection plates. The bridges support two pipes and the span of the bridges is 20m.

The difference between the two structures is that the internal forces for the I-beam are shearing force and bending moment, the truss structure the the result force in the members are either tensile or compressive. The objective function for both structures is volume.



Figure 1. Welded support steel structure of district heating lines

## 2. Minimum volume design of a welded I-beam

Optimum design was done by taking stress conditions and displacement conditions into consideration.

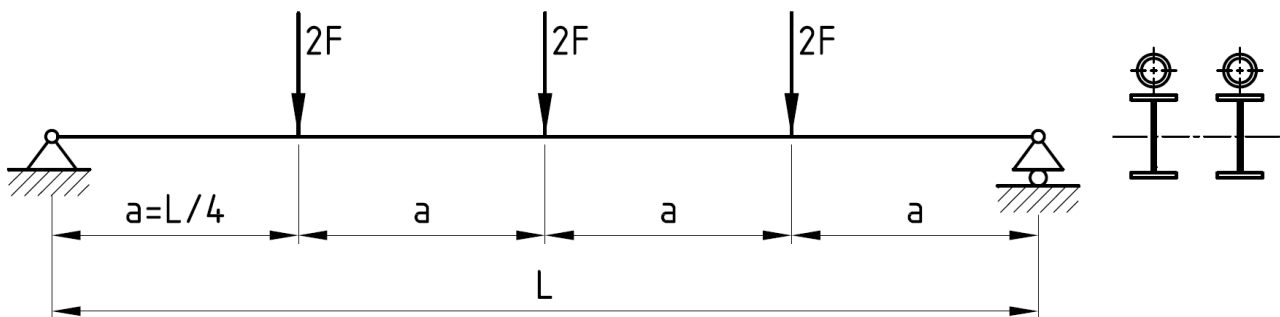


Figure 2. A simply supported welded I-beam

Reaching the optimum design of an I-beam: find the optimum values of the dimensions  $h$ ,  $t_w$ ,  $b$ ,  $t_f$  to minimize the whole area [1].

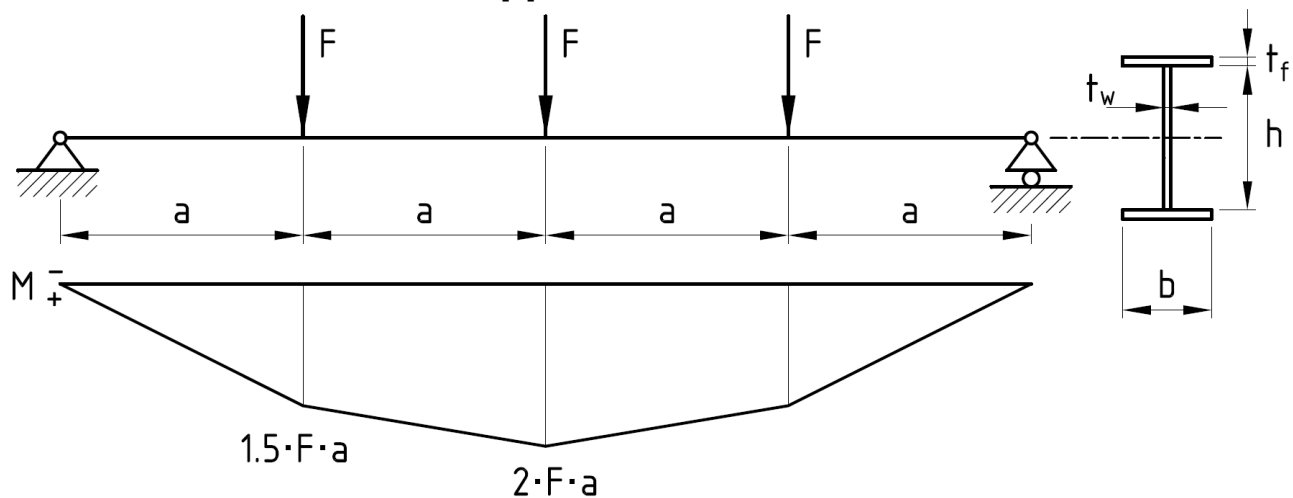


Figure 3. Moment diagram and dimensions of the I-section



$$A = h \cdot t_w + 2 \cdot b \cdot t_f$$

Stress constraint:

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W_y} \leq f_{y1}$$

$$W_y \geq \frac{M}{f_{y1}} = W_0$$

The bending moment is expressed as:

$$M = 2 \cdot F \cdot a = \frac{F \cdot L}{2}$$

$$I_y = \frac{h^3 \cdot t_w}{6} + 2b \cdot t_f \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2; \quad W_y = \frac{h^2 \cdot t_w}{3} + b \cdot t_f \cdot h$$

The deflection condition:

$$w_{max} = \frac{19 \cdot F \cdot a^3}{6 \cdot I_y \cdot E} \leq w_{adm}$$

$$I_0 = \frac{19 \cdot F \cdot a^3}{6 \cdot w_{adm} \cdot E}$$

$$I_y \geq I_0$$

Constraint on local buckling of web:

$$\frac{h}{t_w} \leq 124$$

Constraint on local buckling of compressed upper flange:

$$\frac{b}{t_f} \leq 28$$

The service load is:  $p = 6491 \text{ N/m}$

The estimated dead load is  $1 \text{ kN/m}$ .

The safety factor for deflection is: 1.

The factored load for stress calculation:

$$p = 1.5p + 1.1\rho A$$

Numerical data:

$$F = 5(6.491 + 1) = 37.45 \text{ kN}; L = 20\text{m}; f_y = 235 \text{ MPa}; f_{y1} = 213.6 \text{ MPa}$$

$$w_{adm} = \frac{L}{750} = 26.67 \text{ mm}$$

### 3. Optimum calculation with TDO(Toolkit for Design Optimization)

$$x_1 = h; \quad x_2 = A_f = b \cdot t_f; \quad x_3 = t_w$$

$$f_{(x)} = x_1 \cdot x_3 + 2x_2$$

$$I_y = \frac{x_3 \cdot x_1^3}{12} + \frac{x_1^2 \cdot x_2}{2} \geq I_0$$

$$W_y = \frac{x_1^2 \cdot x_3}{3} + x_2 \cdot x_3 \geq W_0$$

$$I_0 = 264\,680 \text{ cm}^4; W_0 = 1753 \text{ cm}^3$$

The optimum values:

$$x_1 = h = 100.05 \text{ cm}$$

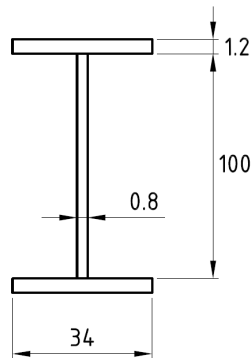
$$x_2 = A_f = 39.47 \text{ cm}^2$$

$$x_3 = t_w = 0.8 \text{ cm}$$

$$f(x) = A = 158.986 \text{ cm}^2$$

The rounded values:

$$h = 100 \text{ cm}; t_w = 0.8 \text{ cm}; b = 34 \text{ cm}; t_f = 1.2 \text{ cm (Fig.4)}$$



**Figure 4.** Dimensions of the I-beam

The control calculation:

$$c_f = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - \sqrt{2}a_w = 98.87; \frac{c_w}{t_w} = 123.6 < 124$$

$$I_y = 275601 \text{ cm}^4; W_y = 5382.8 \text{ cm}^3$$

$$w_{max} = \frac{19 \cdot 37.45 \cdot 10^3 \cdot 5^3}{6 \cdot 275601 \cdot 2.1 \cdot 10^3} = 0.0256 \text{ m}$$

$$M_{Ed} = 555.2 \text{ kNm}; M_{Ed} \leq W_{El,y} \cdot f_y = 1265 \text{ kNm}$$

Volume of I-beam is:  $V = 323.2 \text{ dm}^3$ ;

weight of the beam is:  $G = V \cdot \rho \cdot g = 24889 \text{ N}$

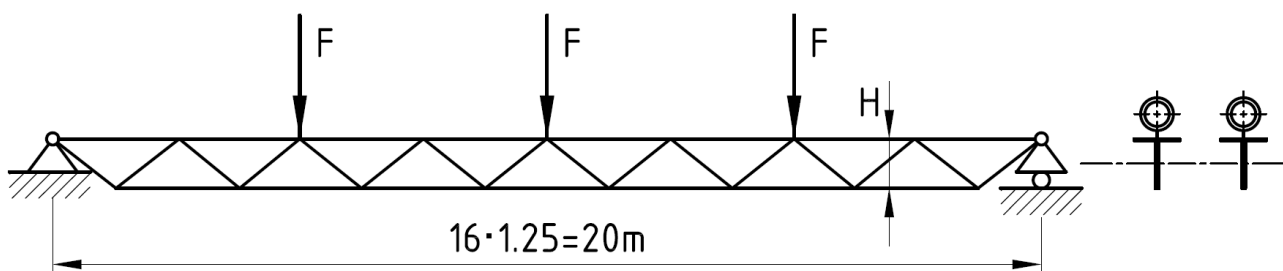
#### 4. Optimum design of tubular truss

The span of a simply supported SHS truss is:  $L = 16 \cdot 1.25 = 20 \text{ m (Fig.5)}$

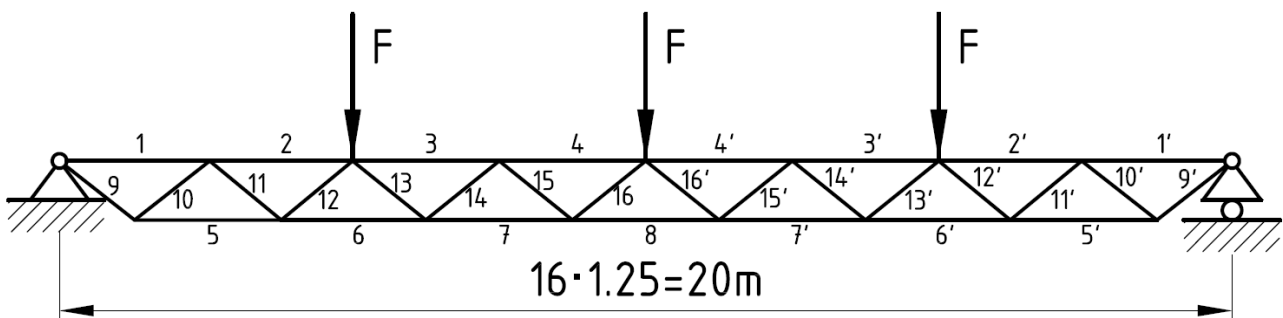
It is advantageous to use ratio  $\frac{H}{a} \approx 1.25$  in calculation

$$H = 1.6 \text{ m}$$

In the case of a truss which is statically determined and loaded at its nodes, the internal forces can be calculated through the analysis of the pin jointed structure.



**Figure 5.** The investigated simply supported SHS truss with parallel chords



**Figure 6.** Members of the truss

The truss structure is made of four member groups, with each having the same cross section (Fig. 6.)

These are as follows:

1. S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>,
2. S<sub>5</sub>, S<sub>6</sub>, S<sub>7</sub>, S<sub>8</sub>,
3. S<sub>9</sub>, S<sub>10</sub>, S<sub>11</sub>, S<sub>12</sub>,
4. S<sub>13</sub>, S<sub>14</sub>, S<sub>15</sub>, S<sub>16</sub>,

Group 1: all chords are compressed. Group 2: the members are in tension.

Groups 3 and 4: the members are compressed or are in tension.

Checking of the profiles for governing members according to Eurocode 3 [2].

Checking for tension:

$$\frac{S}{A} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M_2}}$$

Check for compression:

$$\frac{S}{A} \leq \chi \frac{f_y}{\gamma_{M_0}}$$

The effective lengths of compression members for both in-plane and out of plane buckling is 0.9l.

The top compression chord (A<sub>1</sub>), bottom tension chord (A<sub>2</sub>) and bracing struts (A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub>).

The design constraints are stresses and a middle node displacement.





## 5. Optimal calculation with TDO

The objective function:

$$V = 2000 \cdot A_1 + 1750 \cdot A_2 + 1624 \cdot A_3 + 1624 \cdot A_4$$

The stress constraints:

$$A_1 \geq 20 \text{ cm}^2; A_2 \geq 15 \text{ cm}^2; A_3 \geq 8 \text{ cm}^2; A_4 \geq 4.2 \text{ cm}^2;$$

The displacement constraints:

$$w_{max} = \sum_i \frac{S_i \cdot s_i \cdot l_i}{A_i \cdot E} \leq w_{adm}$$

$$\frac{253.8}{A_1} + \frac{264.3}{A_2} + \frac{32.5}{A_3} + \frac{10.84}{A_4} \leq 26.6$$

The optimum results:

$$A_1 = 24.08 \text{ cm}^2; A_2 = 26.27 \text{ cm}^2; A_3 = 9.56 \text{ cm}^2; A_4 = 4.2 \text{ cm}^2$$

$$f(A) = V = 116497 \text{ cm}^3$$

The chosen sections:

1. 140x140x5,  $A_1 = 26.4 \text{ cm}^2$ ;
2. 140x140x5  $A_2 = 26.4 \text{ cm}^2$
3. 70x70x4,  $A_3 = 10.1 \text{ cm}^2$ ;
4. 40x40x3  $A_4 = 4.2 \text{ cm}^2$

The volume of truss structure:  $V = 122.24 \text{ dm}^3$  and the weight is 9413 N

Checking the top compression chord.

$$F = 5(1.5 \cdot 6491 + 1.1 \cdot 470.6) = 51.27 \text{ kN}$$

$$S_4 = -300.4 \text{ kN} < 0.9 \cdot 2640 \cdot 235 = 558.4 \text{ kN}$$

Check of bottom tension chord:

$$S_8 = 320.4 \text{ kN} < 2640 \cdot 213.6 = 564 \text{ kN}$$

The deflection with standard section is:

$$w_{max} = 25.4 < 26.67$$

The deflection of connection Figure 7.

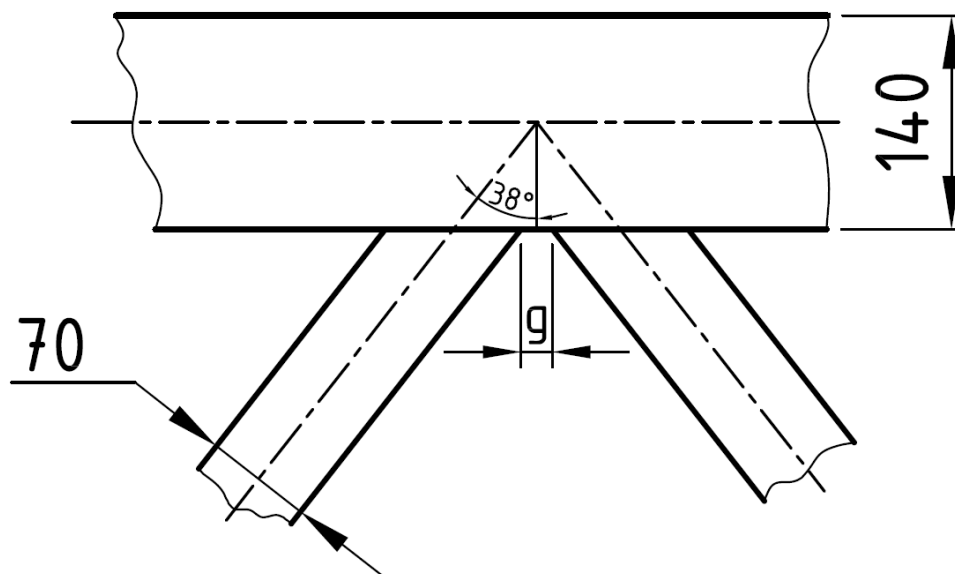


Figure 7. Layout of connections.

## 6. FEM Analysis

A finite element model was developed for tubular truss. It was a control calculation for the rounded optimum values. The software was Cosmos Geostar 2.8, and the element name was BEAM2D for the chords and struts. The maximum stress in the upper chord is -138.6 MPa (Fig. 8.). The maximum stress bigger than earlier calculated value  $\frac{S_3}{A_1} = 113,8 \text{ MPa}$ , but the compression chord fulfils the overall buckling condition. The maximum displacement is 25.27 mm. The maximum displacement less than calculated value which was 25,4 mm.

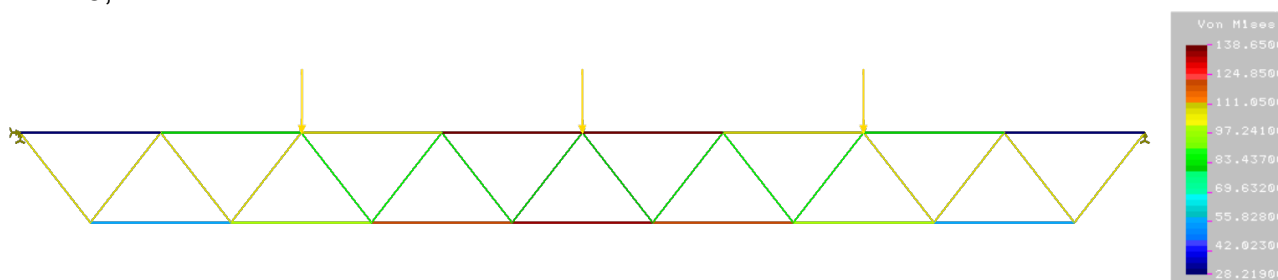


Figure 8. FEM analysis of truss

## 7. Conclusion

Minimum volume design of a welded I-beam and a tubular truss structure was worked out for a numerical model structure. The truss structure is lighter, but the construction is more difficult than making an I-beam. If the span of bridge is 20m, the truss structure is more economical. Using SHS profiles makes it possible to construct the joints without connection plates (Fig. 7.).

## 8. References

- [1] Farkas J., Jármai K.: Optimum design of Steel Structures. Springer
- [2] Eurocode 3. Design of steel structures. Part 1-1 General structural rules 2002
- [3] Snyman, J.: Practical mathematical optimization. An introduction to basic optimization theory and classical and new gradient based algorithms. Springer Verlag, Heidelberg 2005

## Toplinski aktivirani procesi - oblikovanje metala deformiranjem

### *Thermally activated processes - metal forming*

**B. Grizelj<sup>1,\*</sup>, S. Resković<sup>2</sup>, I. Samardžić<sup>1</sup>, D. Marić<sup>1</sup>, M. Duspara<sup>1</sup>, L. Špoljarić<sup>1</sup>, K. Vuletić<sup>1</sup>, I. Putnik<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Strojarski fakultet u Slavanskom Brodu, Sveučilište Slavanskom Brodu, Slavonski Brod, Hrvatska  
<sup>2</sup>Metaluški fakultet u Sisku, Sveučilište u Zagrebu, Sisak, Hrvatska

\*Autor za korespondenciju. E-mail: bgrizelj@unisb.hr

#### **Sažetak**

Metal mijenja kod povišene temperature svoja plastična svojstva. Karakteristike napreznja opadaju (tečenje materijala, 0,2-granicu, vlačnu čvrstoću), metal postaje „mekši“.

Osim je toga postignuta deformacija u osnovi veća kod većih temperatura, metal je duktilniji. Ova promjena svojstva s povećavanjem temperature koristi se u velikoj mjeri kod oblikovanja metala deformiranjem.

Kod svih postupaka poželjno je, da bude što manja potrebna sila i rad deformacije. Daljnji zahtjev često je, da materijal dopušta veću deformaciju, bez da materijal izgubi koheziju. To se može postići kod gotovo svih metala oblikovanjem kod odgovarajuće više temperature. Nedostatak su toplog oblikovanja povećane brzine oksidacije i topljivost plina mnogih metala na višim temperaturama, kao i manja točnost izrađenih dijelova.

Oksidacija površine smanjuje kvalitetu površine i može uzrokovati greške na površini. Potrošnja plina može uzrokovati krtost materijala. Za to se isključuje toplo oblikovanje mnogih dijelova. Temperaturno područje, koje nastupa kod toplinskih aktiviranog područja u znatnoj mjeri dovodi do gore navedene promjene mehaničkih svojstava i različit je od metla do metala. To uglavnom ovisi o temperaturi taljenja  $T_s$  [K]. Jedna točna granica ne postoji, jer osim temperature, značajan je čimbenik vrijeme i deformacija.

**Ključne riječi:** temperatura, svojstva, deformiranje

#### **Abstract**

When the temperature is increased, the strength values (yield stress, proof stress, tensile strength) fall and the metal becomes "softer".

Besides, the possible degree of deformation at higher temperatures is, as a rule, greater and the metal becomes more ductile. This change of properties at rising temperatures is widely used for metal forming.

It is desirable in all forming processes to keep the required force and work as small as possible. A further requirement is that the material permit large deformations without loss in its cohesion. This is possible for nearly all metals by choosing a sufficiently high temperature. The disadvantages of hot forming are a higher rate of oxidation, increased gaseous solubility of many metals, and a lower precision of the produced workpieces.

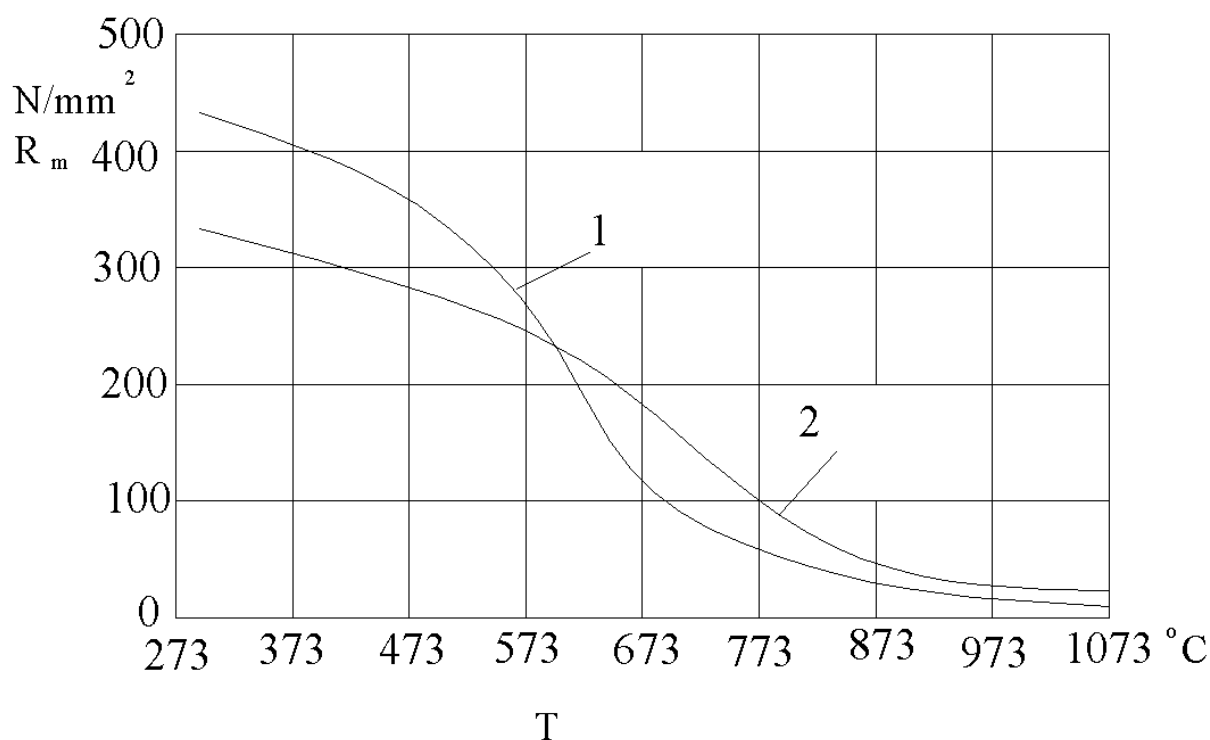


Oxidation of the upper surface lowers the surface quality and may cause surface defects. G absorption can lead to embrittlement of the material. To avoid this, heating and forming should take place in a protective environment. Another method is forming in the so-called warm forming range at intermediate temperatures, which results in a lower rate of oxidation. The temperature range in which thermally activated processes, which lead to changes of the mechanic properties cited, occur to a significant degree, depends on the material, and in particular on melting temperature. A precise limit cannot be given, since apart from temperature, the time and the degree of deformation appear as effective factors.

**Key words:** temperature, properties, deformation

## 1. Introduction

When the temperature is increased, the strength values (yield stress, proof stress, tensile strength) fall and the metal becomes "softer" Fig. 1



**Figure 1.** Tensile strength of brass 1- CuZn42, 2-CuZn37 short-time test [1-12]

Besides, the possible degree of deformation at higher temperatures is, as a rule, greater and the metal becomes more ductile. This change of properties at rising temperatures is widely used for metal forming.

It is desirable in all forming processes to keep the required force and work as small as possible. A further requirement is that the material permit large deformations without loss in its cohesion. This is possible for nearly all metals by choosing a sufficiently high temperature. The disadvantages of hot forming are a higher rate of oxidation, increased gaseous solubility of many metals, and a lower precision of the produced workpieces.

Oxidation of the upper surface lowers the surface quality and may cause surface defects. G absorption can lead to embrittlement of the material. To avoid this, heating

and forming should take place in a protective environment. Another method is forming in the so-called warm forming range at intermediate temperatures, which results in a lower rate of oxidation. The temperature range in which thermally activated processes, which lead to changes of the mechanic properties cited, occur to a significant degree, depends on the material, and in particular on melting temperature. A precise limit cannot be given, since apart from temperature, the time and the degree of deformation appear as effective factors.

DIN defines the practical procedure of hot forming as forming after addition of hot and cold forming as forming without addition of heat.

Since room temperature is selected as the limiting temperature, the definitions of the terms hot forming and cold forming lose their relationship to metallurgical processes.

An increase in temperature means an increment of energy. At higher temperatures the atom jumps, and movements of the lattice defects are thermally activated, resulting in higher mobility. Therefore small yield stresses suffice to cause deformations. Along with the fact that metals become softer by heating, another decisive factor is that by heating there occurs little or no strain hardening during the forming process. This is due to processes which act against an increase the dislocation density during forming, that is, it is mainly due to recovery and recrystallization. The effects of recovery and recrystallization on the mechanical properties are similar in many respects [1-10].

According to a more recent definition, all processes belonging to recrystallization are connected to the emergence and shifting of large-angle grain boundaries [20]. This is how to distinguish between recrystallization and recovery processes.

Besides in hot forming, where the recovery and recrystallization processes take place simultaneously with deformation, these processes are also used during heat treatment after deformation or between several steps of deformation in order to lower strain hardening and to permit more steps of deformation.

Since thermally activated processes take place at finite rates, the yield stress becomes strongly dependent on the strain rate.

## 2. Recovery

The plastic behavior of metals is determined by the arrangement and movement of dislocation. Therefore, any changes in properties by heating must be explained by changes of the structure of dislocations or of the dislocation density. The dislocation density rises during deformation at lower temperature. That is why strain hardening takes place. This strain hardening can be reduced by changing either the dislocation density or the arrangement of the dislocations.

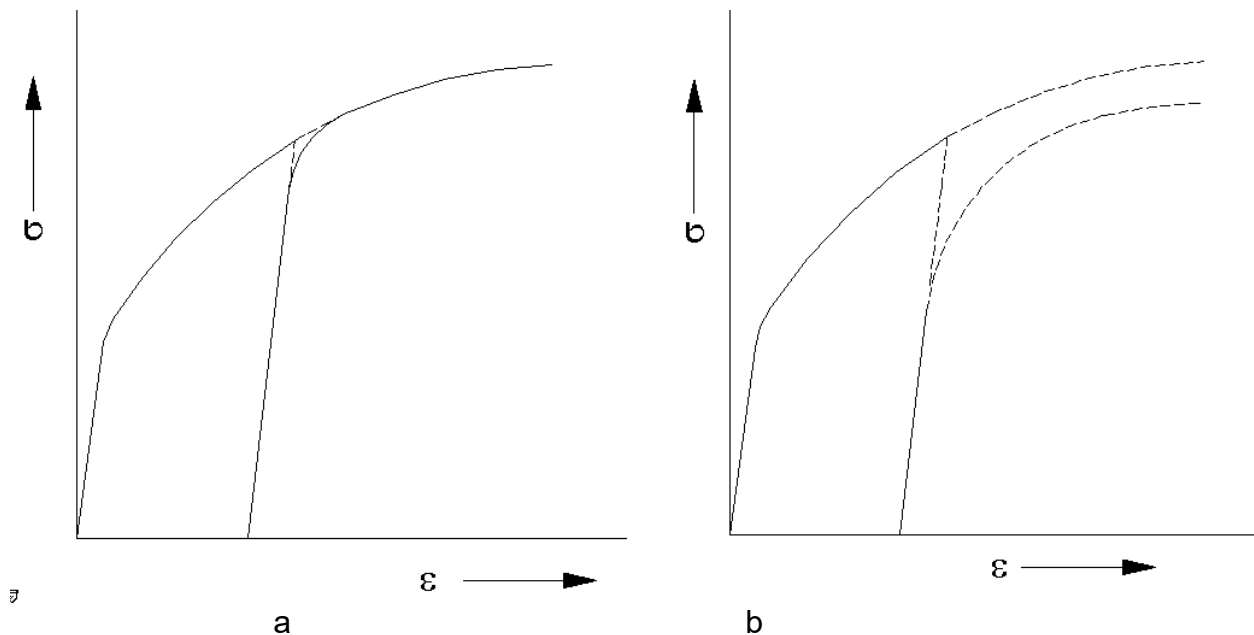
During lowering of the dislocation density by recovery, dislocations of opposite signs annihilate each other. The remaining dislocations rearrange themselves very often and form subgrain boundaries. The climbing of step dislocations during the rearrangement of dislocations is viewed as significant procedure [1-10].

Vacancies are necessary, for the climbing of step dislocations. During a forming process they appear in higher concentrations since they are produced continuously through dislocation reactions. As a result, during hot forming, recovery processes can take place much faster than during subsequent annealing.

For a long time great importance was accorded to recrystallization during hot forming. However, Stüwe [1-12] showed that the rate of recrystallization is often too small compared to the rate of deformation in order to form new grains during forming. Thus in many cases the metal does not recrystallize during forming, but rather afterward.



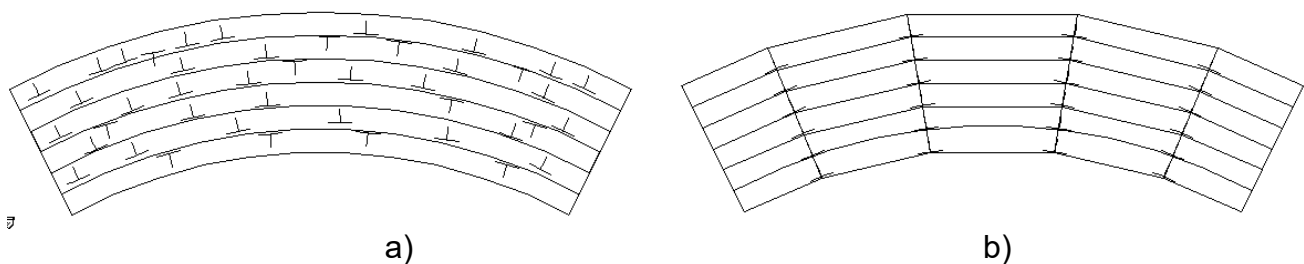
Recovery processes depend strongly on temperature. This can be seen during step tensile tests (Fig 2.).



**Figure 2.** Effect of recovery annealing of stress-strain diagram [1-12]

Initially the yield point is merely lowered, whereas the yield stress remains nearly constant at higher strain (meta recovery, Fig. 2a). The yield stress is reduced at temperatures  $T > 0,5T_s$  (orthorecovery, Fig. 2b). The arrangement and reactions of dislocations during recovery cause changes in structure which can be seen in an electron microscope.

Recovery causes an energetically preferable arrangement of dislocations compared to the "dislocation forest" after deformation. Here dislocations with opposite signs annihilate each other. The remaining dislocations with equal signs arrange themselves to form small-angle grain boundaries (subgrain boundaries) This process of polygonization can be illustrated nicely by bent crystals (Fig.3).



**Figure 3.** Scheme of polygonization in a bent crystal a-Arrangement of dislocations in bent crystal-, b- Arrangement of dislocations after polygonization

During recovery in deformed metals, subgrains with lower dislocation density emerge, which are separated by small-angle grain boundaries of higher dislocation density.



### 3. Recrystallization and Grain Growth

Recrystallization takes place at higher temperatures than recovery. It consists of processes which lead to the emergence and shifting of large-angle grain boundaries. In the beginning a new formation of grains takes place in the deformed structure. This process is called primary recrystallization. In primary recrystallized metals further recrystallization processes may take place secondary recrystallization and grain growth.

#### 3.1 Primary Recrystallization

During primary recrystallization there is a dependence of the new formation of grains and grain growth on strain, temperature, and annealing time. The following relationships can be summed up qualitatively [1-10]:

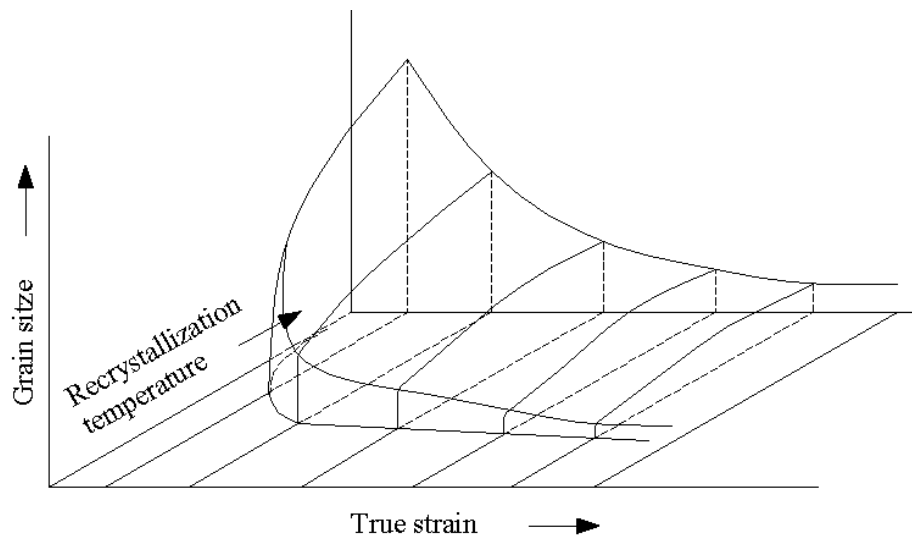
1. Recrystallization occurs only if a certain minimum dislocation density is available. To attain that, a certain degree of deformation must be exceeded.
2. The higher the previous deformation, the smaller is the temperature at which recrystallization occurs.
3. Through an increase of annealing time, recrystallization can be achieved at lower temperatures.
4. After recrystallization the grain size will be larger, the smaller the deformation (more than the minimum value mentioned under point 1) and the higher the annealing temperature has been.

In pure metals even small impurities can increase the temperature of recrystallization considerably.

From the preceding it is evident that the temperature at which recrystallization takes place does not only depend on the metal alone, but on a whole number of variables. Besides, no unified definition is used for the temperature of recrystallization. According to Reed-Hill [20] the recrystallization temperature is the temperature at which a metal by means of a certain cold-forming method within a limited time interval (normally 1 h) recrystallizes completely. For technically pure metals at high strain, a rough estimate is given by

$$T_R \geq (0,4 \dots 0,5) T_S \text{ [K]}$$

The relationship between grain size, temperature of recrystallization, and strain is often illustrated in three-dimensional diagrams (Fig. 4).



**Figure 4.** Scheme of recrystallization diagram [1-10]

In cases of small strain the dislocation density as well as the number of growing grains are small. The result is the formation of coarse grains at low strains and high temperatures. The formation of coarse grains is especially-undesirable in sheet-metal forming if, after recrystallization annealing, further forming processes.

Recrystallization can be strongly affected by precipitation processes which can occur earlier or simultaneously. Depending on their sizes and shapes, the precipitations can strongly hinder the formation and the movement of grain boundaries. These relationships are used to achieve the desired size, form, and orientation of grains during recrystallization.

### 3.2 Secondary Recrystallization, Grain Growth

The primary recrystallized structure is not yet in thermodynamic equilibrium. The grain boundaries possess an energy similar to the surface energy of a soap bubble having the same surface stress. At high temperatures and long annealing times, further grain growth processes take-place in the primary recrystallized structure. The driving force is thereby the energy gain due to lowering of the ratio of the grain boundary area to the enclosed volume [1-10].

Two processes are distinguished during grain growth: secondary recrystallization and grain growth

In secondary recrystallization, only individual grains grow preferentially. Hence during, this process, very large grains are present near the primarily recrystallized grains. The structure may finally consist of very large individual grains.

Contrary to secondary recrystallization, there is an increase in the average grain diameters during grain growth. In general, secondary recrystallization and grain growth cause a deterioration of mechanical properties. The decrease in the elongation values is particularly unfavorable addition, due to the large grain sizes, a rough surface with large average grain diameters is obtained during deep drawing, stretch forming, and bending.



## 4. Conclusion

Oxidation of the upper surface lowers the surface quality and may cause surface defects. G absorption can lead to embrittlement of the material. To avoid this, heating and forming should take place in a protective environment. Another method is forming in the so-called warm forming range at intermediate temperatures, which results in a lower rate of oxidation. The temperature range in which thermally activated processes, which lead to changes of the mechanic properties cited, occur to a significant degree, depends on the material, and in particular on melting temperature. A precise limit cannot be given, since apart from temperature, the time and the degree of deformation appear as effective factors.

## 5. References

1. Lange, Kurt: *Lehrebuch der Umformtechnik Band 1-3* Berlin /Heidelberg/New York: Springer-Verlag, 1972-1975.
2. Lange, Kurt: *Handbook of metal forming* McGraw-Hill, 1985.
3. Lange, Kurt: *Lehrebuch der Umformtechnik Band 1-4* Berlin /Heidelberg/New York: Springer-Verlag, 1988-1993.
4. Grizelj, Branko: *Oblikovanje metala deformiranjem* Slavonski Brod Strojarski fakultet, 2002 (sveučilišni udžbenik).
5. Grizelj, Branko: *Strojevi za oblikovanje metala deformiranjem* Slavonski Brod Strojarski fakultet, 2007 (sveučilišni udžbenik).
6. Grizelj, Branko: *Oblikovanje lima deformiranjem* Slavonski Brod Strojarski fakultet, 2009 (sveučilišni udžbenik).
7. Grizelj, Branko: *Volumensko oblikovanje deformiranjem* Slavonski Brod Strojarski fakultet, 2012 (sveučilišni udžbenik).
8. Grizelj, Branko: *Prilog istraživanju elastičnog vraćanja čeličnih dvostruk zakrivljenih ploča nakon izrade hladnom plastičnom deformacijom*, Magistarski rad, Zagreb, 1982.
9. Grizelj, Branko: *Doprinos analizi aksijalno simetričnog savijanja lima*, disertacija, FSB, Zagreb, 1994.
10. Grizelj, Branko: *Oblikovanje metala deformiranjem*, *Umformtechnik, Metal forming* Slavonski Brod Strojarski fakultet, 2018 (sveučilišni udžbenik).
11. Grizelj, Branko: *Alati i naprave* Slavonski Brod Strojarski fakultet, 2002 (sveučilišni udžbenik).
12. Grizelj, Branko; Seuček, Ivan: *Rezni alati noževi glodala* Slavonski Brod Strojarski fakultet, 2007 (sveučilišni udžbenik).



# **Analiza deformacija i naprezanja dvostruko statički neodređenog momentnog okvirnog nosača**

## ***Deformation and stress analysis of a twice statically indeterminate moment-stable frame***

**M.Vilić<sup>1,\*</sup>, J.Marijić<sup>1</sup>, I.Grgić<sup>1</sup>, M.Karakašić<sup>1</sup>, Ž.Ivandić<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Sveučilište u Slavonskom Brodu, Strojarski fakultet, Hrvatska

\*Autor za korespondenciju. E-mail: [mvilic@unisb.hr](mailto:mvilic@unisb.hr)

### **Sažetak**

Energijska metoda, naziva drugi Castiglianov teorem, predstavlja neobičan, pouzdan i često iznenađujuće jednostavan pristup analiziranju pomaka i rotacija na konstrukciji. Metoda se pokazala iznimno korisnom kod analize reakcija u osloncima konstrukcija koje su jednostruko statički neodređene. Cilj rada je pokazati da se primjenom drugog Castiglianovog teorema, izraza za deformaciju aksijalno opterećenog štapu te metode iteracije mogu analizirati momentni okvirni nosači s jednim dodanim aksijalno opterećenim štapom. Nosač zadan na ovakav način dvostruko je statički neodređen. Analiza prikazana u radu sadrži pomake i rotacije karakterističnih točaka nosača, reakcije u osloncima te von Misesovo ekvivalentno naprezanje u gredama. Identična analiza napravljena je i metodom konačnih elemenata te su na kraju uspoređeni rezultati dviju metoda.

**Ključne riječi:** Energijska metoda, drugi Castiglianov teorem, metoda iteracije, okvirni nosač

### **Abstract**

The energy method, referred to as Castigliano's second theorem, provides an unusual, reliable, and often surprisingly simple approach to the analysis of displacements and rotations in constructions. This method has also proved very useful in the analysis of constructions that are once statically indeterminate. The objective of this paper is to show that by applying Castigliano's second theorem, the expression for the deformation of the axially loaded member and the iteration method, the moment-stable frame can be analyzed with an additional axially loaded member. The moment-stable frame given in this way will be statically indeterminate twice. The analysis includes the displacements and rotations of the characteristic points of the moment-stable frame, the reactions in the columns, and the von Mises equivalent stress in the members. An identical analysis is performed using the finite element method and finally the results of the two methods are compared.

**Key words:** Energy method, Castigliano's second theorem, iteration method, moment-stable frame



## 1. Uvod

Metoda korištena za dobivanje analitičkog rješenja ovog problema bit će drugi Castiglianov teorem. Ovaj teorem spada u energijske metode i temelji se na potencijalnoj energiji deformiranja. Vanjski rad, koji deformira elastično tijelo, pretvara se u potencijalnu energiju deformiranja. Ukoliko postoji pomak nosača  $y$  i ako je odnos sile i pomaka linearan, tada je potencijalna energija deformiranja jednaka umnošku prosječne sile i pomaka [1]:

$$U = \frac{F}{2}y = \frac{F^2}{2k} \quad (1)$$

Gdje je  $U$  - potencijalna energija deformiranja,  $F$  - sila,  $y$  - pomak,  $k$  - konstanta opruge. Ova jednadžba je općenita u smislu da  $F$  može, ukoliko se primijene odgovarajuće jedinice za  $k$ , značiti torzijski moment ili moment savijanja. Kada se primijene odgovarajući izrazi za  $k$  mogu se dobiti brojne jednadžbe potencijalne energije deformiranja za jednostavne slučajeve opterećenja. Tako naprimjer, se mogu dobiti izrazi za potencijalnu energiju deformiranja uslijed sile tlaka ili vlaka [1]:

$$U = \frac{F^2 l}{2AE} \quad (2)$$

$$U = \int \frac{F^2}{2AE} dx \quad (3)$$

Gdje je  $l$  - duljina nosača,  $A$  - površina poprečnog presjeka nosača,  $E$  - Youngov modul elastičnosti. Prva jednadžba može se primijeniti kada je energija deformiranja konstanta cijelom duljinom nosača, a druga, općenitija, kada energija deformiranja varira po duljini nosača. Izrazi za potencijalnu energiju deformiranja uslijed torzijskog momenta [1]:

$$U = \frac{T^2 l}{2GJ} \quad (4)$$

$$U = \int \frac{T^2}{2GJ} dx \quad (5)$$

Gdje je  $T$  - torzijski moment,  $G$  - modul smicanja,  $J$  - polarni moment tromosti. Izrazi za potencijalnu energiju deformiranja uslijed momenta savijanja [1]:

$$U = \frac{M^2 l}{2EI} \quad (6)$$

$$U = \int \frac{M^2}{2EI} dx \quad (7)$$

Gdje je  $M$  - moment savijanja,  $I$  - aksijalni moment tromosti.

Drugi Castiglianov teorem glasi: parcijalna derivacija ukupne potencijalne energije deformiranja po bilo kojoj sili daje pomak na mjestu i na pravcu te sile. Odnosno, parcijalna derivacija ukupne potencijalne energije deformiranja po bilo kojem momentu daje rotacija na mjestu i smjeru tog momenta [2].

Matematički izrazi za drugi Castiglianov teorem glase [2]:

$$\delta_i = \frac{\partial U}{\partial F_i} \quad (8)$$

$$\alpha_i = \frac{\partial U}{\partial M_i} \quad (9)$$

Gdje je  $\delta_i$  pomak uslijed djelovanja sile  $F_i$  te u smjeru djelovanja  $F_i$ , a  $\alpha_i$  rotacijski pomak u radijanima uslijed djelovanja momenta  $M_i$  te u smjeru djelovanja  $M_i$ .

U slučaju kada je potrebna integracija, kako bi se dobila potencijalna energija deformiranja, efikasnije je direktno izračunati pomake i rotacije bez prethodnog računanja potencijalne energije deformiranja. Navedeno je prikazano na primjeru potencijalne energije deformiranja od savijanja [1].

$$\delta_i = \frac{\partial U}{\partial F_i} = \frac{\partial}{\partial F_i} \left( \int \frac{M^2}{2EI} dx \right) = \int \frac{\partial}{\partial F_i} \left( \frac{M^2}{2EI} \right) dx = \int \frac{2M \frac{\partial M}{\partial F_i}}{2EI} dx = \int \frac{1}{EI} \left( M \frac{\partial M}{\partial F_i} \right) dx \quad (10)$$

Ovo omogućava da se izraz derivira prije integriranja što pojednostavljuje matematički zapis. Ovakva metoda osobito je korisna ako se radi o fiktivnoj sili  $Q$ , jer se u tom slučaju vrijednost te sile, nakon što se izraz derivira, može postaviti kao nula. Temeljem gornje formule mogu se napisati izrazi za vlak-tlak, torziju i savijanje [1].

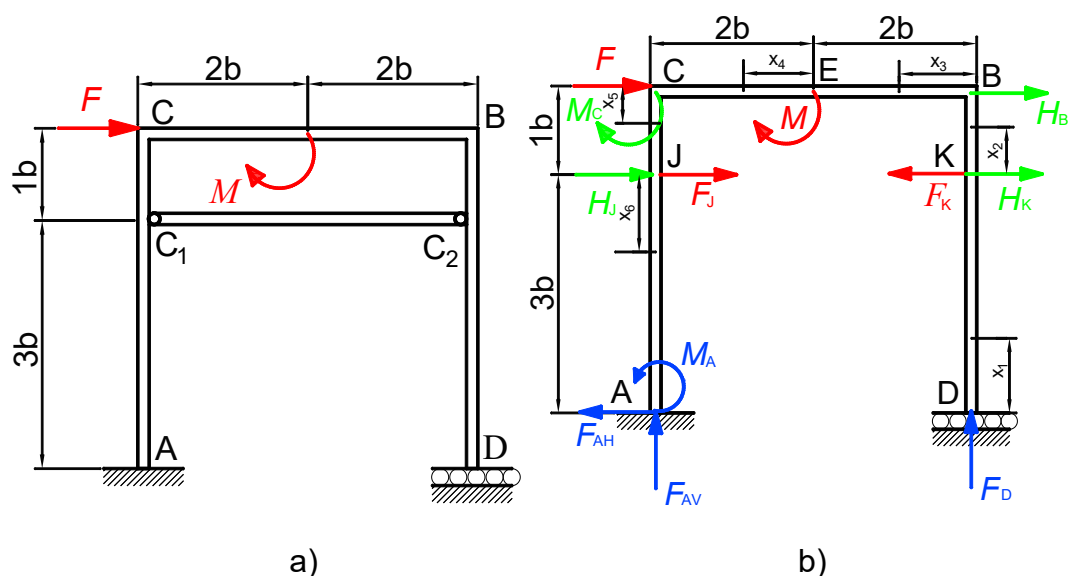
$$\delta_i = \frac{\partial U}{\partial F_i} = \int \frac{1}{AE} \left( F \frac{\partial F}{\partial F_i} \right) dx \quad \text{vlak i tlak} \quad (11)$$

$$\alpha_i = \frac{\partial U}{\partial M_i} = \int \frac{1}{GJ} \left( T \frac{\partial T}{\partial M_i} \right) dx \quad \text{torzija} \quad (12)$$

$$\delta_i = \frac{\partial U}{\partial F_i} = \int \frac{1}{EI} \left( M \frac{\partial M}{\partial F_i} \right) dx \quad \text{savijanje} \quad (13)$$

## 2. Analitičko rješenje dvostruko statički neodređenog nosača

Za okvirni nosač prikazan na slici 1, primjenom drugog Castiglianovog teorema potrebno je odrediti reakcije veza u osloncima, pomak točke B i rotacija točke C. Također, potrebno je dimenzionirati okvirni nosač (I-profil) [3].



**Slika 1.** a) okvirni nosač s ukutom C<sub>1</sub>-C<sub>2</sub>, b) okvirni nosač oslobođen veza [3]

Zadane su sljedeće ulazne veličine:  $F=100$  kN,  $M=100$  kNm,  $b=1000$  mm,  $E=205$  GPa,  $\nu = 0,3$ ,  $\sigma_{dop} = \frac{355}{1,5} = 236,6$  MPa, materijal nosača je S355JR+M (DIN EN 10025-2), faktor sigurnosti 1,5 prema AISC ASD metodi. Ukruta C<sub>1</sub>-C<sub>2</sub> je zglobno vezana za okvirni nosač u točkama J i K. Budući da se u zglobnoj vezi ne prenosi moment savijanja, ukruta je osno opterećeni štap. Kada se tijelo oslobodi veza, na mjestu ukrute djeluju dvije sile koje su jednake po iznosu, ali su suprotno usmjerene ( $F_J = F_K$ ). Prema izrazu za utvrđivanje stupnja statičke neodređenosti, budući da je prikazani slučaj dva puta statički neodređen, slijedi [3]:

$$n = k - s = 5 - 3 = 2,$$

Potrebno je postaviti pet jednadžbi budući da postoji pet nepoznatih reakcija. Vrijednosti reakcija  $F_{AH}$ ,  $F_{AV}$ ,  $M_A$ ,  $F_D$  ne ovise o obliku i iznosu poprečnog presjeka nosača. One ovise o iznosu vanjskog opterećenja, te o unutrašnjoj sili ukrute. Unutrašnja sila će utjecati na produljenje ukrute. Poznavajući izraz za produljenje štapa, produljenje ovisi o dimenzijama i karakteristikama materijala [4]:

$$\Delta l = \frac{N \cdot l}{A \cdot E} \tag{14}$$

Gdje je:  $N$ - unutrašnja sila,  $l$ - duljina štapa,  $A$ - poprečni presjek štapa i  $E$ - Youngov modul elastičnosti. Zadatak je potrebno riješiti metodom iteracije. Unutrašnju silu ukrute potrebno je tretirati kao da je poznata. Produljenje ukrute  $\Delta l_{b1}$  potrebno je odrediti izračunavanjem



pomaka točke J i K okvirnog nosača. Na početku je ukruta duljine  $l_B$ , a nakon deformacije će biti duljine  $l_B + \Delta l_{b1}$ . Također će produljenje  $\Delta l_{b2}$  biti određeno prema izrazu [3]:

$$\Delta l_{b2} = \frac{F_K \cdot l_B}{E \cdot A} \quad (15)$$

Varirati će se unutrašnja sila  $F_K$  sve dok se ne ispuni uvjet  $\Delta l_{b1} \cong \Delta l_{b2}$ . Kada je ostvaren taj uvjet, određena je uzdužna sila ukrute. Samim time su određene i reakcije veza, te se može izračunati pomak u točki B i rotacija u točki C [3].

Jednadžbe statičke ravnoteže nosača [3]:

$$\sum F_H = 0; \quad F - F_{AH} = 0; \quad F_{AH} = F = 100 \quad (16)$$

$$\sum F_V = 0; \quad F_{AV} = F_D \quad (17)$$

$$\sum M_A = 0; \quad M_A - F \cdot 4b - M + F_D \cdot 4b = 0$$

$$M_A = M + F \cdot 4b - F_D \cdot 4b \quad (18)$$

Momenti savijanja uzduž nosača prema zadatku [3]:

$$M_b(x_1) = 0 \quad (19)$$

$$M_b(x_2) = H_K \cdot x_2 - F_K \cdot x_2 \quad (20)$$

$$M_b(x_3) = H_K \cdot b - F_K \cdot b + F_D \cdot x_3 \quad (21)$$

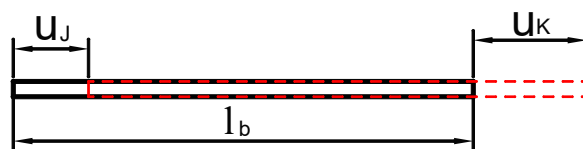
$$M_b(x_4) = H_K \cdot b - F_K \cdot b - M + F_D \cdot (2b + x_4) \quad (22)$$

$$M_b(x_5) = F_D \cdot 4b - H_K \cdot (b - x_5) - F_K \cdot (b - x_5) - H_B \cdot x_5 - M - M_C - F \cdot x_5 \quad (23)$$

$$M_b(x_6) = F_D \cdot 4b - H_K \cdot x_6 - H_B \cdot (b + x_6) - M - M_C - F \cdot (b + x_6) - H_J \cdot x_6 \quad (24)$$

Iz slike 2 može se odrediti produljenje  $\Delta l_{b1}$  koje je jednako  $u_K - u_J$ , dok je produljenje

$$\Delta l_{b2} = \frac{F_K \cdot l_B}{E \cdot A}, \quad l_B = 4b \quad [3]:$$



**Slika 2.** Plan pomaka deformacije [3]

U tablici 1 navest ćemo sve derivacije momenata savijanja kako bi nam kasnije bilo lakše računati pomake i rotacije prema drugom Castiglianovom teoremu.



**Tablica 1.** Derivacija momenata savijanja po momentu  $M_C$  i po silama  $F_D$ ,  $H_B$ ,  $H_J$ ,  $H_K$  [3]

	$\frac{\partial M_b(x_i)}{\partial F_D}$	$\frac{\partial M_b(x_i)}{\partial H_K}$	$\frac{\partial M_b(x_i)}{\partial H_B}$	$\frac{\partial M_b(x_i)}{\partial M_C}$	$\frac{\partial M_b(x_i)}{\partial H_J}$
$M_b(x_2)$	0	$x_2$	0	0	0
$M_b(x_3)$	$x_3$	b	0	0	0
$M_b(x_4)$	$2b + x_4$	b	0	0	0
$M_b(x_5)$	$4b$	$-b + x_5$	$-x_5$	-1	0
$M_b(x_6)$	$4b$	$-x_6$	$-b - x_6$	-1	$-x_6$

Određivanje pomaka  $u_K$ ,  $u_J$  i sile  $F_D$  [3]:

$$u_K = \frac{\partial U}{\partial H_K} = \frac{1}{EI} \left[ \int_0^b \left( M_b(x_2) \cdot \frac{\partial M_b(x_2)}{\partial H_K} \right) dx_2 + \int_0^{2b} \left( M_b(x_3) \cdot \frac{\partial M_b(x_3)}{\partial H_K} \right) dx_3 + \int_0^{2b} \left( M_b(x_4) \cdot \frac{\partial M_b(x_4)}{\partial H_K} \right) dx_4 \right] +$$

$$\frac{1}{EI} \left[ \int_0^b \left( M_b(x_5) \cdot \frac{\partial M_b(x_5)}{\partial H_K} \right) dx_5 + \int_0^{3b} \left( M_b(x_6) \cdot \frac{\partial M_b(x_6)}{\partial H_K} \right) dx_6 \right] + \frac{1}{AE} \int_0^{2b} -F_K dx_3 + \frac{1}{AE} \int_0^{2b} -F_K dx_4$$

$$u_K = \frac{b \cdot (12F_K I - 6MAb + 24F_D Ab^2 + 14F_K Ab^2 - 40FAB^2)}{3AEI} \quad (25)$$

$$u_J = \frac{\partial U}{\partial H_J} = \frac{1}{EI} \int_0^{3b} \left( M_b(x_6) \cdot \frac{\partial M_b(x_6)}{\partial H_J} \right) dx_6 = \frac{9b^2 \cdot (M - 4F_D b + 3Fb)}{2EI} \quad (26)$$

$$u_D = \frac{\partial U}{\partial F_D} = \frac{1}{EI} \left[ \int_0^{2b} \left( M_b(x_3) \cdot \frac{\partial M_b(x_3)}{\partial F_D} \right) dx_3 + \int_0^{2b} \left( M_b(x_4) \cdot \frac{\partial M_b(x_4)}{\partial F_D} \right) dx_4 + \int_0^b \left( M_b(x_5) \cdot \frac{\partial M_b(x_5)}{\partial F_D} \right) dx_5 \right] +$$

$$\frac{1}{EI} \int_0^{3b} \left( M_b(x_6) \cdot \frac{\partial M_b(x_6)}{\partial F_D} \right) dx_6 + \frac{F_D \cdot (2 \cdot 3b + 2 \cdot b)}{AE} = 0 \rightarrow F_D = \frac{33MAb + 15F_K Ab^2 + 48FAB^2}{128Ab^2 + 12I} \quad (27)$$

Izvršeno je variranje sile  $F_K$  dok nije ispunjen uvjet  $\Delta l_{b1} \square \Delta l_{b2}$ . Za unutrašnju silu  $F_K=99240$  N dobivene vrijednosti produljenja su  $\Delta l_{b1} \square \Delta l_{b2} \square 0,266$  mm, te je uvjet ispunjen. Sada kada je unutrašnja sila poznata moguće je izračunati i ostale nepoznate vrijednosti  $F_D$ ,  $M_A$ ,  $u_B$ ,  $\alpha_C$ . Za vrijednosti  $A$  i  $I$  korištene su vrijednosti profila IPE 360 te je tako dobivena vrijednost površine poprečnog presjeka nosača  $A=7273$  mm<sup>2</sup> i aksijalni moment tromosti  $I=162660000$  mm<sup>4</sup> [3].

$$F_D = \frac{33MAb + 15F_K Ab^2 + 48FAB^2}{128Ab^2 + 12I} = 74750 \text{ N}; M_A = M + F \cdot 4b - F_D \cdot 4b = 200983200 \text{ N}$$





$$u_B = \frac{\partial U}{\partial H_B} = \frac{1}{EI} \left[ \int_0^b \left( M_b(x_5) \cdot \frac{\partial M_b(x_5)}{\partial H_B} \right) dx_5 + \int_0^{3b} \left( M_b(x_6) \cdot \frac{\partial M_b(x_6)}{\partial H_B} \right) dx_6 \right] + \frac{1}{AE} \int_0^{2b} -F_K dx_3 + \frac{1}{AE} \int_0^{2b} -F_K dx_4$$

$$u_B = \frac{b \cdot (48MAb - 24F_K l - 192F_D Ab^2 + F_K Ab^2 + 128F_A b^2)}{6AEI} = 16,46 \text{ mm} \quad (28)$$

$$\alpha_C = \frac{\partial U}{\partial M_C} = \frac{1}{EI} \left[ \int_0^b \left( M_b(x_5) \cdot \frac{\partial M_b(x_5)}{\partial M_C} \right) dx_5 + \int_0^{3b} \left( M_b(x_6) \cdot \frac{\partial M_b(x_6)}{\partial M_C} \right) dx_6 \right]$$

$$\alpha_C = \frac{8Mb}{2EI} + \frac{b^2 \cdot (F_K - 32F_D + 16F)}{2EI} = 0,002 \text{ rad} \quad (29)$$

Nadalje preostaje provjeriti je li dobro dimenzionirana konstrukcija s odabranim profilom IPE 360. Provjera je izvršena pomoću von Misesovog ekvivalentnog naprežanja. Najveće unutarnje reakcije nosača nalaze se na mjestu uklještenja te su upravo iz tog razloga uvrštene u formulu za ekvivalentno naprežanje, potom je to naprežanje uspoređeno sa dopuštenim naprežanjem. Ukoliko je ekvivalentno naprežanje manje od dopuštenog, konstrukcija je dobro dimenzionirana, a ukoliko je veće, potrebno je odabrati jači profil.

$$\sigma_b = \frac{M_A}{W_{IPE360}} = \frac{200983200}{903600} = 222,42 \text{ MPa}; \quad \sigma_N = \frac{F_{AV}}{A} = \frac{74750}{7273} = 10,27 \text{ MPa};$$

$$\tau = \frac{F_{AH}}{A_{hrbat, IPE360}} = \frac{100000}{2677} = 37,35 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ekv} = \sqrt{\sigma_b^2 + \sigma_N^2 + 3 \cdot \tau^2} = 231,86 \text{ MPa} < \sigma_{dop} = 236,6 \text{ MPa} \rightarrow \text{IPE360 odgovara.} \quad (30)$$

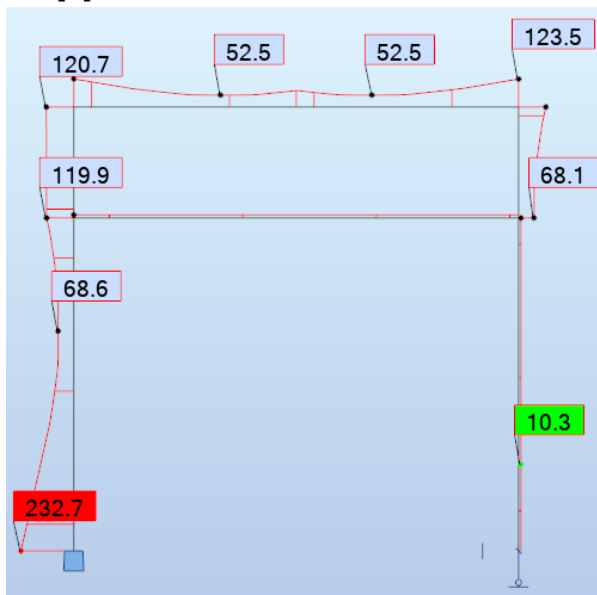
### 3. Numeričko rješenje dvostruko statički neodređenog nosača

Numeričko rješenje dobiveno je korištenjem programa *Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2022*. Ovaj program koristi metodu konačnih elemenata za dobivanje numeričkih rješenja. Zbog jednostavnosti konstrukcije korišteni su gredni konačni elementi.

**Tablica 2.** Rezultati numeričke analize

Okvirni nosač s dodatnom ukrutom C1-C2	Sila u osloncu D, $F_D$ , N	74754
	Sila u osloncu A, $F_{AH}$ , N	100000
	Sila u osloncu A, $F_{AV}$ , N	74754
	Moment u osloncu A, $M_A$ , Nmm	200985538
	Pomak u točki B, $u_B$ , mm	16,066
	Rotacija u točki C, $\alpha_C$ , rad	0,002
	von Mises naprežanje u točki A, MPa	232,7

Metoda konačnih elemenata numerička je metoda koja se temelji na fizičkoj diskretizaciji kontinuuma. Razmatrani kontinuum s beskonačno mnogo stupnjeva slobode gibanja zamjenjuje se s direktnim modelom međusobno povezanih elemenata s ograničenim brojem stupnjeva slobode. Drugim riječima, područje kontinuuma dijeli se na konačan broj potpodručja koja se nazivaju konačni elementi, odnosno razmatrani kontinuum postaje mreža konačnih elemenata [5].



**Slika 3.** Primjer rezultata iz Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2022, von Mises naprezanja u MPa

#### 4. Usporedba numeričkih i analitičkih rješenja

Iz tablice 3 vidljivo je da se rezultati analitičke i numeričke analize, statički dvostruko neodređenog okvirnog nosača, gotovo poklapaju. Najveća razlika je 2,5 % kod pomaka točke B.

**Tablica 3.** Usporedba rezultata

		Analitička rješenja	Numerička rješenja	Razlika [%]
Okvirni nosač s dodatnom ukrutom C1-C2	Sila u osloncu D, $F_D$ , N	74750	74754	0,005
	Sila u osloncu A, $F_{AH}$ , N	100000	100000	0
	Sila u osloncu A, $F_{AV}$ , N	74750	74754	0,005
	Moment u osloncu A, $M_A$ , Nmm	200983200	200985538	0,001
	Pomak u točki B, $u_B$ , mm	16,46	16,066	2,5
	Rotacija u točki C, $\alpha_C$ , rad	0,002	0,002	0
	von Mises naprezanje u točki A, MPa	231,8	232,7	0,38



## 5. Zaključak

U radu je zadan momentni okvirni nosač za koji je potrebno izračunati reakcije u točkama A(uklještenje) i D(vertikalni oslonac), pomak točke B i rotacija točke C. Okvirnom nosaču dodan je aksijalno opterećeni štap C<sub>1</sub>-C<sub>2</sub> kako bi statički problem postao dvostruko neodređen i samim time puno izazovniji za riješiti. Glavna metoda za dobivanje analitičkog rješenja bio je drugi Castiglianov teorem. Pored drugog Castiglianovog teorema, korištena je i metoda iteracije te izraz za produljenje aksijalno opterećenog štapa. Za dobivanje numeričkog rješenja primijenjen je program *Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2022*. Ovaj program koristi metodu konačnih elemenata, odnosno gredne konačne elemente, kao alat za dobivanje numeričkih rješenja statičkih problema.

Cilj ovog rada bio je dokazati, da se uporabom analitičkih metoda, mogu riješiti i složeni statički problemi poput dvostruko statički neodređenih momentnih okvira. Analitička rješenja kasnije su bila uspoređena s numeričkim. Usporedba dvaju rješenja pokazala je iznimno mala odstupanja. Najveće odstupanje bilo je 2,5 % kod pomaka točke B, a većina čak ispod 0,1 %. Drugi Castiglianov teorem, s obzirom na jako mala odstupanja analitičkih i numeričkih rješenja, pokazao se kao učinkovit i pouzdan alat za dobivanje analitičkih rješenja reakcija u osloncima, pomaka i rotacija karakterističnih točaka nosača.

## 6. Literatura

- [1] Budynas, Richard G.; Nisbett, J.Keith. *Shigley's Mechanical Engineering Design*, Tenth Edition. New York, McGraw-Hill Education, 2015. (ISBN 978-0-07-339820-4)
- [2] Brnić, Josip; Turkalj, Goran. *Nauka o čvrstoći II*. Rijeka, Zigo, 2006. (ISBN 953-7142-13-2)
- [3] Vilić, Marko. *Analiza deformacija i naprezanja statički neodređenog nosača*, Završni rad, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, 2011.
- [4] Brnić, Josip; Turkalj, Goran. *Nauka o čvrstoći I*. Rijeka, Tehnički fakultet, 2004. (ISBN 953-6326-33-7)
- [5] Sorić, Jurica. *Metoda konačnih elemenata*. Zagreb, Golden marketing - Tehnička knjiga, 2004. (ISBN 953-212-210-9)

## ***Non-Destructive Examination of Membrane Walls Welding During Water Tube Boiler Manufacturing***

**A. Herceg<sup>1</sup>, D. Marić<sup>2</sup>, T. Šolić<sup>2,\*</sup>, M. Samardžić<sup>1</sup>, A. Bašić<sup>2</sup>, I. Samardžić<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Đuro Đaković TEP d.o.o.

<sup>2</sup>Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, Hrvatska

\*Autor za korespondenciju. E-mail: [tsolic@unisb.hr](mailto:tsolic@unisb.hr)

### **Abstract**

Membrane walls represent most used way to ensure efficient heat transfer between flue gasses and medium present in the tubes. Standards elements of the membrane wall are steel tubes and bars joined together by welding. This requires implementation of appropriate quality control system, which can reduce to minimum chances that welds with deficiencies leave manufacturing hall. In accordance with standards for both design and testing, following NDT methods have been chosen: visual testing (VT) for both dimensional and overall supervision of welding process, penetrant testing (PT) for detection of indications open to the examined surface and radiographic testing (RT) for detection of volumetric deficiencies. Technical characteristics of implemented NDT methods are shown in the experimental part of the paper. Results have shown that only by combination of both surface and volumetric NDT methods can achieve reliable results. While stating reliable results, it must not be assumed that this means total lack of deficiencies in general. Experimental part was conducted during manufacturing process of membrane walls in ĐĐ TEP d.o.o.

**Key words:** water tube boilers, membrane walls, visual testing (VT), penetrant testing (PT), radiographic testing (RT).

### **1. Introduction**

Membrane walls represent an important part of water tube boiler manufacturing. In short, membrane walls are tubes with steel bar or membrane welded between them. Primary function of a wall is to ensure efficient heat transfer between flue gasses and water. In modern boiler manufacturing efficient heat transfer represents the main reason why membrane walls have completely replaced tangent tube construction [1]. Production technology of choice is welding, both for tube/tube and tube/steel bar joints. During welding large amounts of energy in the form of heat are introduced into base and filler material and can cause different types of deficiencies. These deficiencies can severely

reduce the performance of a boiler or cause it to stop functioning completely with great financial and material costs. To lower the possibility of not detecting welding and dimensional deficiencies inspection and testing plan must be designed and implemented. This paper will discuss quality control of membrane walls based on European standard HRN EN ISO 12952-1 [2]. Design characteristics are defined in the European standard HRN EN ISO 12952-3 [3], and techniques of non-destructive examination in European standard HRN EN ISO 12952-6 [4]. Conclusions about the optimal testing methods, parameters and results are thus based on the membrane walls designed, manufactured, and examined in the company ĐĐ TEP d.o.o.

## 2. Experimental investigation

The experimental test was performed during the manufacturing process on a membrane wall consisting of the elements shown in Table 1.

**Table 1.** Membrane wall part list

Part No.	Part Description	Material	Dimensions / mm	Quantity Pieces / m
1	Tube	16Mo3	φ57x50,60x4074,50	191
2	Tube	16Mo3	φ57x50,60x9803,50	191
3	Steel bar	16Mo3	6x23	2595
4	Steel bar	16Mo3	6x11,50	139

Implemented NDT techniques according to HRN EN ISO 12952-6 [4] are shown in Table 2.

**Table 2.** Performed NDT

Weld type	Visual testing	Surface Imperfection Detection	Volumetric Imperfection Detection
Circumferential	100%	-	10% radiographic
Butt: plate/plate	100%	10% penetrant	

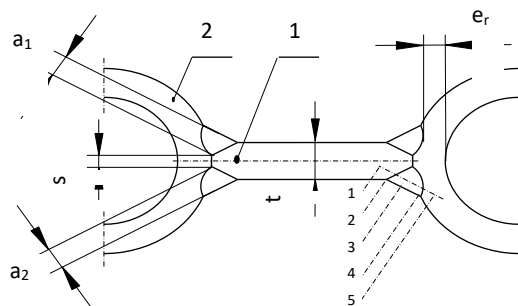
It is important to stress that magnetic particle testing (MT) was always used as first choice when performing surface imperfection detection. Penetrant testing (PT) was considered only when lacking accessibility, and for steel group 1. Welds between fins and tubes used for panel construction were examined with visual testing (VT) only, as specified in the standard.

### 2.1. Visual testing (VT)

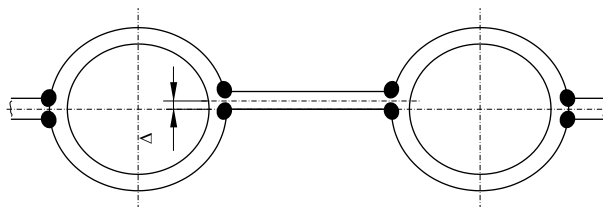
Visual testing (VT) was performed in accordance with HRN EN ISO 17637 [5] with interpretation of indications in accordance with HRN EN ISO 12952-6 [4] and HRN EN



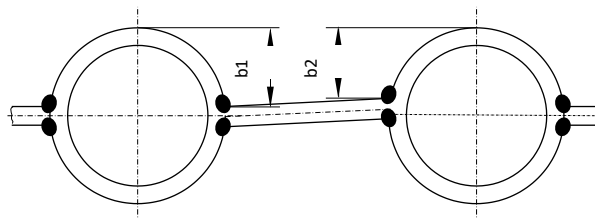
ISO 12952-5 [6]. ĐĐ TEP d.o.o. written instruction on visual testing [7] was also followed. All welded joints regardless of additional NDT methods were firstly VT examined as it shown in Figures 1 to 4.



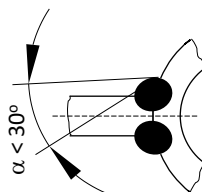
**Figure 1.** VT of membrane welding – part 1  
 $a_1+a_2 \geq t$ ;  $e_r \geq 2$  mm



**Figure 2.** VT of membrane welding – part 2  
 $\Delta \leq 2$  mm



**Figure 3.** VT of membrane welding – part 3  
 $\Delta \leq 2$  mm



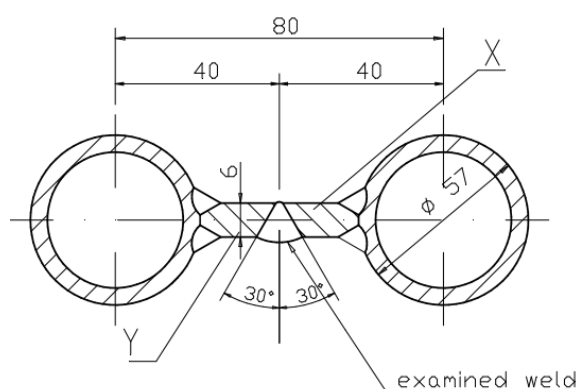
**Figure 4.** VT of membrane welding – part 4  
 $\alpha < 30^\circ$



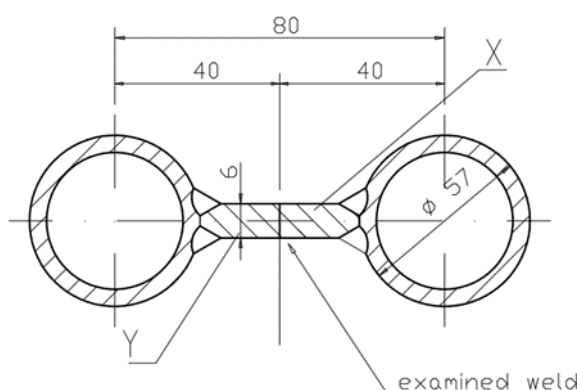
Prior to the welding, joints were examined to check the shape and dimensions of the weld preparation, to check overall cleanness of fusion and adjacent faces and to confirm that parts to be welded are correctly fixed in relation to one another. VT during welding was not performed. Finished weld was checked to confirm that all slag has been removed, that there are no tool marks and that all welded joints confirm to required quality with respect to the examination standard. All repaired welded joints were re-examined to the same requirements as the original weld. Following equipment was used: straight edge or measuring tape with graduation of 1 mm, magnifying lens with scale (magnification of 5:1) and lamp. VT level 2 examiner in accordance with HRN EN ISO 9712 [8] performed the examination.

## 2.2. Penetrant testing (PT)

PT testing was performed in accordance with HRN EN ISO 3452-1 [9] and written instruction by ĐĐ TEP d.o.o. [10]. Details of the PT examined weld are shown in Figures 5 and 6.



**Figure 5.** Detail of the PT examined weld No. 1 and 3



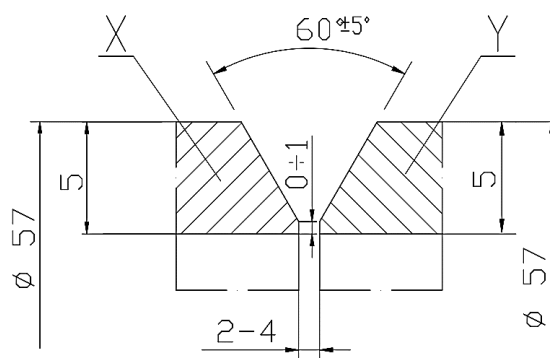
**Figure 6.** Detail of the PT examined weld No. 2

PT testing was performed using following equipment: dual purpose fluorescent colour contrast penetrant (type III), solvent (method E) for excess penetrant removal, solvent-based developer (type d) for developing penetrant indications, all manufactured by Mr

Chemie GmbH. Special care was taken to ensure that during examination only components of this penetrant system were used. JIS control block with cracks was used to determine sensitivity of the penetrant system. Illumination was checked with UV/lux meter DSE-100X/L – Spectroline and confirmed to be minimal 500 Lx. Since temperature of both test subject and workspace has serious implications on results of performed testing, temperature was regularly confirmed to not exceed 20 °C. As was the case with MT examination, examined surface and surrounding area were cleaned then visually and dimensionally checked. Examination was performed by certified PT level 2 examiner in accordance with HRN EN ISO 9712 [8]. Examined parts in this case were welds, so interpretation of results was done by referring to standard HRN EN ISO 23277 [11].

### 2.3. Radiographic testing (RT)

RT testing was performed in full accordance with HRN EN ISO 17636-1 [6], written instruction by ĐĐ TEP d.o.o. [12], and evaluation of results with HRN EN 12952-6 [4]. Detail of the RT examined weld is shown in Figure 7.



**Figure 7.** Detail of the RT examined weld

Source of ionizing radiation was an x-ray device ERESKO 42MF3.1 from manufacturer GE. Full examination parameters are listed as follows:

- Weld dimension:  $\phi 57 \times 5,0$  mm,
- Penetrated thickness: 11,20 mm,
- Film class: C3,
- Film name: D4,
- Wire number: 14,
- IQI position: source side,
- Source-to-object distance f: 711,00 mm,
- Source-to-film distance SFD: 770,00 mm,
- Number of shots: 1,
- Exposure (nominal, kV): 180 kV,
- Exposure (nominal, mA min): 6,70 mA min,
- Testing class: B,

- RT testing technique: double wall, double image, figure 11,
- Source of radiation: X-ray,
- Screens: Pb 0,02 mm, front and back,
- Required density:  $2,30 \leq D \leq 4,20$ ,
- Markings on the film: lead letters and numbers.

Percentage of RT examined welds was 10% of the total welded joints on the selected component by weld type, welder identification stamp and welder procedure specification (WPS). Examination was performed by RT level 2 examiner in accordance with HRN EN ISO 9712 [8].

### 3. Results

#### 3.1. Visual testing (VT) results

Visual examination of both membrane welding and welded joints shows that quality of welding is within standard. Abbreviations A and NA found in the table of results stand for Acceptable and Not Acceptable. The results of membrane welding are shown in Table 3.

**Table 3.** VT testing results for membrane welding

Joint No.	Measuring line	Weld geometry Evaluation				
		$a_1+a_2$	$e_r$	$\Delta$	$b_1-b_2$	$\alpha$
1	1 a <sub>1</sub>	9,50	A	A	A	A
2	2 a <sub>2</sub>		A	A	A	A
3	2 a <sub>1</sub>	9,58	A	A	A	A
4	2 a <sub>2</sub>		A	A	A	A

The results of the visual inspection of the welded joints are shown in Tables 4 and 5.

**Table 4.** VT testing results welded joints

Joint No.	Quantity	Imperfections according to HRN EN ISO 6520			
		crack	porosity	slag	reinforcement
1	18	-	-	-	-
2	18	-	-	-	-
3	36	-	-	-	-
4	191	-	-	-	-



**Table 5.** VT testing results welded joints

Joint No.	Quantity	Imperfections according to HRN EN ISO 6520		
		edge alignment	arc strikes	weld spatter
1	18	-	-	-
2	18	-	-	-
3	36	-	-	-
4	191	-	-	-

### 3.2. Penetrant testing (PT) results

PT examined welds were classified by weld number, welder designation and WPS. Scope of examination was 10% as defined in the standard HRN EN ISO 12952-6 [4]. Abbreviations A and NA found in the table of results stand for Acceptable and Not Acceptable. Penetrant testing (PT) results are shown in Tables 6 to 8.

**Table 6.** PT testing results for weld no. 1

Weld No.	Total number	Welder designation	WPS	Produced welds	Performed	
					A	NA
1	18	Z526	008-1-BW04-04	18	2	0
∑	18	-	-	18	2	-
%	-	-	-	100	11,11	0,00

**Table 7.** PT testing results for weld no. 2

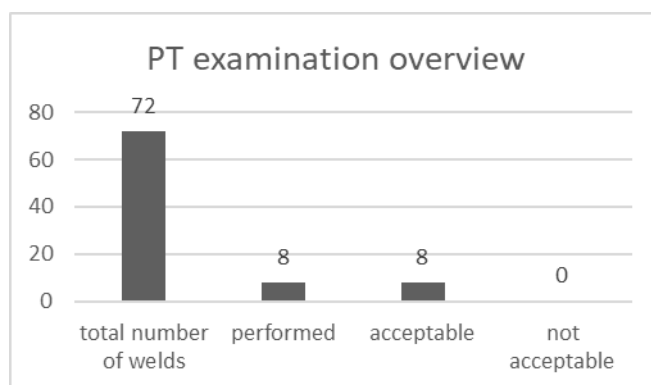
Weld No.	Total number	Welder designation	WPS	Produced welds	Performed	
					A	NA
2	18	Z112	005-1-BW04-01	18	2	0
∑	18	-	-	18	2	-
%	-	-	-	100	11,11	0,00

**Table 8.** PT testing results for weld no. 3

Weld No.	Total number	Welder designation	WPS	Produced welds	Performed	
					A	NA
3	18	B31	008-1-BW04-04	18	2	0
3	18	Z538	"	18	2	0
∑	36	-	-	36	4	-
%	-	-	-	100	11,11	0,00

Figure 8 shows the PT examination overview.





**Figure 8.** PT examination overview

### 3.3. Radiographic testing (RT) results

RT examined welds were classified by weld number, welder designation and WPS. Scope of examination was 10% as defined in the standard HRN EN ISO 12952-6 [4]. Abbreviations A and NA found in the table of results stand for Acceptable and Not Acceptable. Radiographic testing (RT) results are shown in Tables 9 to 16.

**Table 9.** RT testing results for weld no. 1, welder stamp Z225

Weld No.	Total number	Welder designation	WPS	Produced welds	Performed	
					A	NA
1	191	Z225	1-1-BW01-01	16	2	0
%	-	-	-	8,38	12,50	0,00

**Table 10.** RT testing results for weld no. 1, welder stamp Z569

Weld No.	Total number	Welder designation	WPS	Produced welds	Performed	
					A	NA
1	191	Z569	1-1-BW01-01	32	4	0
%	-	-	-	16,75	12,50	0,00

**Table 11.** RT testing results for weld no. 1, welder stamp B34

Weld No.	Total number	Welder designation	WPS	Produced welds	Performed	
					A	NA
1	191	B34	1-1-BW01-01	16	2	0
%	-	-	-	8,38	12,50	0,00

**Table 12.** RT testing results for weld no. 1, welder stamp Z22

Weld No.	Total number	Welder designation	WPS	Produced welds	Performed	
					A	NA
1	191	Z22	1-1-BW01-01	32	4	0
%	-	-	-	16,75	12,50	0,00

**Table 13.** RT testing results for weld no. 1, welder stamp Z252

Weld No.	Total number	Welder designation	WPS	Produced welds	Performed	
					A	NA
1	191	Z252	1-1-BW01-01	15	2	0
%	-	-	-	7,85	13,33	0,00

**Table 14.** RT testing results for weld no. 1, welder stamp Z457

Weld No.	Total number	Welder designation	WPS	Produced welds	Performed	
					A	NA
1	191	Z457	1-1-BW01-01	32	4	0
%	-	-	-	16,75	12,50	0,00

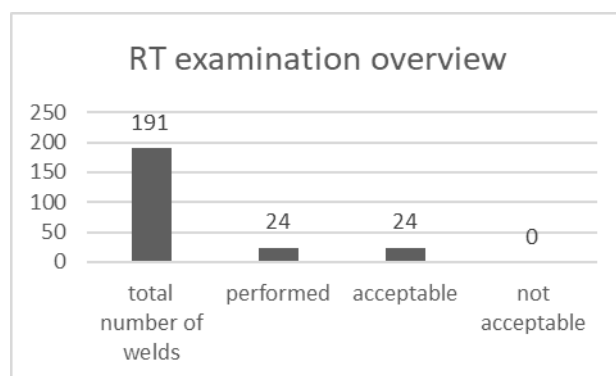
**Table 15.** RT testing results for weld no. 1, welder stamp Z147

Weld No.	Total number	Welder designation	WPS	Produced welds	Performed	
					A	NA
1	191	Z147	1-1-BW01-01	16	2	0
%	-	-	-	8,38	12,50	0,00

**Table 16.** RT testing results for weld no. 1, welder stamp Z44

Weld No.	Total number	Welder designation	WPS	Produced welds	Performed	
					A	NA
1	191	Z44	1-1-BW01-01	32	4	0
%	-	-	-	16,75	12,50	0,00

Figure 9 shows the RT examination overview.



**Figure 9.** RT examination overview

#### 4. Conclusion

Performed examinations and testing represent minimal requirements put forth by corresponding standards. Also, the represent guidelines which when followed allow reliable assessment of general quality of welded product. Following conclusions can be drawn:



- successful NDT examination is not possible without clearly defined system of weld marking and indexation,
- VT must be the first NDT method used,
- reliable results are accomplished by optimized combination of various NDT technologies,
- VT and PT testing will not detect volumetric deficiencies, while RT testing will not detect surface deficiencies,
- requirements in the standards can and should be increased if good engineering practice demands it,
- detailed knowledge of selected NDT methods is of utmost importance as is conforming to required conditions prior to testing.

## 5. References

- [1] Woodruff, E. B., Lammers, H. B., Lammers, T. F., Steam plant operation, McGraw-Hill professional, 2004., 78-80
- [2] BS EN ISO 12952-1 (2001), Water-tube boilers and auxiliary installations. General.
- [3] DIN EN ISO 12952-3 (2011), Water-tube boilers and auxiliary installations. Design and calculation for pressure parts of the boiler
- [4] DIN EN ISO 12952-6 (2011), Water-tube boilers and auxiliary installations. Inspection during construction, documentation and marking of pressure parts of the boiler.
- [5] HRN EN ISO 17637 (2016), Non-destructive testing of welds -- Visual testing of fusion-welded joints
- [6] Ivković, Z., Indirektno vizualno ispitivanje zavara - EN, ĐĐ TEP d.o.o., 2003.
- [7] HRN EN ISO 9712 (2012), Non-destructive testing -- Qualification and certification of NDT personnel
- [8] HRN EN ISO 3452-1 (2013), Non-destructive testing -- Penetrant testing -- Part 1: General principles
- [9] Ivković, Z., Ispitivanje zavara penetrantskom metodom - EN, ĐĐ TEP d.o.o., 2001.
- [10] HRN EN ISO 23277 (2015), Non-destructive testing of welds -- Penetrant testing - Acceptance levels
- [11] DIN EN ISO 17636-1 (2013), Non-destructive testing of welds - Radiographic testing. X- and gamma-ray techniques with film
- [12] Ivković, Z., Radiografsko ispitivanje zavara - EN, ĐĐ TEP d.o.o., 2000.

## Proračun kritične geometrije cjevovoda u termoelektranama

### *Calculation of critical pipeline geometry in thermal power plants*

**B. Damjanović<sup>1</sup>, D. Turk<sup>2,\*</sup>, P. Konjatić<sup>2</sup>, M. Katinić<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Saacke Marine Systems TPK Nova d.o.o., Zagreb, Hrvatska

<sup>2</sup>Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, Hrvatska

\*Autor za korespondenciju. E-mail: [dturk@unisb.hr](mailto:dturk@unisb.hr)

#### **Sažetak**

Ukratko su opisana termoenergetska postrojenja, princip rada kao i goriva koja koriste za svoj pogon. Opisana je i svrha termoenergetskih postrojenja te načini na koje se potencijalna energija goriva pretvara u električnu energiju preko toplinske. Obično se energija prenosi putem radnog medija koji putuje cijevima, odnosno cijevnim postrojenjem. Rad opisuje proračun cjevovoda koji je uobičajen kod sustava termoenergetskih postrojenja. Promatrani dio cjevovod je opterećen tlakom od 35 bara i temperaturom od 190 °C. u proračunu su korištene norme EN10216-2 i EN13480-3. Određeno je dopušteno naprezanje materijala pri temperaturi eksploatacije. Izdvojen je dio cjevovoda te je dodana kompenzacijska sila na površini poprečnog presjeka koja zamjenjuje ostatak cjevovoda, odnosno kako bi se mogao promatrati samo cjevovod, a ne cijelo postrojenje. Izračunata su naprezanja koje se javljaju u cjevovodu. Za izračun naprezanja u cjevovodu je korištena metoda konačnih elemenata pomoću programskog paketa Ansys Workbench. Jedna od prednosti primijenjene numeričke metode je u dobivanju polja ekvivalentnih naprezanja po cijelom volumenu cjevovoda, odnosno u svakom konačnom elementu. Napravljena je validacija mreže konačnih elemenata konvergencijom rješenja pomaka i naprezanja. Analizom dobivenih polja naprezanja utvrđena su kritična mjesta gdje se javljaju koncentracije naprezanja te su dane preporuke za oblikovanje kritičnih mjesta.

**Ključne riječi:** cjevovodi, MKE, analiza naprezanja, termoenergetska postrojenja, kompenzacijska sila, unutarnji tlak

#### **Abstract**

Thermal power plants, the principle of operation as well as the fuels they use for their operation are briefly described. Also, the purpose of thermal power plants is described, as well as the ways in which the potential energy of the fuel is converted into electricity through heat. Usually, the energy is transmitted through the working medium that travels through the pipes in the pipe plant. The paper describes the design of pipelines



that is common in thermal power plant systems. The observed part of the pipeline is loaded with a pressure of 35 bar, and a temperature of 190 °C. EN 13480-3 and EN 10216-2 standards were used in the calculation. The allowable stress of the material at the operating temperature is determined. A part of the pipeline was separated, and a compensation force was added to the cross-sectional area, which replaces the rest of the pipeline so that only the pipeline could be observed and not the whole plant. Stresses occurring in the pipeline were calculated. The finite element method using the Ansys Workbench software package was used to calculate the stresses in the pipeline. One of the advantages of the used numerical method is in obtaining fields of equivalent stresses over the entire volume of the pipeline in each finite element. Validation of the finite element mesh by the convergence of the displacement and stress solutions is made. The analysis of the obtained stress fields shows critical places where stress concentrations occur, and recommendations for the design of critical places were given.

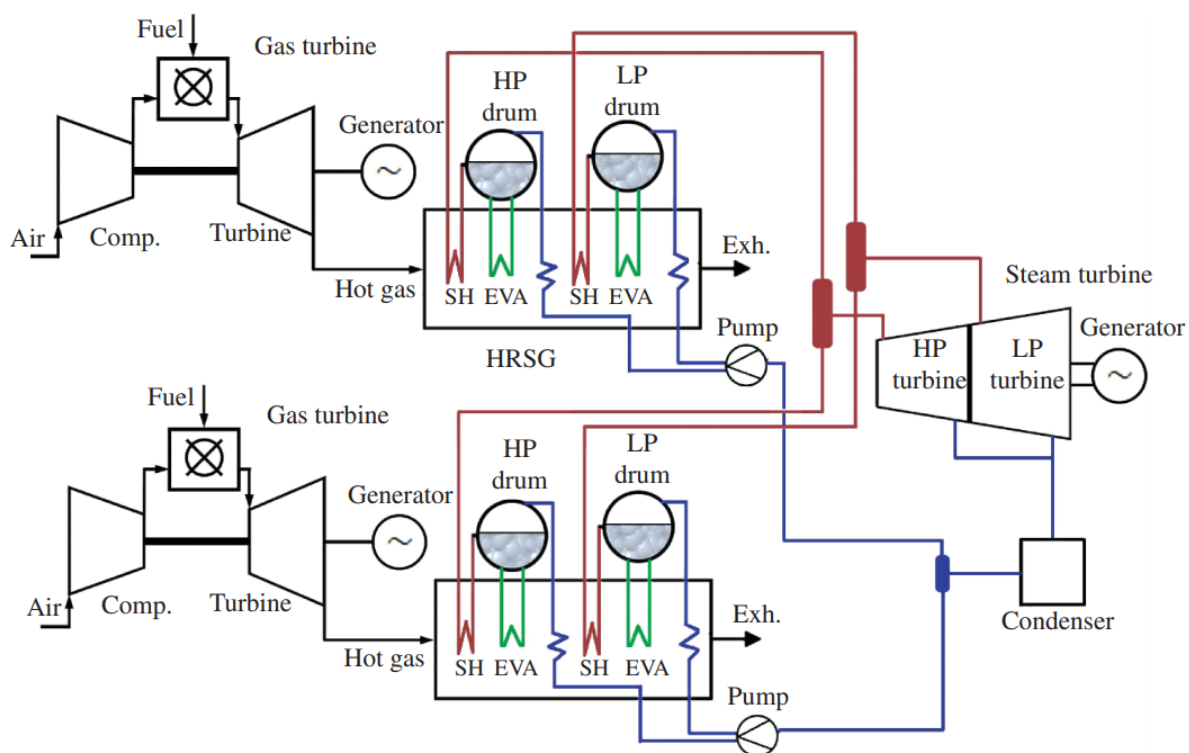
**Keywords:** pipelines, FEM, stress analysis, thermal power plants, compensating force, internal pressure

## 1. Introduction

Traditional thermal power plants, also known as combustion power plants, play a significant role in the power grid. Thermal power plants provide reliable generation of electricity. It is essential to distinguish between cyclic power plants (circular process) and power plants that operate on the principle of an open process. In circular cycle power plants, the working medium flows continuously through a closed system. Heat is supplied to the working medium via a high-temperature source, and the unused heat is dissipated in a heat exchanger. The difference between these two heats is the mechanical work. The primary purpose of thermal power plants is to convert heat into mechanical work. Mechanical work is used to generate electricity using electricity generators. This paper calculates feed-water pipeline which is used for water transportation in combined cyclic gas turbines (CCGT). Those plants take the steady flow assumption of a working medium. There are three main types of a combined cycle power plants. Those types of power plants are ones that use unburned fuel for heat recovery steam generator (HRSG), power plants that use supplementary firing in the HRSG, and those involving full firing (maximally fired). [1]

Working principle of combined cycle power plant can be seen in Figure 1.



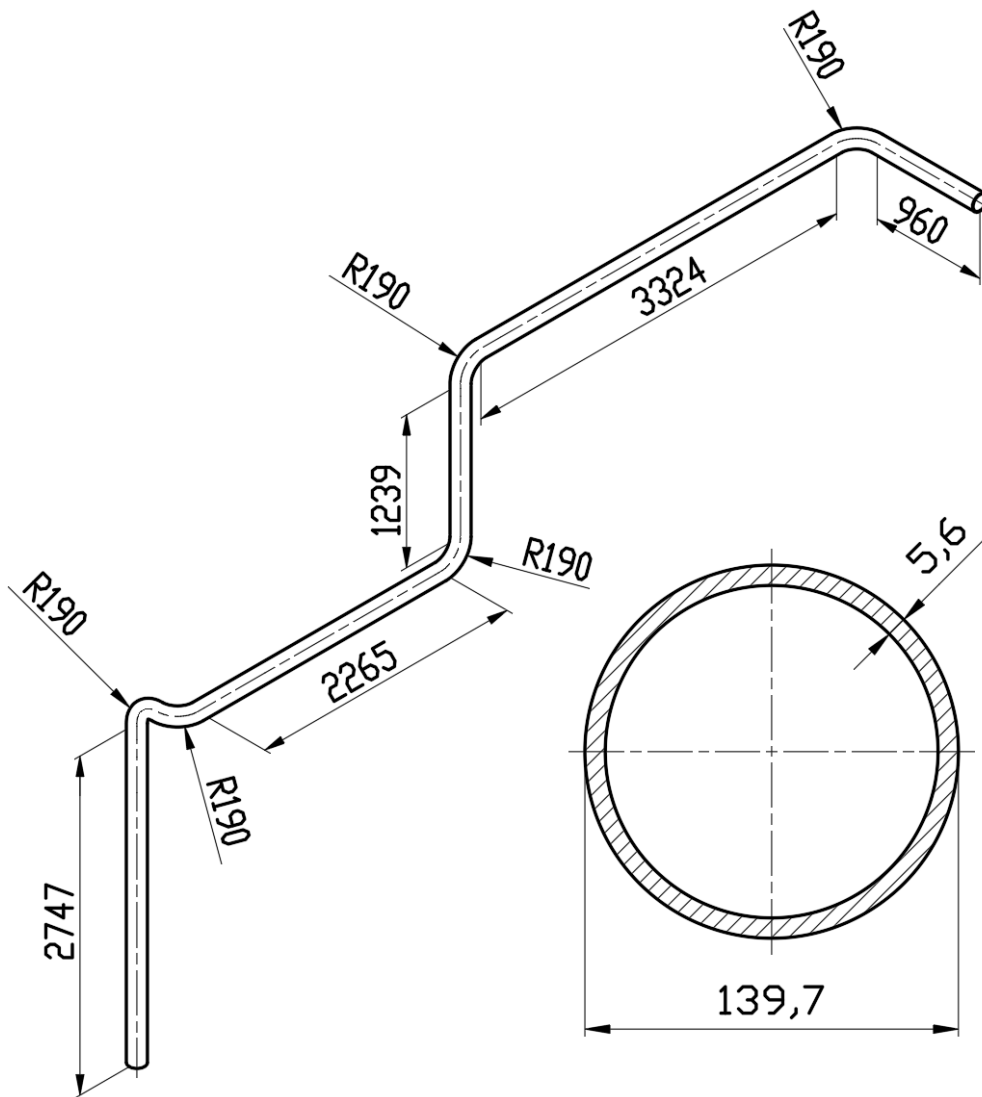


**Figure 1.** Combined cycle power plant [2]

Such power plants work so that the exhaust gases of the gas turbine transfer their heat to the boiler and thus convert water into steam. The steam further circulates in a circular process and operates as the usual power plant. Combined power plants usually run on natural gas, fuel oil, and synthesis gases. Coal or biofuels can also be used as an additional energy source. [1]

## 2. Problem description

The observed pipeline is a part of feed water system in thermal plant. The feed water system prepares the water for re-introduction into the boiler, this includes venting, collecting water into the tank and pumping it to the boiler. The feed water is sucked in through the suction side of the feed water pump and redistributed through the discharge side. Observed pipeline is connected to feed water pump suction nozzle which allow distribution of water to the pump. In pipe systems such as this, temperatures range within about 100 °C while pressure range can go up to 100 bar [1]. Design pressure of the observed pipeline is 35 bar and design temperature of 190 °C. According to standard EN 10216-2 [2], it is a seamless pipe with outer diameter 139,7 mm and wall thickness of 5,6 mm. The pipeline design which is used in calculation is given in a Figure 2.



**Figure 2.** Pipeline design (all dimensions are in mm)

The EN 10216-2 standard recommends materials which can be used for seamless pipes such as P195GH, P235GH, P265GH, 20MnNb6, 16Mo3 and 13CrMo4-5 which are mostly alloyed special steel for pipes with specified elevated temperature properties. For the shown pipeline design P235GH material is used. P235GH is unalloyed steel which is often used for manufacturing boilers, pressure vessels and pipes operating under hot conditions. This material provides good weldability, toughness along with good plastic behavior.

Material design properties are given in the Table 1 [3].

**Table 1.** Properties of P235 steel

Material Property	Value
Young's modulus ( $E$ ):	200000 MPa
Density ( $\rho$ )	7700 kg/m <sup>3</sup>
Yield strength ( $R_e$ ):	235 MPa
Yield strength at 200 °C ( $R_{p0,2, 200}$ ):	170 MPa
Ultimate strength ( $R_m$ ):	360 MPa
Poisson's ratio in elastic range ( $\nu$ ):	0,30
Coefficient of linear thermal expansion ( $\alpha$ ):	$12 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

The design stresses are also known as basic allowable stresses. Basic allowable stress is used directly in the pipe wall thickness calculation subjected to inner pressure. The term basic allowable stresses are used because it is the design stresses for basic sustained loads. Allowable stresses for piping materials are generally established from different groups of materials. The design stress shall be the lower of the time-independent stress value calculated in chapter 5.2 of EN 13480-3. Since the material elongation is less than 30 % the design stress shall be in accordance with the following [4]:

$$f = \min \left\{ \frac{R_{eHt}}{1,5} \text{ OR } \frac{R_{p0,2t}}{1,5}; \frac{R_m}{2,4} \right\} \quad (1)$$

where  $R_{eHt}$  (MPa) is upper yield strength of the material,  $R_{p0,2t}$  (MPa) is the offset yield strength and  $R_m$  (MPa) is ultimate yield strength.

According to EN 13480-3 chapter 12.1.3. we can determine the allowable stresses. The allowable stress can be calculated as basic allowable stress at minimum metal temperature consistent with the loading under consideration ( $f_c$ ):

$$f_c = \min \left( \frac{R_m}{3}; f \right) \quad (2)$$

where  $f$  is calculated according to the expression 1, for operating conditions at the room temperature.

Since the pipeline is exposed to high operating temperature, the following condition will be considered:



$$f_h = \min(f_c; f; f_{CR}) \quad (3)$$

where  $f_h$  is allowable stress at the maximum metal temperature consistent with the loading under consideration and  $f$  will be calculated with yield strength at operating temperature.

The  $f_{CR}$  is design stress in creep range, and since the creep for used material occurs at 380 °C,  $f_{CR}$  is not considered. The yield strength at 200 °C is given in the Table 1. The allowable stress at the maximum metal temperature consistent with the loading under consideration can be calculated [4]:

$$f_h = \frac{R_{p0,2,200}}{1,5} = \frac{170}{1,5} = 113,3 \text{ MPa} \quad (4)$$

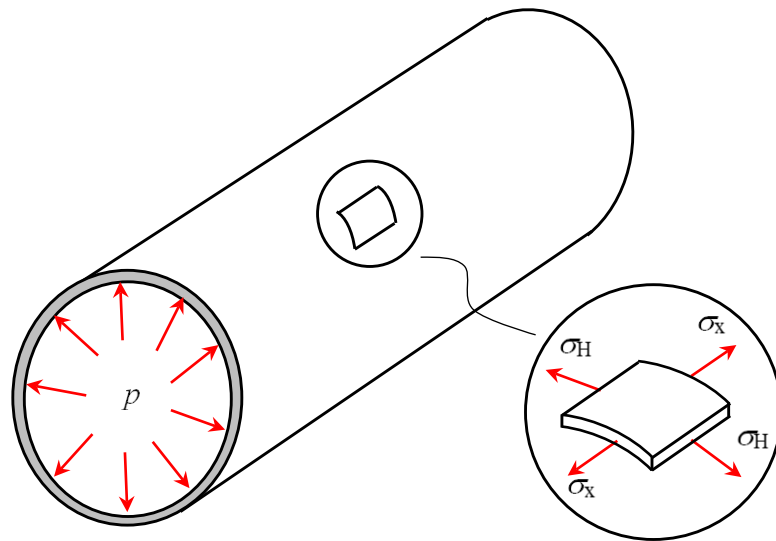
where  $f_h$  is allowable stress at the maximum metal temperature consistent with the loading under consideration,  $f$  is the design stress at operating temperature and  $R_{p0,2,200}$  (MPa) is the yield strength at 200 °C. The safety factor of 1,5 is given by expression in used standard.

Pipes can be subjected to internal, external pressure, or both at the same time. When calculating the pipe stress, it is important to consider the wall thickness. Depending on the wall thickness, pipes and pressure vessels are divided into thin-walled and thick-walled. The pipe used in this calculation can be considered as thin-walled as it satisfies the following condition [5]:

$$\frac{r_i}{t} > 10 \rightarrow \frac{64,25}{5,6} = 11,47 \rightarrow \text{thin - walled pipe} \quad (5)$$

where  $r_i$  is inner radius and  $t$  is the wall thickness of pipe.

Since in this case the condition is satisfied, pipe is considered as thin-walled and plane state of stress acts through wall as shown in Figure 3.



**Figure 3.** Stress state in a thin-walled pipe loaded with internal pressure

In thin-walled pipes, the stresses in direction of the pipe wall thickness can be neglected. The stresses which are acting in plane are longitudinal and hoop stress that do not change in the direction of thickness [6]:

The Hoop stress [6]:

$$\sigma_H = \frac{pD}{2t} \quad (6)$$

The Longitudinal stress [6]:

$$\sigma_x = \frac{pD}{4t} \quad (7)$$

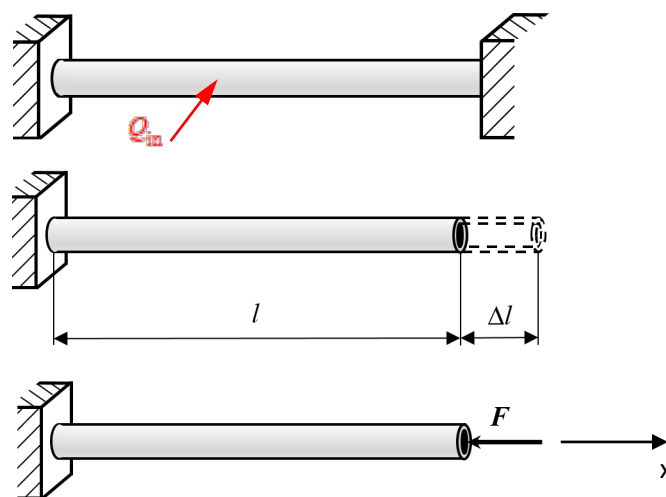
where  $p$  is inner pressure,  $D$  pipe diameter and  $t$  is wall thickness.

If observed pipe was a thick-walled pipe, in addition to the stated stresses, in the direction of thickness, radial stress also occurs. Unlike thin-walled pipes, thick-walled stresses are not equal in the direction of the wall thickness. While performing pipe stress analysis it is important to keep stresses caused by different load cases inside allowable terms.

Also, it is important to ensure sufficient flexibility of the piping system especially if it is exposed to thermal conditions. Pipe system shall be designed to withstand the self-weight other outer and inner loadings as well as the effects of thermal expansion or contraction. Thermal expansion of the pipe causes entire pipe system to move, which



creates stresses and forces in the pipe and surrounding equipment. Pipe system should have enough flexibility to absorb the expansion. Thermal expansion force is shown on Figure 4.



**Figure 4.** Thermal expansion force on pipe anchor

Pipe free expansion is equal to [7]:

$$\Delta l = \alpha l (T_2 - T_1) \quad (8)$$

where  $\alpha$  is the coefficient of linear thermal expansion of the pipe and  $(T_2 - T_1)$  is temperature change.

Therefore, the force acting on the anchor is given by following expression [7]:

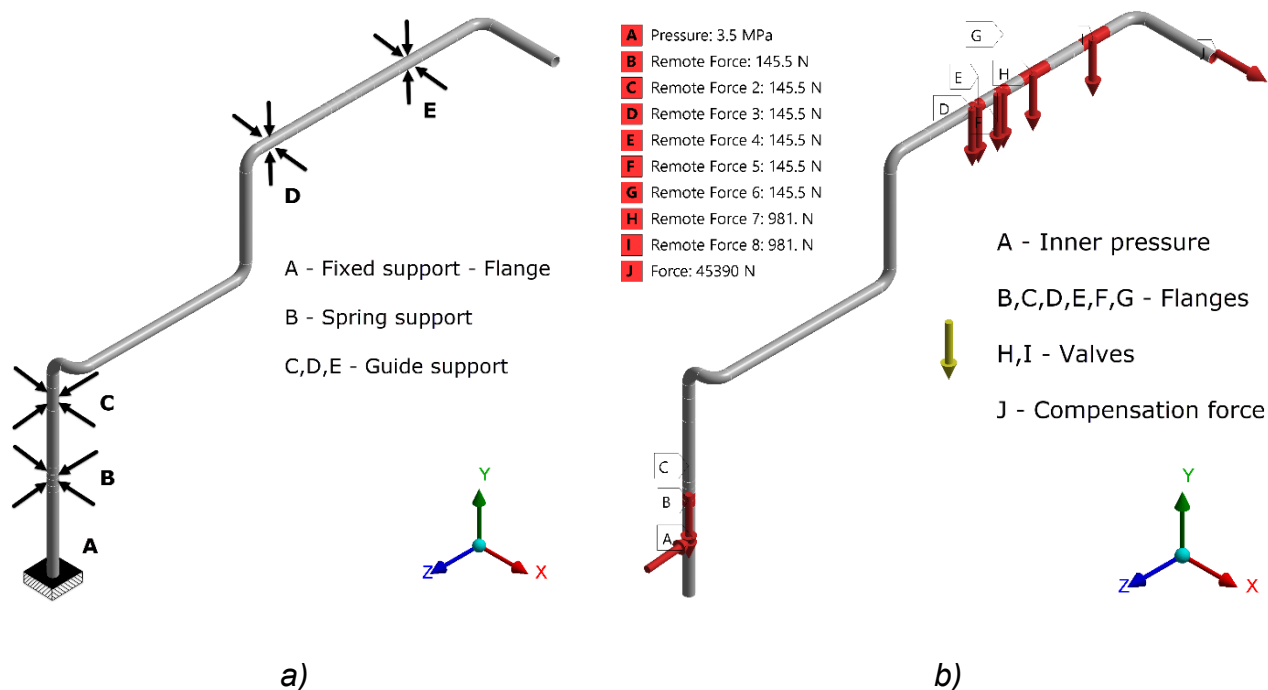
$$F = -EA\alpha(T_2 - T_1) \quad (9)$$

and axial stress is calculated according to the equation [7]:

$$\sigma_x = -E\alpha(T_2 - T_1) \quad (10)$$

where  $E$  is the Young's modulus of elasticity for the pipe material,  $A$  is the cross-section area of the pipe,  $F$  is the anchor force, and  $\sigma_x$  is the axial stress. The expressions show the force and stress caused by the temperature change in the pipe.

Boundary conditions and loads of the pipeline are shown on Figure 5. a) and b).



**Figure 5.** Boundary conditions and loads of the pipeline

On a) side it is possible to see the pipe supports. The arrows indicate the direction of restriction for the pipeline. As the pipe is connected to the pump, the flange connection (A) is defined as the fixed point. Other supports (B, C, D, E) are defined in this way to allow thermal expansion. In addition to the self-weight of the pipeline, the weight from the flanges and valves acting on the pipeline are shown on b).

To satisfy system equilibrium compensation force is added. The force is longitudinal reaction of internal pressure on section where pipe is "cutted". It is equal to internal pressure into internal area:

$$F_{cp} = p_i A_i \quad (11)$$

where  $p_i$  is internal pressure and  $A_i$  is internal area of pipe.

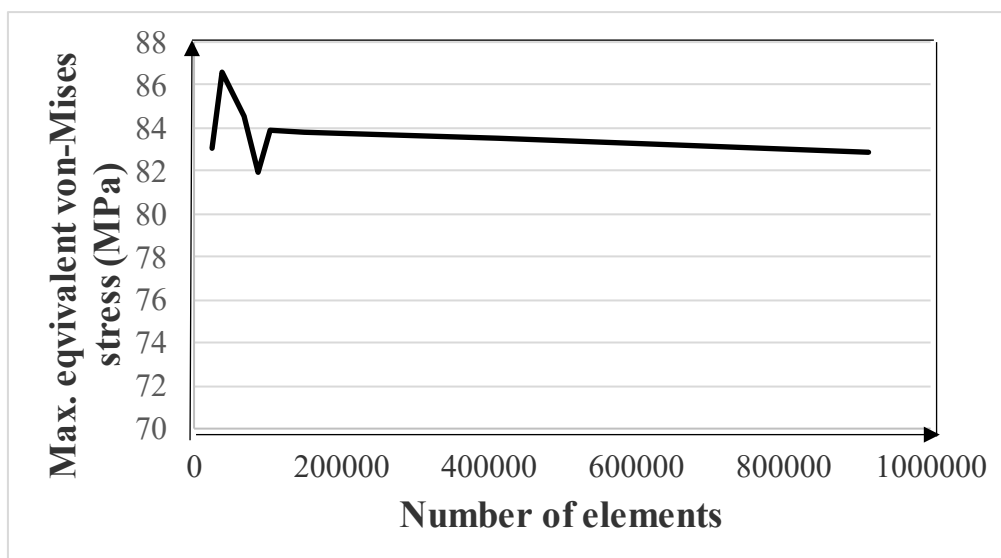
### 3. Analysis results

Pipeline geometry meshing was achieved with 105192 hexahedral finite elements (Solid186 in Ansys Workbench) where the solutions converged. Displacement convergence diagram is given in Figure 6. The diagram also shows the displacement solution for the finite element mesh that uses smaller finite elements. However, it is not necessary to use such a fine mesh for this problem.



**Figure 6.** Displacement convergence diagram

Figure 7 shows a convergence diagram of the results of equivalent stresses per von mises. It can be seen from the diagram how the solution converges with an increasing number of finite elements. Identical to the maximum displacement, the value obtained with 105192 hexahedral finite elements is used because it is not necessary to use finite

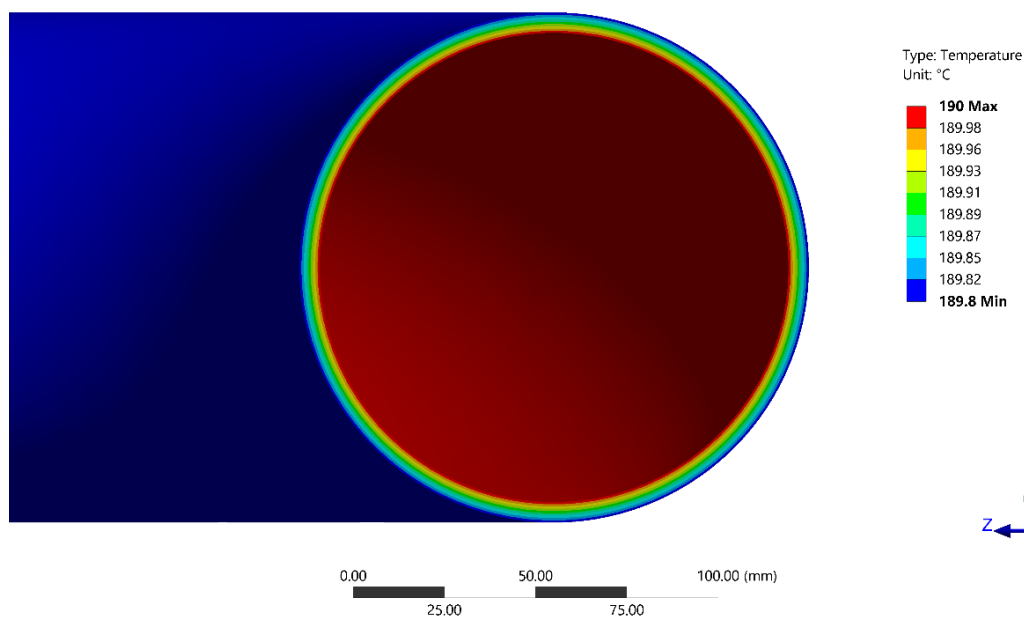


elements mesh with such a small finite element size.

**Figure 7.** Stress convergence diagram

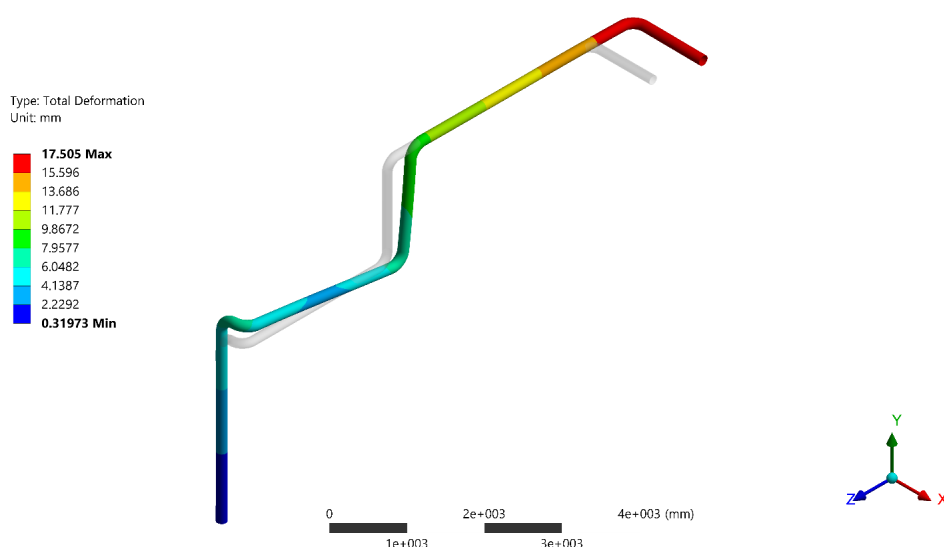
Figure 8 shows the temperature field over the entire cross-sectional area of the pipeline. The analyzed pipe is thin-walled, and approximately the same temperature is expected throughout the entire wall thickness of the pipe. The temperature obtained by

numerical analysis is approximately 190 ° C, and it is approximately the same as the working medium. The obtained temperature fields are used as a load in static analysis.



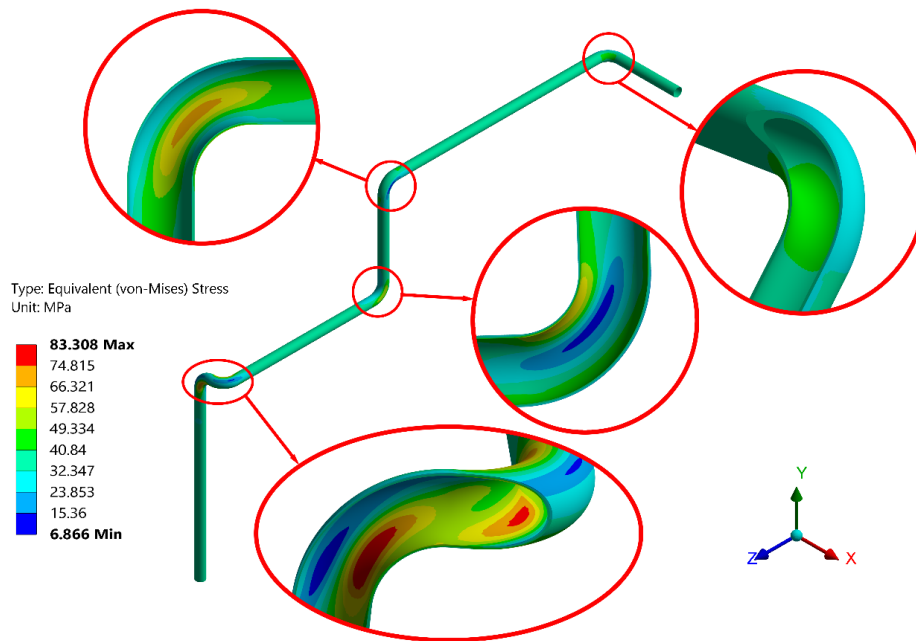
**Figure 8.** Temperature field along pipe wall thickness

Figure 9 shows the fields of total displacements with respect to the used boundary conditions shown in Figure 5 a) and the loads are shown in Figure 5 b). The pipeline took the expected deformed shape and is shown in Figure 8. The initial geometry of the pipeline is also shown, as well as the scale where the amounts of displacements for the entire pipeline are shown in color. The maximum total displacement amount is 17,51 mm, and the stiffness condition is met as explained below.



**Figure 9.** Pipeline total displacement field

Fields of equivalent von-Mises Stress is shown on Figure 10.



**Figure 10.** Equivalent von-Mises stress field

Value of maximum equivalent stress is 83,31 MPa which is less than allowable stress. As the stresses are within the allowable limits, the displacements will not be considered as key parameters when making a judgment about the integrity of the pipeline. However, efforts have been made to ensure that the maximum displacement does not exceed a value of 25 mm in lateral direction. The displacement field shows satisfactory flexibility of the pipeline. Maximum pipeline deflection between supports should not exceed value of 25 mm. That value represents the limit value for pipes with diameter larger than 100 mm. [8]

Recommendation for the redesign of critical geometry:

Since the critical geometry, at which the highest value of stress occurs is the geometry of the pipe fitting – elbow, the possibility is to increase the wall thickness of the elbow so the requirements of design and manufacturing will be met. According to EN 10253-2 [8] elbow wall thickness ranges from 4 mm to 20 mm (standard sizes) for outside diameter of 139,7. mm. If elbow wall thickness of 6,3 millimeters is used in the calculation, maximum stress value will be reduced to 75,71 MPa.

On this pipeline design elbows with a bending radius equal to 3 pipe diameters were used. To obtain the most favorable geometry from the point of view of flexibility and stress of the pipeline, it is recommended to use elbows with bending radius equal to 5 pipe diameters.

#### 4. Conclusion

This paper described the calculation of the pipeline used for the feedwater system to the thermal power plant. The observed pipeline operates under operating conditions at a temperature of 190 °C and is designed for a pressure of 35 bar. The recommended standards were used in the calculation along with the software package for numerical analysis. Ansys Workbench was used to perform a numerical analysis of the pipeline. The numerical analysis results show that the equivalent von-Mises stress at the critical point of the designed pipeline does not exceed the maximum allowable stress of the material obtained by applying the standard. In addition to the maximum allowable stress, the condition of maximum allowable deflection of the pipeline between the two supports is also satisfied. During the analysis of the results, a critical pipeline location was observed. A possible improvement of the geometry was suggested to reduce the amount of maximum equivalent von-Mises stress by about 10% at the critical point of the designed pipeline. In addition to the conducted analyses, further research plans to make a more accurate physical model and take more accurate conditions of exploitation such as wind action, earthquakes, and the impact of hydraulic shock.

#### 5. References

- [1] J. H. Horlock. Combined Power Plants Including Combined Cycle Gas Turbine Plants, Pergamon Press, England, 1992.
- [2] A. Chaibakhsh. "Modelling and long-term simulation of a heat recovery steam generator." Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems, Vol. 19, No. 2, 91-114, 2013
- [3] Merritt, Carey. Process steam systems: a practical guide for operators, maintainers, and designers. John Wiley & Sons, 2015.
- [4] EN 10216-2:2013 Seamless steel tubes for pressure purposes - Part 2: Non-alloy and alloy steel tubes with specified elevated temperature properties
- [5] EN 13480-3:2017 Metallic industrial piping – Part 3: Design and calculations
- [6] Eren Şefika Elvin, Isabel Hadley, and Kamran Nikbin. "Differences in the Assessment of Plastic Collapse in BS 7910: 2005 and R6/FITNET FFS Procedures." Pressure Vessels and Piping Conference. Vol. 44519. 2011.
- [7] Alfrević Ivo, Nauka o čvrstoći 2, Golden marketing, Zagreb, 1999.
- [8] Peng, Liang-Chuan, and Tsen-Loong Peng. Pipe stress engineering. Vol. 2. New York: ASME press, 2009.
- [9] Telles, P.C.S. Industrial Pipes-Materials Projects and Assembly, 10th ed.; Editora LTC: Rio de Janeiro, Brazil, 2001.
- [10] EN 2010253-2:2007 Butt-welding pipe fittings – Part 2: Non alloy and ferritic alloy steels with specific inspection requirements
- [11] ANSYS® 18.2 ANSYS (NASDAQ: ANSS), Ansys Inc., 2017



# Meteorološka stanica realizirana uz pomoć Arduina *Meteorological station realized with the help of Arduino*

M. Tačković<sup>1</sup>, M. Mesić<sup>1</sup>, Z. Kraus<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Elektrotehnička i prometna škola Osijek, Osijek, Hrvatska

<sup>2</sup> Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek,  
Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Osijek, Hrvatska

\*Autor za korespondenciju. E-mail: [zorislav.kraus@ferit.hr](mailto:zorislav.kraus@ferit.hr)

## Sažetak

Temperatura prostora uz vlagu je iznimno bitna za osjećaj ugone u radnom i životnom prostoru koja utječe na raspoloženje i sposobnost za učinkovito izvođenje radnih zadataka.

Temperatura vanjskog zraka i potrošnja plina za grijanje unutarnjih prostora uvijek su u korelaciji. Uvažavajući činjenicu da je prirodni plin prevladavajući energent za grijanje zgrada u urbanim sredinama, stanova, obiteljskih kuća te institucija poput škola i vrtića nalaže se potreba za racionalnim korištenjem tog energenta kako se ne bi ugrozila sigurnost opskrbe ali i kako bi se smanjile emisije koje štetno utječu na okoliš (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>). Jedno od tehničkih rješenja je uporaba niskotemperaturnog sustava grijanja koje značajno doprinosi energetske učinkovitosti. Kako bi se omogućilo racionalnije korištenje plina i time ostvarile uštede u energiji, pa samim time i financijske uštede uz zadržavanje jednake razine komfora, moguće je optimizirati temperaturu polaznog voda sustava za grijanje. Za takav pristup potrebno je imati pouzdan sustav za mjerenje temperature koji kao komercijalno rješenje često iziskuje značajnija financijska sredstva.

**Ključne riječi:** temperatura, Arduino, mjerenje, DIY, IoT.

## Abstract

Room temperature along with humidity is extremely important for the feeling of comfort in the work and living space, which affects the availability and ability to perform work tasks efficiently. Outdoor air temperature and gas consumption for indoor heating are correlated. Recognizing the fact that natural gas is the predominant energy source for heating buildings in urban areas, apartments, family houses and institutions such as schools and kindergartens, there is a need for rational use of this energy source so security of supply would not be in jeopardy as well as to reduce harmful emissions to the environment (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>). One of the technical solutions uses a low-temperature heating system that significantly contributes to energy efficiency. In order to enable the rational use of gas and thus achieve energy and financial savings while maintaining the same level of comfort, it is possible to optimize water temperature of heating system. Such approach requires a



reliable temperature measurement system that often requires significant financial resources if commercial solution is used.

**Key words:** temperature, Arduino, measurement, DIY, IoT.

## 1. Uvod

Prirodni plin je najčišći konvencionalni iz energije sa niskim emisijama stakleničkih plinova te je stoga poželjan za tranziciju energetike sa fosilnih goriva na obnovljive izvore energije [1]. Prema podacima EUROSTAT-a (2021) [2] u 2019.-oj godini 25,4 % ukupne energije EU potječe od prirodnog plina, dok British Petroleum Statistical Review (2019) [3] govori o 23,69 % svjetske primarne energije za 2018. godinu uz snažan rast udjela u ukupnoj primarnoj energiji te će prirodni plin u skorijoj budućnosti nadmašiti potrošnju ugljena i postati najvažniji pojedinačni izvor primarne energije u svijetu. Uvažavajući navedeno javlja se potreba za poznavanjem i predviđanjem potrošnje plina koja se mijenja u prepoznatljivim dnevnim, tjednim i godišnjim ciklusima kako bi se pravilno dimenzionirao transportni sustav, odredile potrebne rezerve u skladištima te što točnije ugovorile potrebne količine plina za naredni period. Odstupanja od ugovorenih količina za sobom povlače penale koji znatno utječu na veleprodajnu cijenu ovog energenta.

Konvencionalne analize potrošnje koriste statističke podatke potrošnje prirodnog plina iz prijašnjih godina neuzimajući u obzir vremenske prilike što rezultira većim stupnjem netočnosti izračuna. Znajući da vremenske prilike, posebice temperatura, značajno utječu na potrošnju plina započela su brojna istraživanja pojedinih vremenskih utjecaja, kao i ostalih poznatih utjecaja [4]. Promatrajući ovisnost potrošnje o temperaturi [5] autori su utvrdili da je korelacija (negativna) najizraženija zimi kada za 1 °C nižu dnevnu temperaturu potrošnja prirodnog plina raste za 3 – 4 %. Slično potvrđuju i drugi autori koji zaključuju da temperatura ima najizraženiji utjecaj na potrošnju prirodnog plina za zagrijavanje zgrada mnogih razvijenih zemalja [6]. Utjecaj temperature na potrošnju za zagrijavanje zgrada usko je povezan i sa samim karakteristikama građevine poput izolacije, orijentacije i podešene temperature prostorija [7]. Osim temperature autori su proučavali i druge vremenske utjecaje poput relativne vlažnosti zraka, atmosferskog pritiska, brzine vjetra i insolacije [8] [9] te razne socijalno-ekonomske čimbenike poput cijene energenta, osobnog dohotka, BDP-a i navika potrošača [8] zaključujući da je njihov utjecaj znatno manji.

Uvažavajući potrebu za što točnijim predviđanjem potrošnje plina razvijene su metode koje koriste različite ulazne parametre među kojima se u pravilu nalaze prijašnja potrošnja i temperatura iako postoje metode koje ih ne koriste. Zbog već ranije navedene snažne negativne korelacije potrošnje plina o temperaturi jasno je da postoji mogućnost dobre procjene potrošnje plina uz točnu prognozu temperatura [7], što se i u praksi provodi u razvijenim zemljama EU.

Mjerenje temperature primjenjuje se i u mnogim drugim područjima vezanih za zdravlje ljudi gdje neprimjerena temperatura znatno utječe na osjećaj ugodne boravka u određenom prostoru. Odstupanje temperature od poželjne vrijednosti uzrokuje osjećaj neugode zbog

nastojanja tijela da održi temperaturu tijela konstantnom što u krajnjem slučaju dovodi do pothlađenosti ili toplinskog šoka [10]. Poznavanje temperature pojedinih prostorija može dovesti i do znatnih ušteda u potrošnji energije za grijanje/hlađenje [11], a poznavanje temperature podzemnih energetskih kabela do boljeg upravljanja toplinom i održavanja [12].

Razvijene se različite metode za kontaktno i bez kontaktno mjerenje temperature sa žičnim ili bežičnim (RF, Wi-Fi, Bluetooth, XBee, ZigBee...) [13] [14] prijenosnom podataka koji se mogu prenositi lokalno ili putem interneta za pohranu u oblaku.

Padom cijena komponenti i razvojem platformi jednostavnih za korištenje i izradu u samogradnji (Arduino, Raspberry...) otvaraju se velike mogućnosti izrade raznih modularnih uređaja najrazličitijih namjena. Velika raznovrsnost senzora omogućuje mjerenje i nadzor različitih veličina od temperature, vlage, brzine vjetera, ubrzanja, svjetlosti pa sve do detekcije čestica u zraku i različitih plinova.

U ovom radu prikazan je i opisan projekt izrade meteorološke stanice bazirane na Arduino platformi za mjerenje temperature i vremensku prognozu. Zasniva se na konceptu Interneta stvari (IoT) što je zapravo spoj hardvera i softvera u svrhu međusobne komunikacije i razmjene podataka među uređajima putem Interneta. Uređaj te također opremljen i barometrom i senzorom rasvijetljenosti za podešavanje osvjetljenosti ekrana.

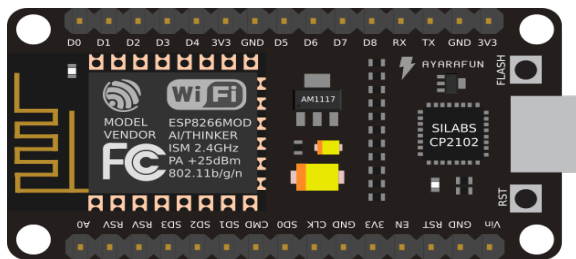
## 2. Hardware

Meteorološka stanica izrađena je od 5 glavnih komponenti te eksperimentalne pločice i spojnih kabela koji su svi redom iznimno cjenovno pristupačni (Slika 1):

- 1- ESP8266-12E je integrirani mikročip posebno konstruiran za potrebe novog, online, IoT svijeta. Proboj na zapadna tržišta ostvario je 2014. godine zbog naprednih Wi-Fi mogućnosti, iznimno niske cijene i jednostavnosti uporabe. Zbog male potrošnje pogodan je za primjene u prenosivim i IoT uređajima. Uređaj podržava IEEE802.11 b/g/n standard, TCP/IP protokole te nadogradnju modulima po izboru što ga čini pogodnim za različite namjene. Modul je najjednostavnije programirati putem Arduino IDE programa [15].
- 2- DHT-11 je senzor relativne vlage i temperature opremljen mjernim elementom za vlagu rezistivnog tipa i NTC mjerne komponente za mjerenje temperature koji su spojeni na 8-bitni mikrokontroler. Odlikuju ga brz odziv, kvaliteta i niska cijena [16].
- 3- BMP180 je barometarski senzor koji mjeri tlak zraka okoline vrlo pristupačne cijene. U mogućnosti je mjeriti tlak između 300 i 1100 hPa što odgovara nadmorskim visinama između 9000 i -500 m. U mogućnosti je mjeriti i nadmorsku visinu i temperaturu što ga čini pogodnim za izradu meteoroloških stanica, nadogradnju GPS navigacija, primjena u mobilnim uređajima kao i medicinskih primjena poput spirometrije [17].



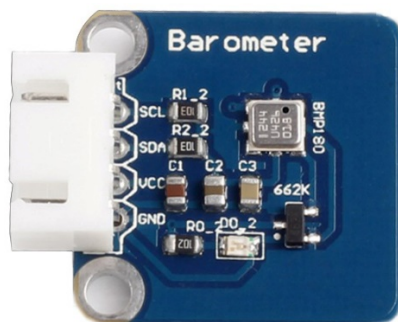
- 4- BH1750FVI je digitalni senzor rasvjetljenosti predviđen za automatsko podešavanje osvjetljenosti LCD ekrana na pametnim telefonima, LCD televizorima, digitalnim kamerama i slično prema ambijentalnom osvjetljenju. Karakterizira ga široki mjerni opseg (1-65535 lx) i visoka razlučivost u širokom opsegu temperatura (-40 – 85 °C) [18].
- 5- OLED 0,96 Inch je mali OLED ekran niske potrošnje namijenjen za razne Arduino primjene. Karakterizira ga rezolucija od 128\*64 točkice o kut vidljivosti koji je veći od 160 ° [19].



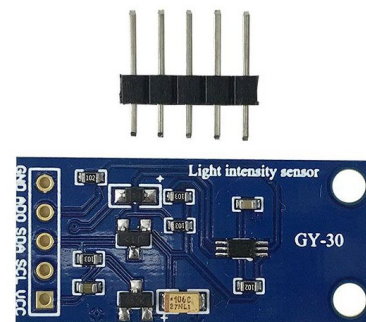
a)



b)



c)



d)



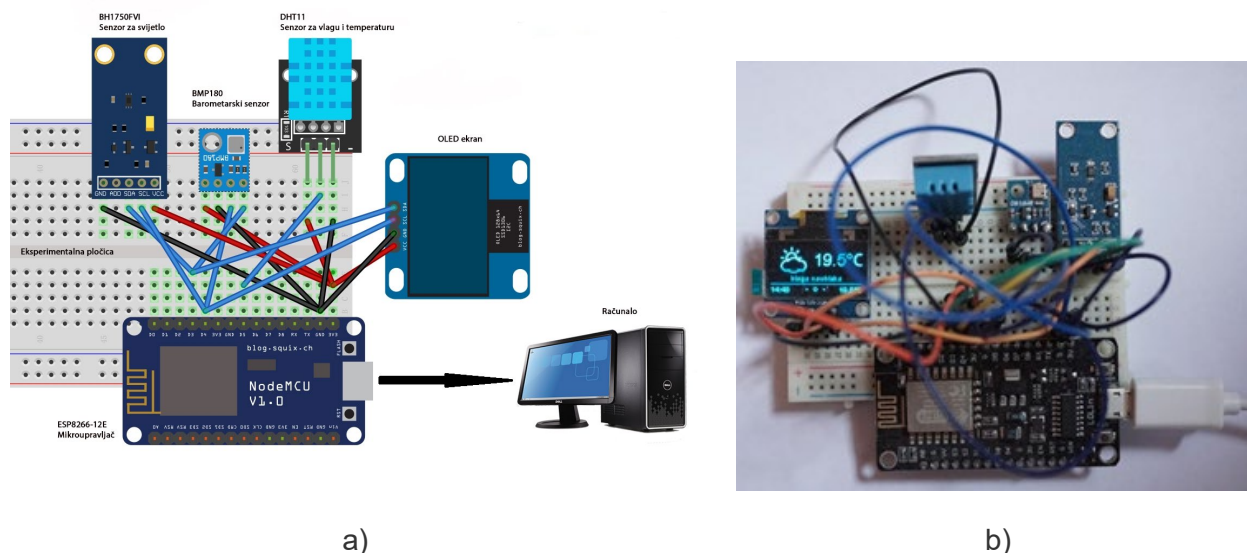
e)

**Slika 1.** Upotrijebljene komponente: a) ESP8266-12E [20], b) DHT-11 [21], c) BMP180 [22], d) BH1750FVI [23] i e) OLED 0,96 Inch [24]



## 2.1. Povezivanje komponenti

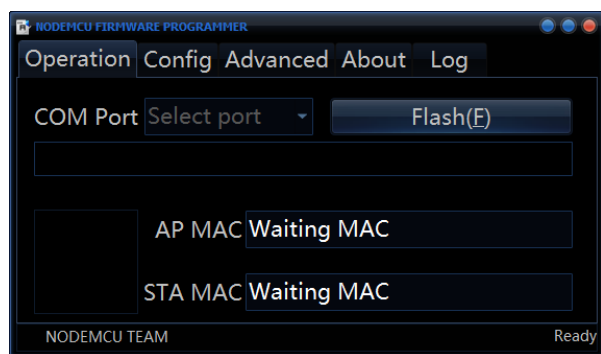
Prikupivši sve potrebne komponente slijedi spajanje pojedinih komponenti na eksperimentalnu pločicu za elektroničke sklopove spojnim vodičima prema shemi prikazanoj na Slici 2 a). Slika 2 b) prikazuje konačni izgled Arduino sklopa spremnog za spajanje sa računalom putem USB kabela i instalaciju potrebnih alata za programiranje putem računala i pripadajuće programske podrške.



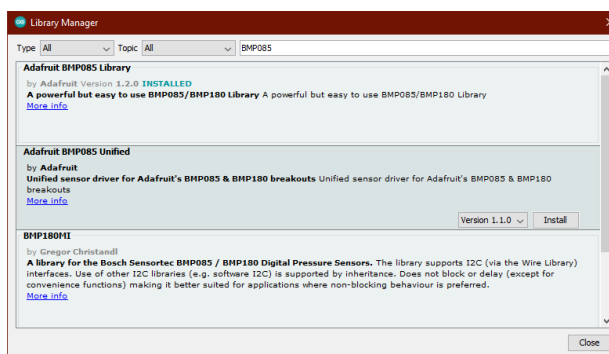
Slika 2. Shema spajanja a) i izgled prototipa b) [25]

## 3. Programska podrška

Instalacija upravljačkih programa i programa za programiranje mikroupravljača izvodi se putem računala kompatibilnog sa Arduino IDE programom. Računalo također treba biti opremljeno USB 2.0 komunikacijom i imati pristup na Internet. Nakon instalacije Arduino IDE programa, koji je zapravo razvojno okruženje, potrebno je staviti novi Firmware za mikroupravljač putem posebnog programa (Slika 3). Sljedeći korak je preuzeti i instalirati biblioteke pojedinih komponenti (Slika 4).



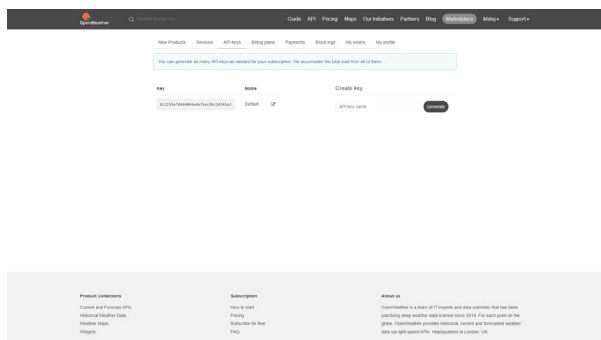
Slika 3. Postavljane Firmware-a [25]



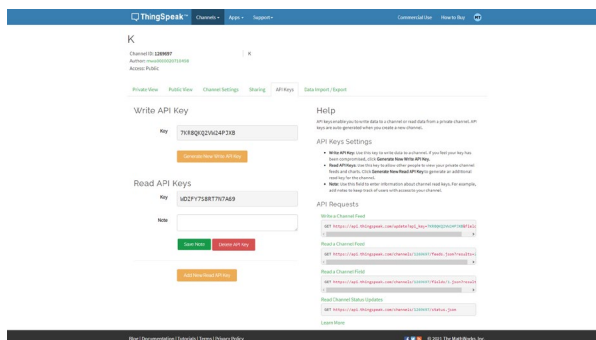
Slika 4. Biblioteke [25]

### 3.1. Postavljanje Internetskih servisa

Uspostava komunikacije i razmjena podataka između različitih aplikacija ostvaruje se uporabom API sučelja (Application Programming Interface). Meteorološki servis OpenWeatherMap i IoT servis ThingSpeak koriste zasebne API-je (Slika 5 i 6).



**Slika 5.** OpenWeatherMap API [25]



**Slika 6.** ThingSpeak API [25]

OpenWeather platforma je skup API-ja koji omogućuju pristup podacima o trenutnim vremenskim prilikama bilo gdje na Svijetu, kao i minutne, satne i dnevne vremenske prognoze (do 7 dana unaprijed) te povijesne podatke do 40 godina unatrag.

ThingSpeak je IoT servis koji omogućuje prikupljanje podataka senzora putem raznih protokola te analizu i vizualizaciju prikupljenih podataka. Obradeni podaci i vizualizacije šalju se zatim na uređaj.

Postavljanjem generiranih API ključeva u programski kod [25] stavljamo meteorološku stanicu u funkciju. Dio programskog koda sa uključenim bibliotekama vidljiv je na slici 7.

```
#include <ESPWiFi.h>
#include <ESPHTTPClient.h>
#include <JsonListener.h>

// time
#include <time.h>
#include <sys/time.h>
#include <coredecls.h>

#include "SSD1306Wire.h"
#include "OLEDDisplayUi.h"
#include "Wire.h"
#include "OpenWeatherMapCurrent.h"
#include "OpenWeatherMapForecast.h"
#include "WeatherStationFonts.h"
#include "WeatherStationImages.h"
#include <ESP8266WiFi.h>

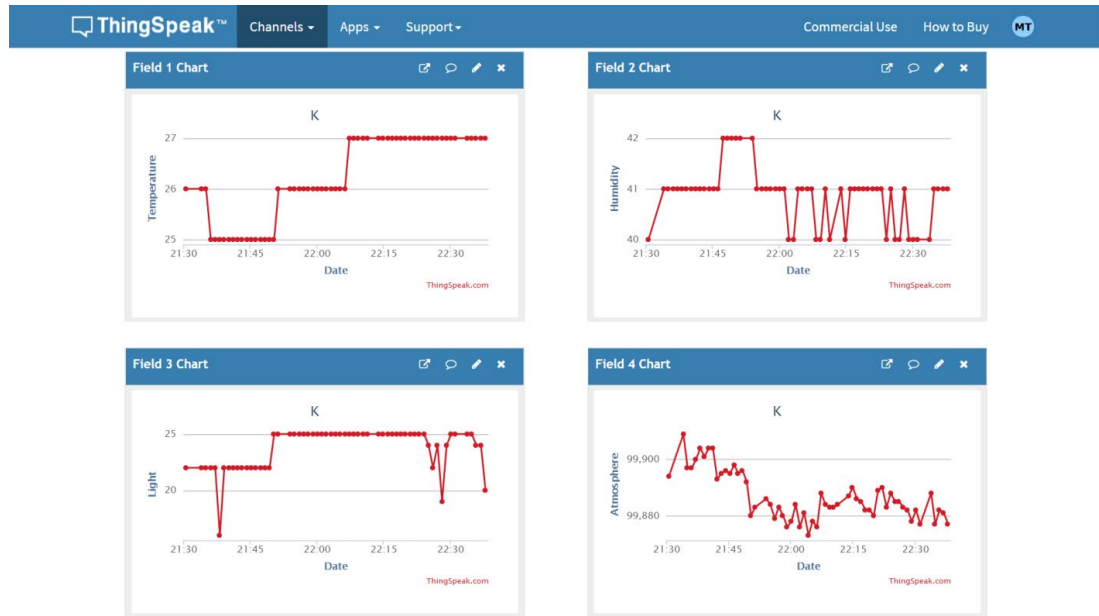
#include <Adafruit_BMP085.h>
```

**Slika 7.** Dio programskog koda [25]



#### 4. Način rada meteorološke stanice

Senzori temperature i vlage (DHT11), barometarski senzor (BMP180) i senzor rasvijetljenosti (BH1750FVI) spojeni na mikrokontroler (ESP8266-12E) bežično putem Wi-Fi protokola u realnom vremenu šalju podatke na IoT servis ThingSpeak koji prikuplja i obrađuje podatke sa senzora te ih vizualizira (Slika 8).

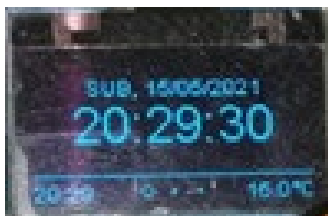


Slika 8. Prikaz mjerenih podataka u ThingSpeak-u [25]

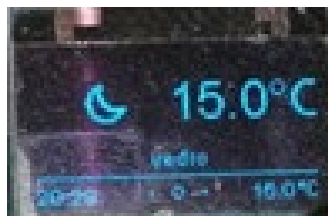
Sa Slike 8 vidljivo je da su prilikom pokusnog rada senzori bilježili unutarnju temperaturu između 25 i 27 °C, relativnu vlažnost zraka između 40 i 42 % RH, rasvijetljenost u opsegu 15 – 25 lx te tlak zraka koji se kretao oko 99 hPa.

Podatci o vanjskoj temperaturi i vremenska prognoza za unaprijed podešenu lokaciju preuzimaju se sa Internet servisa OpenWeatherMap. Prednost ovakve konfiguracije je u tome što nije potrebno izraditi vanjsku jedinicu za mjerenje temperature.

Konačni izgled ekrana meteorološke stanice puštene u pogon podijeljen je na tri stranice kako je prikazano na Slici 9.



a)



b)



c)

Slika 9. Prikazi zaslona a) datum vrijeme, b) vanjska temperatura i c) vremenska prognoza [25]

Prva stranica prikazuje datum i točno vrijeme, druga trenutnu vanjsku temperaturu i vremenske prilike dok treća stranica prikazuje vremensku prognozu za slijedeća tri dana.

## 5. Završni osvrt

Prirodni plin je glavni energent za grijanje stambenih i poslovnih prostora u urbanim sredinama gdje nije izgrađena mreža područnog grijanja. Potrošnja plina za ovu namjenu čvrsto ovisi o vanjskoj temperaturi - što je niža temperatura okoline veća je potrošnja plina. Za racionalno korištenje ovog energenta uvažavajući komfor, cijenu i ekologiju može se pribjeći uporabi niskotemperaturnog sustava grijanja koje je učinkovitije od klasičnog za što je potrebno imati podatak o vanjskoj i unutarnjoj temperaturi. U radu je prikazana izrada meteorološke stanice iznimno niste cijene koja se koristi Internet servisima i Arduino IDE. OpenWeatherMap je meteorološki servis za praćenje vremenskih prilika i prognoza u realnom vremenu koje se mogu prikazati na ekranu same meteorološke stanice, računalu ili nekom drugom uređaju poput mobilnog telefona koristeći generirani API ključ. ThingSpeak je IoT servis koji je korišten za analizu i vizualizaciju podataka prikupljenih sa senzora meteorološke stanice pomoću odgovarajućeg API ključa. Nakon registracije na spomenute Internet servise i generiranja API ključeva isti se ključevi stavljaju u programski kod mikroupravljača putem Arduino IDE platforme što stavlja meteorološku stanicu u funkciju.

## 6. Literatura

- [1] Man, Yi; Youlin, Han; Hu, Yusha; Yang, Sheng; Yang, Siyu. Syntetic natural gas as an alternative to coal for power generation in Chin: life cycle alalysis of haze pollution, greenhouse gas emission, and resource consumption. // Journal of Cleaner Production, Vol. 172., 2018, pp 2503-2512. **(rad u časopisu)**
- [2] Smajla, Ivan; Karasahilović Sedlar, Daria; Vulin, Domagoj; Jukić, Lucija. Influence of smart meters on accuracy of method for forecasting natural gas consumption // Energy Reports (2021).
- [3] British Petroleum Statistical Review of World Energy , 68th edition, 2019. **(Izvješće)**
- [4] (Wang, Hantao; Gu, Chenghong; Zhang, Xin; Li, Furong; Gu, Lihong. Identifying the Correlation between Temperature and Gas Consumption in Local Energy System // CSEE Journal of Power and Energy Systems, 4(2018), 4, 479-486. (ISSN 2096-0042) **(rad u časopisu)**
- [5] H. E. Thorton et al. The role of temperature in the variability and extremes of electricity and gas demand in Great Britain // Enviromenral Reasearch Letters, 11 2016 114015
- [6] Cho, Haeran; Goude, Yannig; Brossat, Xavier; Yao, Qiwei. Modeling and Forecasting Daily Electricity Load Curves: A Hybrid Approach // Journal of the American Statistical Association, Vol. 108, No. 501 (March 2013), pp. 7-21 **(rad u časopisu)**
- [7] Timmer, Reed P.; Lamb, Peter J. Relations between Temperature and Residential Natural Gas Consumption in the Central and Eastern United States // Journal od Applied Meteorology and Climatology, 46(11), 1993-2013. **(rad u časopisu)**



- [8] Psiloglou, B. E.; Giannakopoulos, C.; Majithia, S.; Petrakis, M. Factors Affecting Electricity Demand in Athens, Greece and London, UK: A Comparative Assessment // Energy, Vol. 34, Issue 11, 2009, pp 1855-1863. **(rad u časopisu)**
- [9] Soldo, Božidar. Forecasting Natural Gas Consumption // Applied Energy, 92, 2012., pp 26-37 **(rad u časopisu)**
- [10] Panigua, Estephany; Macazana, Jhonatan; Lopez, Joshi; Tarrillo, Jimmy. IoT-based Temperature Monitoring for Buildings Thermal Comfort Analysis // IEEE, 2019 IEEE XXVI International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON), 12-14. Aug. 2019. **(rad u zborniku)**
- [11] Yasumoto, K.; Ogura, K.; Yamamoto, S.; Ito, M. Device Control Method for Energy-Saving with Minimal Degradation of Users' Comfort Level // Information Processing Society of Japan, 2011
- [12] Chen, Meng-Fu; Chiu, Huan-Chieh; Tseng, Kai-Sheng; Yang, Yu-Cheng; Chou, Cheng-Ying; Jiang, Joe-Air. An IoT-based Temperature Monitoring System for Underground Cable Tunnels // IEEE, 2019 IEEE PES GTD Grand International Conference and Exposition Asia (GTD Asia), 19-23 March 2019.
- [13] Ray, P.P.; Internet of Things Cloud Based Smart Monitoring of Air Bourne PM2.5 Density Level // International Conference on Signal Processing, Communication, Power and Empeded System (SCOPEs 2016), 2017. **(rad u zborniku)**
- [14] Chatterjee, Souvik; Chatterjee, Sagnik; Gupta, Rajarshi. Arduino Based Real-Time Wireless Temperature Measurement System with GSM Based Annunciation // International Conference on Communication and Signal Processig, April 6-8 2017, India **(rad u zborniku)**
- [15] Electronic Components Datasheet Search, ESP8266EX Datasheet, [www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1148030/ESPRESSIF/ESP8266EX.html](http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1148030/ESPRESSIF/ESP8266EX.html) (pristup: 02.08.2021.)
- [16] Electronic Components Datasheet Search, DHT11 Datasheet, [www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1132088/ETC2/DHT11.html](http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1132088/ETC2/DHT11.html) (pristup: 02.08.2021.)
- [17] Electronic Components Datasheet Search, BMP180 Datasheet, [www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1132068/BOSCH/BMP180.html](http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1132068/BOSCH/BMP180.html) (pristup: 02.08.2021.)
- [18] Electronic Components Datasheet Search, BH1750FVI Datasheet <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/338083/ROHM/BH1750FVI.html> (pristup: 02.08.2021.)
- [19] JOOM, internet trgovina, Datasheet OLED 0,96 Inch, [www.joom.com/en/products/5f3606d044ae000106493138](http://www.joom.com/en/products/5f3606d044ae000106493138) (pristup: 02.08.2021.)
- [20] Thinger.io Documentation, Slika 1 a), ESP8266EX, <https://docs.thinger.io/quickstart/devices/arduino> (pristup: 02.08.2021.)
- [21] Mouser Electronics, Slika 1 b), DHT11, <https://eu.mouser.com/ProductDetail/OSEPP-Electronics/HUMI->



---

01?qs=sGAEpiMZZMu8c2wsui%252BiYp0LxtX01PqNBxZY3NVHphM%3D (pristup: 02.08.2021.)

[22] Zounko, Internet trgovina, Slika 1 c), BMP180, <https://www.zounko.com/product/promo-0701715366794-sun-founder-barometer-bmp-180-module-for-arduino-and-raspberry-pi#!> (pristup: 02.08.2021.)

[23] Cytron Marketplace, Internet trgovina, Slika 1 d), BH1750FVI, <https://www.cytron.io/p-digital-light-intensity-bh1750fvi-sensor-module> (pristup: 02.08.2021.)

[24] Alibaba, Internet trgovina, Slika 1 e), OLED 0,96 Inch, [https://www.alibaba.com/product-detail/0-96inch-OLED-Module-MC096VX-High\\_62577883977.html](https://www.alibaba.com/product-detail/0-96inch-OLED-Module-MC096VX-High_62577883977.html) (pristup: 02.08.2021.)

[25] Tačković, Matej. Meteorološka stanica realizirana uz pomoć Arduina, Završni rad, Elektrotehnička i prometna škola Osijek, 2021.